

УДК 66.041: 666.1.031.2

Кошельник В.М., Селихов Ю.А., Кошельник А.В., Долженко Е.Ю.

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КОНСТРУКТИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ СИСТЕМЫ ОХЛАЖДЕНИЯ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ АГРЕГАТОВ ВАННОГО ТИПА

Повышение эффективности и надежности работы высокотемпературных плавильных агрегатов ванного типа, которые применяются для производства металла, стекломассы и других материалов, является актуальным, учитывая высокий уровень энергозатрат на производство продукции на отечественных предприятиях. Удельные затраты материальных и энергетических ресурсов в стекольном производстве значительно превосходят аналогичные показатели, достигнутые в индустриально – развитых странах [1]. Низкая эффективность работы агрегатов ванного типа, в которых на отечественных предприятиях производится основное количество стекломассы, в значительной степени определяется недостаточной стойкостью элементов печей, и в первую очередь, огнеупорной кладки стен варочного бассейна [2,3]. Огнеупоры стен, работающие в агрессивной среде в диапазоне температур 1320-1650 °С по сравнению с огнеупорами свода и подины, подвержены наиболее интенсивному разрушению несмотря на применения различных способов охлаждения. Причем характерным является интенсивное разрушение огнеупоров с внутренней стороны кладки 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 бакура и до 5-6 мм/сутки для плавляемого кварца. В этом случае существенно 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. В итоге это приводит к преждевременному останову агрегатов для холодного ремонта, что оказывает отрицательное влияние на технико-экономические показатели работы технологических агрегатов [4,5,6].

Таким образом, длительность срока эксплуатации определяется, прежде всего, стойкостью кладки стен варочного бассейна, а межремонтный период печей, несмотря на применение искусственного охлаждения, может достигать в зависимости от сорта выплавляемой стекломассы и применяемых огнеупоров от нескольких месяцев до 2-3 лет. По сравнению с зарубежными агрегатами, где применяются более качественные огнеупоры, срок их эксплуатации соответственно в 2,5-3 раза ниже.

В работах [7,8] представлен краткий обзор применяемых способов охлаждения стекловаренных печей. Следует отметить, что применение воздушного, водяного или комбинированного охлаждения отдельных элементов стекловаренных печей, как следует из опубликованных данных, кардинально не решает проблемы повышения их стойкости. Наиболее часто применяется воздушное охлаждение поверхности огнеупорной кладки путем обдува их воздухом подаваемым через специальные сопла вентиляторами. В этом случае имеют место дополнительные затраты средств и особенно электроэнергии на привод электродвигателей вентиляторов. Так, например даже для печей с малой производительностью по стекломассе (до 20-25 т/сутки), мощность приводных электродвигателей вентиляторов систем воздушного охлаждения может составлять до 90-100 кВт.

Этим объясняется необходимость проведения исследований, направленных на решение практических задач по снижению энергоемкости производства стеклоизделий. Одним из направлений ресурсосбережения и снижения энергоемкости промышленного

производства стекломассы является повышение стойкости стеклоплавильных агрегатов.

В данной статье представлены результаты исследований по совершенствованию систем охлаждения варочного бассейна с использованием комбинированного испарительного и водяного охлаждения.

В литературе [5,6] описаны единичные случаи применения в шестидесятых годах на стекловаренных печах испарительного охлаждения стен варочного бассейна. Однако, этот способ охлаждения в силу различных причин, и прежде всего ввиду сложности и громоздкости конструкций, не получил широкого распространения на предприятиях стекольной промышленности.

В то же время испарительное охлаждение, как известно, широко и достаточно успешно применяется для охлаждения элементов металлургических агрегатов. В работе [9] описаны особенности работы металлургических агрегатов на испарительном охлаждении и обоснована возможность его применения в стекольном производстве.

