

УДК 66.041: 666.1.031.2

Селихов Ю.А., Коцаренко В.А., Горбунов К.А., Жилин Д.А., Рыщенко И.М.

**ТЕПЛОЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ РАБОТЫ СИСТЕМЫ ОХЛАЖДЕНИЯ СТЕКЛОВАРЕННОЙ ПЕЧИ**

В современных экономических условиях для многих промышленных производств актуальными являются вопросы рационального использования энергетических ресурсов, потребность в которых удовлетворяется, как правило, за счет дорогостоящего природного газа [1]. Коэффициент полезного действия промышленных высокотемпературных теплотехнологических установок (ВТУ) не превышает 20–30 % из-за высоких потерь теплоты в окружающую среду, что свидетельствует о необходимости проведения работ по энергосбережению. Использование системного анализа при изучении теплотехнологии производства стекломассы позволило выделить перспективные направления по энергосбережению и решить ряд практических задач применительно к плавильным агрегатам ванного типа [2, 3]. 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 бакора и до 5–6 мм/сутки для плавленого 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. 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 срок их эксплуатации соответственно в 2,5–3 раза ниже [4]. Для повышения стойкости элементов стекловаренных печей, прежде всего стен варочного бассейна, применяются различные способы охлаждения [5–6]. 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. Исследованы охлаждаемые конструкции плоской формы с установленными в них экранными поверхностями из стальных труб. 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, соединенными верхним и нижним коллекторами. Экраны смонтированы в стальном корпусе прямоугольной формы, изготовленном из стального листа с заполнением межтрубного пространства специальным жаростойким бетоном, а между бетоном и

наружной металлической стенкой прокладка из изоляционного материала [3]. Для оценки работоспособности экранов СИО проведена диагностика температурного состояния элементов в интервале температур 1550–1570 °С, соответствующему режиму варки алюмоборосиликатного стекла с учетом динамики разрушения огнеупорной кладки. Результаты промышленной эксплуатации агрегата показали надежность работы элементов системы, что позволило снизить уровень температур на внешней поверхности стен варочного бассейна [7–9]. При этом технологический агрегат кроме стекло-массы вырабатывал и насыщенный водяной пар, что открыло возможность реализовать различные схемы энерготехнологического комбинирования. СИО, которая смонтирована по периметру варочного бассейна, позволила повысить надежность стен варочного бассейна, замедлить его разрушение на отдельных участках. Однако при осмотре варочного бассейна установлено, что отдельные панели испытали 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 элементам относятся панели в зоне протока, загрузочного кармана, ряд панелей боковой стенки, а также верхняя часть панелей, которая испытывает значительно большие тепловые нагрузки, чем нижняя часть экранов. 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 100 до 190 °С. В тоже время, количество теплоты с наружной поверхности охлаждаемых элементов не использовалась и терялась безвозвратно. Вышеперечисленные факторы обуславливают необходимость комплексного подхода к решению ряда взаимосвязанных задач энергосбережения в теплотехнологии производства стекломассы, как на стадии проектирования, так и на стадии эксплуатации стекловаренных печей, параметрической диагностики и оптимального управления. Нового подхода требует и разработка системы оценки энергетического совершенства тепловых схем, выбор аппаратурного оформления технологического процесса при использовании действующих рекомендаций в условиях отсутствия достаточно надежной и научно обоснованной информации. Поэтому, все вышеперечисленные задачи являются актуальными.

**Цель статьи.** Усовершенствовать систему охлаждения СИО. По периметру стен СИО были поставлены сборные модули 8 [4], которые состоят из плоских металлических коллекторов, установленных своим плоским боком плотно без зазоров к внешней поверхности панелей СИО. Была разработана и предложена усовершенствованная система охлаждения, которая показана на рис. 1.

На рисунке 1 показана принципиальная схема усовершенствованной системы охлаждения стен варочного бассейна ванной стекловаренной печи, работающая следующим образом. Теплоноситель подается через вентиль 1 в установку водоподготовки 2, после которой через вентиль 3 циркуляционными насосами 4 направляется через вентили 30 и 28 снизу в СИО и в вентили 5 и 27 в плоские коллектора и под давлением насосов вода заполняет внутреннюю полость системы СИО и плоских коллекторов, отбирает тепло у внешней поверхности стен 6 варочного бассейна и внешней поверхности СИО и через вентили 9, 10, 12, 13 выходит из СИО и плоского коллектора и поступает через вентиль 14 в емкость с фильтром для очистки от химических элементов и далее через вентили 16, 17 и 18 в первую и вторую секции бака-аккумулятора 31, где

