

УДК 66.041: 666.1.031.2

ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ РАБОТЫ СИСТЕМЫ ОХЛАЖДЕНИЯ ВАННОЙ СТЕКЛОВАРЕННОЙ ПЕЧИ

Селихов Ю.А., канд. техн. наук, Коцаренко В.А., канд. техн. наук, Рябова И.Б., канд. техн. наук,
Гапонова Е.А., канд. техн. наук, Давыдов В.А.

Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт»,
ул. Багалия, 21, Харьков, 61002, Украина

Запропонована додаткова система охолодження зовнішньої поверхні системи випарного охолодження (СВО) ванної скловарної печі, що забезпечує: уповільнення процесу руйнування вогнетривкої кладки; зниження температури поверхні СВО до 90 °С; використання теплоти на потреби підприємства; економію палива; зниження забруднення навколишнього середовища.

Предложена дополнительная система охлаждения наружной поверхности системы испарительного охлаждения (СИО) ваннной стекловаренной печи, обеспечивающая: замедление процесса разрушения огнеупорной кладки; снижение температуры поверхности СИО до 90 °С; использование теплоты на нужды предприятия; экономию топлива; снижение загрязнения окружающей среды.

The proposed additional system of cooling of the outer surface of the system evaporative cooling (SEC) the bathroom glass furnace that provides: a slowing of the destruction of refractory brickwork; a decrease in the surface temperature of SEC to 90 °C; the use of heat for needs of the enterprise; fuel savings; reduction of environmental pollution.

Библ.13.

Ключевые слова: адсорбция, пористая среда, адсорбционный тепловой насос, правило фаз по Гиббсу, уравнение Гиббса-Дюгема, преобразование Ханкеля и Лапласа, функция Бесселя, производство энтропии.

T – температура теплоносителя, °С;

Q – количество теплоты, полученное от теплоносителя, кВт;

G – массовый расход теплоносителя, кг/с;

A – экономия топлива, м³/ч;

СИО – система испарительного охлаждения.

Постановка проблемы. Одним из направлений ресурсосбережения и снижения энергоемкости производства стекломассы является повышение стойкости стеклоплавильных агрегатов. Огнеупоры стен, работающие в агрессивной среде в диапазоне температур 1320...1650 °С по сравнению с огнеупорами свода и подины, подвержены наиболее интенсивному разрушению. Причем характерным является интенсивное разрушение огнеупоров на уровне зеркала стекломассы. Это приводит к значительному повышению температуры на наружной поверхности стен варочного бассейна, которая может превышать 300 °С. С ростом температуры значительно возрастает скорость коррозии огнеупоров, которая может составлять от 0,1...0,2 мм/сутки для ба-кора и до 5...6 мм/сутки для плавленного кварца [1]. В этом случае увеличиваются тепловые потери через ограждения агрегатов, ухудшаются условия работы обслуживающего персонала. С уменьшением толщины огнеупорных блоков стен варочного бассейна возникает реальная опасность прорывов расплава стекломассы [2]. В итоге это приводит к преждевременному останову агрегатов для холодного ремонта, что оказывает отрицательное влияние на технико-экономические показатели работы технологических агрегатов. Таким образом, длительность срока эксплуатации определяется стойкостью кладки стен варочного бассейна. На основе технико-экономических расчетов были обоснованы и в последующем реализованы предложения и рекомендации по использованию системы испарительного

охлаждения (СИО) для стекловаренной печи при производстве алюмоборосиликатного стекла. СИО установлена по всему периметру ванны с наружной стороны. Панели представляют собой вертикальные экраны, сваренные из стальных труб диаметром $d = 59 \times 8$ мм с ребрами. Экраны соединены верхним и нижним коллекторами и смонтированы в стальном корпусе прямоугольной формы, изготовленном из стального листа с заполнением межтрубного пространства специальным жаростойким бетоном, а между бетоном и наружной металлической стенкой установлена прокладка из изоляционного материала. Для оценки работоспособности экранов СИО проведена диагностика температурного состояния элементов в интервале температур 1550... 1570 °С с учетом динамики разрушения огнеупорной кладки. При осмотре варочного бассейна установлено, что отдельные панели испытали тепловые нагрузки через разрушение огнеупорного бруса вследствие физико-химических взаимодействий материалов с агрессивной движущей средой при высокой температуре. Зафиксировано неравномерное разрушение огнеупорной кладки по периметру стен варочного бассейна, отсюда и наличие неравномерных температурных полей по всей плоскости внешних стен бассейна. Поэтому на наружной поверхности панелей СИО тоже наблюдается неравномерное температурное поле, а уровень температур может достигать от 150 до 370 °С. В тоже время, количество теплоты с наружной поверхности охлаждаемых элементов СИО не использовалась и нагрева-

ло воздух помещения, в котором находилась печь. Это создавало неприемлемые условия для работы обслуживающего персонала. Поэтому, все вышеперечисленные задачи являются актуальными.