На кафедре теплотехники НТУ «ХПИ» на протяжении ряда лет выполнялись исследования по повышению эффективности работы и стойкости ванн стекловаренных печей регенеративного типа. На основе технико-экономических расчетов, показана целесообразность применения системы испарительного охлаждения (СИО). Разработаны предложения и рекомендации по использованию системы испарительного охлаждения (СИО) для стекловаренной печи при производстве алюмоборосиликатного стекла на Мерефянском стекольном заводе [7,10]. Известно, что СИО успешно применяются для охлаждения металлургических агрегатов, работающих в сходных температурных условиях. Использование испарительного охлаждения стен ванны при правильном выборе тепловых режимов может обеспечить продление сроков их эксплуатации за счет образования на охлаждаемых элементах при контакте с расплавом стекломассы слоя гарнисажа, который должен препятствовать дальнейшему разрушению огнеупоров.

В процессе промышленного внедрения был использован положительный опыт, накопленный в НТУ «ХПИ», МКП «Стимул», МКП «Домна». Выполненные разработки, обзор и анализ существующих конструкций СИО позволили рекомендовать к внедрению модернизированные конструкции плоской формы с установленными в них экранными поверхностями из стальных оребренных труб [7,8,10]. На основе изучения особенностей эксплуатации технологических агрегатов при производстве стеклоизделий и опыта применения СИО в металлургии, было предложено использовать плоские парогенерирующие панели (ПП) из оребренных труб, которые широко применяются в последнее время для металлургических печей. Установка охлаждаемых панелей предусмотрена по периметру ванны с наружной стороны. Панели представляют собой вертикальные экраны, сваренные из стальных труб диаметром $d = 59 \times 8$ мм с ребрами, которые соединены верхним и нижним коллекторами. Экраны смонтированы в стальном корпусе прямоугольной формы, изготовленном из стального листа. Предусмотрено заполнение межтрубного пространства специальным жаростойким бетоном, а между бетоном и наружной металлической стенкой прокладка из изоляционного материала. Для оценки работоспособности экранов СИО проведена диагностика и температурного состояния элементов в интервале температур, соответствующему режиму варки алюмоборосиликатного стекла с учетом динамики разрушения огнеупорной кладки.

В работах [11] описаны методика и результаты экспериментальных исследований теплового состояния парогенерирующих элементов системы испарительного охлаждения варочного бассейна стекловаренной печи. Результаты промышленной эксплуатации агрегата показали надежность работы элементов системы, что позволило снизить уровень температур на поверхности ограждения варочного бассейна. При этом технологический агрегат кроме стекломассы вырабатывал и насыщенный водяной пар, что

открывает возможность реализовать различные схемы энерготехнологического комбинирования [12].

Опыт промышленной эксплуатации стекловаренной печи с СИО позволил определить характерные особенности эксплуатации агрегатов и элементов системы охлаждения. Система испарительного охлаждения, которая смонтирована по периметру варочного бассейна, позволила замедлить прогревание огнеупорного бруса по толщине и, как следствие, его разрушение на отдельных участках. После обзора отдельных узлов и деталей и анализа температур, было установлено, что отдельные панели испытывали значительные тепловые нагрузки через разрушение огнеупорного бруса и материала – наполнителя панелей, которое есть следствием физико-химических взаимодействий материалов с агрессивной движущей средой при высокой температуре. К таким относятся панели в зоне протока, загрузочного кармана, ряд панелей боковой стенки, а также верхняя часть панелей, которая испытывает большие тепловые нагрузки, чем низшая.

Анализ экспериментальных данных показывает, что скорость разрушения кладки на протяжении кампании печи не одинаковая и зависит в значительной мере от уровня температур. Когда кладка целая, скорость ее разрушения может достигать до 1 мм в сутки. Когда кладка сработана на половину своей толщины, скорость разрушения ее замедляется до 0,42 мм в сутки при включении системы охлаждения. Замедления скорости разрушения кладки связанное с тем, что по мере ее утоньшения повышается охлаждающее действие холодильников, поскольку толщина стенки уменьшается. Однако только охлаждение может лишь замедлить темп разрушения кладки, но не исключить его полностью. Конструкция холодильников из вертикальных стальных труб, которые охлаждаются и собраны в виде экрана, является более всего распространенной. В этих холодильниках, где сохранился пласт огнеупорного бетона, температура на поверхности (со стороны ванны) есть максимальной посередине между трубами, которые охлаждаются. В этих условиях разрушение бетона, который заполняет межтрубное пространство в холодильниках, будет наиболее интенсивным между трубами, которые охлаждаются, и будет усиливаться при увеличении температуры стекломассы в ванне. Поскольку имеет место неравномерное разрушение огнеупорной кладки по площади периметра стен варочного бассейна, отсюда и наличие неравномерных температурных полей по всей плоскости внешних стен бассейна. Поэтому на внешней поверхности панелей холодильника тоже наблюдается неравномерное температурное поле и высокая температура может достигать до 100 °С, эта температура никак не утилизировалась и терялась безвозвратно, при этом она нагревала воздух помещения, где находится, естественной конвекцией и тепловым излучением. Одним из предлагаемых нами вариантов, обеспечивающим утилизацию тепла внешней поверхности стен варочного бассейна является дополнительное охлаждение внешней поверхности его панелей, это позволяет обеспечить более равномерные температурные поля по всей площади панелей холодильника, который, в свою очередь, позволяет обеспечить более равномерные температурные поля по всей площади стен варочного бассейна, а это дает возможность замедлить процесс разрушения огнеупорной кладки и увеличить количество гарнисажа, что осаждается на охлаждаемых трубах внутри холодильника, а также применение плоских коллекторов специальной конструкции позволяет уменьшить температуру поверхности до 30 °С и одновременно наиболее полно использовать тепло внешней поверхности панелей холодильника, которое раньше не использовалось, для получения горячей воды систем теплоснабжения [13].

Для оперативного управления системой в трубопроводах установлены универсальные термодатчики, которые дают возможность следить за изменением температуры теплоносителя в коллекторах и в случае увеличения температуры поверхности панелей холодильника автоматика увеличивает подачу теплоносителя в трубопроводах.

Полученный результат достигается за счет того, что в ванной стекловаренной печи, которая включает стены варочного бассейна из трубчатых элементов с оребрением, которые охлаждаются в коробке из листовой стали, которая заполнена слоем бетона с теплоизоляцией, установлено дополнительное охлаждение из расположенных по периметру всей площади за панелями холодильников сборных модулей, каждый из которых состоит из: металлического короба, в котором находится плоский металлический коллектор площадью 1 м^2 , установленный своим плоским боком плотно к внешней поверхности панелей холодильника, который имеет трубопроводы подведения и отведения теплоносителя, запорную арматуру, электронасосы, универсальные термодатчики для измерения температуры теплоносителя, систему автоматизированного управления, пульт управления.

На рисунке 1 показан фрагмент конструкции варочного бассейна ванной стекловаренной печи, которая состоит из стены 1, свод печи 2, подины 3, элементов СИО 4, которые охлаждаются, с подведением 5 и отведением 6 теплоносителя, дополнительно сборного модуля с водяным охлаждением, который состоит из металлической коробки 9, в которой находится плоский металлический коллектор 8, установленный своим плоским боком плотно к внешней поверхности панелей холодильника 7 с трубопроводами 10, что подводит и 11, что отводит теплоноситель.

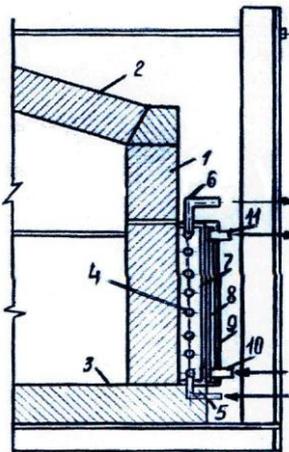


Рисунок 1 – Общий вид установки комбинированного охлаждения варочного бассейна ванной печи

Дополнительное охлаждение работает таким образом. После выхода ванной стекловаренной печи на рабочий режим включается дополнительное охлаждение внешней поверхности панелей холодильника. Теплоноситель подается по патрубку 10, что подводит, снизу в плоский коллектор и под давлением насоса заполняет внутреннюю полость коллектора, отбирает тепло у внешней поверхности панелей холодильника и через патрубок 11 выходит из коллектора. Универсальные термодатчики, которые установлены в патрубке 11, передают сигнал на автоматику про уровни температур теплоносителя. При увеличении температуры теплоносителя выше заданной, автоматика увеличивает подачу теплоносителя насосом. Автоматизированная система обеспечивает работу дополнительного охлаждения без вмешательства человека, а в случае необходимости возможно ручное управление системой.