Цель статьи. Усовершенствовать систему охлаждения наружной поверхности СИО ванной стекловаренной печи. Была разработана, изготовлена и установлена дополнительная система охлаждения наружной поверхности СИО ванной стекловаренной печи, которая показана на рис. 1.

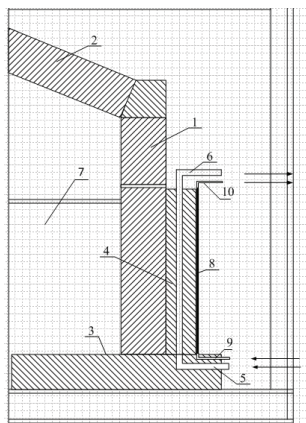


Рис. 1. Фрагмент дополнительной системы охлаждения внешней поверхности стен СИО варочного бассейна стекловаренной печи.

Результаты. На рисунке 1 показана ванна стекловаренной печи, состоящая из стены 1 варочного бассейна 7, в котором плавится шихта и стекломой, свода печи 2, поддины 3, элементов СИО 4, которые охлаждаются, с подведением 5 и отведением 6 теплоносителя, сборного модуля 8 [3], который состоит из плоского металлического коллектора, установленного своим плоским боком плотно без зазоров к внешней поверхности панелей СИО 4 с трубопроводами 9, что подводит и 10, что отводит теплоноситель. Дополнительное охлаждение работает таким образом. После выхода ванной стекловаренной печи на рабочий режим включается дополнительное охлаждение внешней поверхности панелей СИО. Теплоноситель подается по патрубку 9, что подводит, снизу в плоский коллектор и под давлением насоса заполняет внутреннюю полость коллектора, отбирает тепло у внешней поверхности панелей СИО и через патрубок 10 выходит из коллектора на нужды предприятия. Плоские коллектора дополнительной системы охлаждения установлены по всему периметру ванны на внешней поверхности СИО. Для предложенной схемы выполнены теплотехнические расчеты дополнительных элементов системы водяного охлаждения с целью получения обобщенных уравнений $Q = f(tG)$, описывающих систему с постоянной температурой воды на входе $t_n = 15^\circ\text{C}$ при условии использования водяного охлаждения по периметру варочного бассейна с заданной величиной поверхности нагрева. Эти расчеты публикуются впервые. При работе печи измерялись температуры: теплоносителя на входе и на выходе из СИО и допол-

нительной системы охлаждения, наружной поверхности стекловаренной печи, наружной поверхности СИО при изменении температуры охлаждаемой поверхности СИО от 20 до 370 °С и изменении массового расхода теплоносителя от 2 до 50 кг/с. При анализе экспериментальных данных с целью представления в аналитическом виде функциональной зависимости, т. е. в подборе формулы, описывающей результаты эксперимента, были использованы возможности надстройки среды Excel (пакет анализа), а именно регрессионный анализ [4]. Все зависимости аппроксимированы обобщенными уравнениями и определены коэффициенты корреляции [5]. Ниже приведены обобщенные уравнения, описывающие $Q = f(tG)$. Уравнение (1), получено при изменении температур теплоносителя в СИО от 100 до 330 °С и изменении массового расхода теплоносителя от 2 до 50 кг/с

$$Q = (-0,0134 \cdot t^2 + 1,1686 \cdot t + 2252,8) \cdot G, \quad (1)$$

Уравнение (2) получено при изменении температур теплоносителя в СИО от 330 до 360 °С и изменении массового расхода теплоносителя от 2 до 50 кг/с

$$Q = (-0,152 \cdot t^2 + 90,94 \cdot t - 12319) \cdot G, \quad (2)$$

Установлено, что в диапазоне температур воды на выходе из плоского коллектора 60...90 °С и расхода воды от 2 до 50 кг/с дополнительная система охлаждения обеспечивает реальную возможность использовать дополнительное количество тепловой энергии, которое ранее не использовалось практически для всех возможных режимов работы стекловаренной печи со значительным запасом по тепловой мощности на технологические нужды предприятия. Использование на предприятии горячей воды, производимого системой дополнительного охлаждения СИО, дает возможность получить экономию топлива в котельной, где было бы нагрето это количество горячей воды. В качестве примера, расчеты были произведены для природного газа и системы водяного охлаждения по всему периметру варочного бассейна с небольшой площадью. Расчеты показали, что даже при частичном использовании горячей воды может быть получена экономия природного газа на предприятии. Зависимость экономии топлива от массового расхода теплоносителя представлена уравнением (3)