В отличие от систем воздушного охлаждения, когда практически вся отводимая от кладки теплота не использовалась, рекомендуемая система охлаждения открывает путь к использованию теплового потенциала пара и горячей воды на нужды предприятия. Это позволит обеспечить дополнительную экономию топлива в промышленной котельной.

Так, в случае использования на предприятии водяного пара СИО в количестве D_i может быть получена экономия топлива в котельной, величина которой составит

$$\Delta \hat{A}_{\dot{I}} = \frac{D_{\dot{I}} (I_{\dot{I}} - I_{\dot{I}\hat{A}})}{Q_H^C \cdot \eta_K}, \quad (1)$$

где $I_{\dot{I}}, I_{\dot{I}\hat{A}}$ – энтальпия насыщенного пара и питательной воды, Q_H^C – теплота сгорания природного газа, η_K – КПД котла.

Количество теплоты отводимое с охлаждающей водой равно

$$Q_{\hat{A}} = D_{\hat{A}} (I_{\hat{A}}'' - I_{\hat{A}}'). \quad (2)$$

Величина экономии топлива за счет использования нагретой воды может быть найдена по формуле, аналогичной (1). Суммарная годовая экономия топлива при заданной годовой продолжительности потребления пара $\dot{O}_{\dot{I}}$ и горячей воды $\dot{O}_{\hat{A}}$ системы охлаждения составит величину

$$\Delta \hat{A} = \Delta \hat{A}_{\dot{I}} \cdot \dot{O}_{\dot{I}} + \Delta \hat{A}_{\hat{A}} \cdot \dot{O}_{\hat{A}}. \quad (3)$$

Величина экономии затрат на топливо при использовании пара СИО и теплоты охлаждающей воды составит

$$\dot{Y} = \dot{O} \cdot \Delta \hat{A}, \quad (4)$$

где C – цена природного газа, грн./1000 м³.

Технико-экономические расчеты эффективности работы системы охлаждения, выполненные по приведенным выше формулам показали, что при использовании пара СИО в количестве от 0,25 до 2,0 т/ч при давлении пара $P = 0,2$ МПа обеспечивается экономия затрат на природный газ от 57,8 до 413,4 тыс грн./год. Экономия топлива может быть увеличена за счет использования потенциала горячей воды, полученной за счет установки дополнительных охлаждаемых элементов.

Таким образом, предложенное нами дополнительное охлаждение внешней поверхности панелей холодильника разрешает усовершенствовать систему охлаждения внешней поверхности стен варочного бассейна, обеспечить более равномерные температурные поля по всей площади панелей холодильника, который, в свою очередь, разрешает обеспечить более равномерные температурные поля по всей площади стен варочного бассейна, а это дает возможность замедлить процесс разрушения огнеупорной кладки и увеличить количество гарнисажа, который осаждается на охлаждаемых трубах внутри холодильника, а также применение плоских коллекторов специальной конструкции разрешает наиболее полно использовать тепло внешней поверхности панелей холодильника – уменьшить температуру поверхности до 30 °С, для получения горячей воды систем теплоснабжения, а установленные в трубопроводах универсальные термодатчики дают возможность следить за изменением температуры теплоносителя в коллекторах и в случае увеличения температуры поверхности панелей холодильника автоматика увеличивает подачу теплоносителя в трубопроводах, что в совокупности позволяет увеличить срок эксплуатации огнеупорной кладки стен варочного бассейна ванной стекловаренной печи.

Установлено, что путем применения панелей с испарительными элементами охлаждения, удалось существенно снизить температуру наружной поверхности стен печи, уменьшить тепловые потери в окружающую среду и улучшить условия труда обслуживающего персонала. Одновременно отпала необходимость в использовании вентиляторов для обдува наружных стен печи воздухом. Кроме того, наряду со стекломасой опытно – промышленная установка производила насыщенный водяной пар, используемый для нужд предприятия. Опыт дальнейшей эксплуатации агрегата с СИО, показал, что при этом увеличился межремонтный срок стекловаренной печи.