$$B = 63,6 \cdot G - 0,25. \quad (3)$$

Коэффициенты корреляции для уравнений (1) и (2) составляют $R^2 = 0,94$, а для уравнения (3) – $R^2 = 0,99$. Как видно при анализе коэффициентов корреляции погрешность расчетов для уравнений (1) и (2) не превышает 6 %, для уравнения (3) не превышает 1 %.

Выводы

1. Дополнительная система охлаждения СИО обеспечивает равномерные температурные поля по всей площади поверхности стекловаренной печи, что позволяет замедлить процесс разрушения огнеупорной кладки.

2. Позволяет снизить температуру охлаждаемой по-

верхности СНО до 60...90 °С.

3. Обеспечить реальную возможность использовать теплоту, отводимую от поверхности ограждения бассейна на технологические нужды предприятия.

4. Обеспечить: реальную экономию топлива; снижение теплового загрязнения окружающей среды; уменьшение выбросов оксидов азота за счет снижения расхода топлива, сжигаемого в промышленных котельных.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гойхман В.Ю., Руслов В.Н., Костыря В.А. Печная теплотехника в производстве стекла. – Харьков: Факт, 1997. – 288 с.

2. Энергосбережение при варке стекла / Г.М.Матвеев, В.В.Миронов, Э.М.Раскина, К.Е.Тарасевич // Стекло и керамика. – 1998. – №11. – С. 10 - 11.

3. Кошельник В.М., Селихов Ю.А., Кошельник О.В., Долженко О.Ю. Ванна скловарна піч. Патент України № 20031212106. Бюл. №12, 2004.

4. Коцаренко В.О., Селихов Ю.А., Горбунов К.О. Розрахунки в середовищі Excel: навч. посіб. – Харків: Вид-во «Підручник НТУ «ХПІ», 2011. – 272 с.

5. Додж М., Стинсон К. Эффективная работа с Microsoft Excel 2000. – СПб.: Питер, 2001. – 1056 с.

THE ENERGY EFFICIENCY OF THE COOLING BATH THE GLASS MELTING FURNACE

Selikhov Yu.A., Kotsarenko V.A., Ryabov B.I., Gaponova, E.A., Davydov V.

A national technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkov

The proposed additional system of cooling of the outer surface of the system evaporative cooling (SEC) the bathroom glass furnace that provides: a slowing of the destruction of refractory brickwork; a decrease in the surface temperature of SEC to 90 °C; the use of heat for needs of the enterprise; fuel savings; reduction of environmental pollution. References 5, figures 1.

Key words: refractory masonry; bath the glass melting furnace; temperature field; the evaporative cooling system.

1. Goykhman V.Yu., Ruslov V.N., Kostyrya V.A. Pechnay teplotekhnika v proizvodstve stecla [The stove

heating engineering is in the production of glass.], Kharkov: Fact, 1997, 288 p. (Rus.)

2. Matveev G.M., Mironov V.V., Raskina E.M., Tarasevich K.E. Energoberezhenie pri varce stecla [Energoberezhenie at cooking of glass], Steclo i ceramika. [Flowed ceramics]. – 1998, №11, P. 10 - 11. (Rus.)

3. Koshelnik V.M., Selikhov Yu. A., Koshelnik O.V., Dolzhenko O.Yu. Vanna sclovarna pich [Bath of glass stove], Patent Ykrayny [Patent of Ukraïni] № 20031212106. Byul. №12, 2004.(Ukr)

4. Kotsarenko V.O., Selikhov Yu.A., Gorbunov K.O. Rozrakhunki v seredovischi Excel [Calculations are in an environment Excel] navch. posib., Kharkiv, Vyd-vo «Pidruchnik NTU «KHI»» [Textbook of NTU «KHPI»], 2011, 272 p. (Ukr)

5. Dodzh M., Stinson K. Efectivnya rabota s Microsoft Excel 2000 [Effective work Microsoft Excel 2000], SPb. Piter, 2001, 1056 p. (Rus.)

Получено 17.10.2017
Received 17.10.2017