Литература

1. Энергосбережение при варке стекла / Г.М.Матвеев, В.В.Миронов, Э.М. Раскина, К.Е.Тарасевич // Стекло и керамика. –1998.– №11.– С. 10-11.
2. Козлов А.С. Теплотехника регенеративных стекловаренных печей.– М.: Легпромбытиздат, 1990.– 143 с.
3. Гойхман В.Ю., Руслов В.Н., Костыря В.А. Печная теплотехника в производстве стекла. –Харьков: Факт, 1997. – 288 с.
4. Попов О.Н. Производство и применение огнеупоров для кладки стекловаренных печей // Стекло и керамика.–1993.–№1. –С. 12-14.
5. Захариков Н.А. Теплообменные процессы в стекловаренных печах.– Киев: Государственное изд-во технической литературы УССР, 1962.– 247 с.
6. Испарительное охлаждение бассейна ванной стекловаренной печи/ Э.И.Шипов, М.Я.Хинкис, С.В.Левитин и др./Стекло и керамика. –1968.– №11.– С. 8-12.
7. Киуила И.Г., Кошельник В.М. Применение испарительного охлаждения для ванн стекловаренных печей на Мерешанском стекольном заводе. – Проблемы инженерной экологии / Материалы 1 Украинской НТК. – Харьков, 1992.– С. 47-49.
8. Зайцев Ю.С., Филиппев О.В., Зайцева Н.Н. Испарительное охлаждение стекловаренных печей.– Харьков: Основа. – 1993. – 105 с.
9. Кошельник В.М., Филиппев О.В., Кошельник А.В. О возможности применения опыта испарительногоохлаждения металлургических агрегатов для стекловаренных печей // Вестник Харьковского государственного политехнического университета, Выпуск 16, Харьков: ХГПУ, 1998.– С.165-168.
10. Прогнозирование теплогидравлических, прочностных и технико-экономических параметров системы испарительного охлаждения стекловаренной печи/ В.М. Кошельник, О.В.Филиппев, И.Г. Киуила, и др. // Труды Межд. Научно-техн конф. microCAD'97. Часть 2. – Харьков: ХГПУ, 1997. – С. 121-125.
11. Кошельник В.М. Экспериментальное исследование теплового состояния парогенерирующих панелей системы испарительного охлаждения стекловаренной печи // Інтегровані технології та енергозбереження. – 1999. – №3. – С. 30-36.
12. Кошельник В.М., Долженко Е.Ю., Кошельник А.В., Киуила И.Г. Перспективные направления энерготехнологического комбинирования на основе стекловаренных печей // Інтегровані технології та енергозбереження. – 1999. – №2. – С. 31-39.
13. Селихов Ю.А., Бухкало С.И. Способы увеличения КПД гелиоустановок. Промышленная теплотехника. –т.25, 2003, №4. – С.272-273.

УДК 66.041: 666.1.031.2

Кошельник В.М., Селіхов Ю.А., Кошельник О.В., Долженко О.Ю.

**УДОСКОНАЛЕННЯ КОНСТРУКТИВНИХ ЕЛЕМЕНТІВ СИСТЕМИ
ОХОЛОДЖЕННЯ ВИСОКОТЕМПЕРАТУРНИХ АГРЕГАТІВ ВАННОГО ТИПУ**

Обґрунтовано необхідність підвищення стійкості і ефективності роботи тепло-технологічних агрегатів ванного типу при виробництві скла. Описано результати досліджень щодо використання системи випарного охолодження вогнетривкої кладки для регенеративних ванн печей. Представлено практичні рекомендації щодо удосконалення конструктивних параметрів систем охолодження. Запропоновано заходи для поліпшення роботи системи охолодження. Відзначено реальну можливість економії витрати палива за рахунок використання для потреб підприємства водяної пари та горячої води з системи охолодження.