через вентиль 21 циркуляционным насосом 20 подается на хозяйственные нужды 19 предприятия. В случае переполнения бака-аккумулятора 31 включаются два контура схемы соответственно: первый контур включается, когда происходит переполнение бака-аккумулятора 31, тогда закрываются вентили 17, 18 и через вентиль 16 осуществляется подача горячего теплоносителя на нужды предприятия 19; второй контур включается, когда на нужды предприятия 19 не нужно подавать теплоноситель, тогда закрывается вентиль 21 и через вентили 22 и 24 циркуляционным насосом 23 теплоноситель из бака-аккумулятора 31 подается в подающий трубопровод перед вентиляем 1. Термопары, которые размещены перед вентилями 9, 10, 12, 13 в патрубках передают сигнал на автоматику про уровни температур теплоносителя. При повышении температуры теплоносителя выше заданного значения, автоматически увеличивается подача теплоносителя при помощи циркуляционных насосов. Таким образом, автоматизированная система обеспечивает надежную работу системы охлаждения без вмешательства человека, хотя в случае необходимости предусматривается ручное управление системой охлаждения.

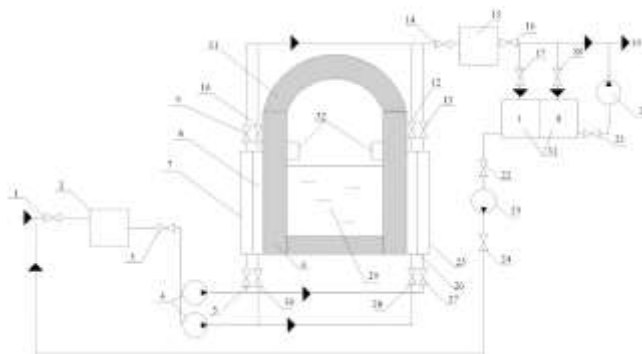


Рисунок 1 – Принципиальная схема усовершенствованной системы охлаждения стен ванной стекловаренной печи

Для предложенной схемы выполнены теплотехнические расчеты по использованию усовершенствованных элементов системы водяного охлаждения. Расчеты выполнены для системы с постоянной температурой воды на входе  $t_n = 15\text{ }^\circ\text{C}$  при условии использования водяного охлаждения по периметру варочного бассейна с заданной величиной поверхности нагрева. Результаты расчетов системы водяного охлаждения при изменении режимных параметров приведены в таблице 1.

Установлено, что в диапазоне температур воды на выходе из коллектора 20–95  $^\circ\text{C}$  и расхода воды от 0,0040698 до 0,2 кг / (м<sup>2</sup>·с) величина теплового потока изменяется от 2,728 до 2145,28 КВт. Это обеспечивает реальную возможность утилизировать тепловые потери практически для всех возможных режимов работы агрегата со значительным запасом по тепловой мощности.

Результаты расчетов показали, что в данном случае представляется возможность использовать на технологические нужды дополнительное количество тепловой энергии, которое ранее не использовалось.

$$Q_B = G_B (I_B'' - I_B'), \quad (1)$$

где  $Q_B$  – количество теплоты, полученное от горячей воды, кВт;  $G_B$  – массовый расход воды, кг/(м<sup>2</sup>·с);  $I_B'$  – энтальпия воды на входе в коллектор;  $I_B''$  – энтальпия воды на выходе из коллектора.

Таблица 1 – Тепловые режимы системы водяного охлаждения агрегата

№ п/п	$G$ , кг/(м <sup>2</sup> ·с)	$t_k$ , °C	$q$ , кВт/м <sup>2</sup>	$Q$ , кВт
1	0,0040698	95	1,364	43,654
2	0,0040698	80	1,1083	35,454
3	0,0040698	60	0,7673	24,552
4	0,0040698	50	0,5968	19,096
5	0,0040698	40	0,4263	13,64
6	0,0040698	30	0,2558	8,184
7	0,0040698	20	0,0853	2,728
36	0,100	95	33,52	1072,64
37	0,100	80	27,235	871,52
38	0,100	60	18,855	603,36
39	0,100	50	14,665	469,28
40	0,100	40	10,475	335,2
41	0,100	30	6,285	201,12
42	0,100	20	2,095	67,04
43	0,150	95	50,28	1608,96

В случае использования на предприятии горячей воды, производимого системой охлаждения, может быть получена экономия топлива  $B$ , величина которой в котельной составит:

$$B = \frac{G_B (I_B'' - I_B')}{Q_H^P \cdot \eta_K}, \quad (2)$$

где  $Q_H^P$  – теплота сгорания условного топлива;  $\eta_K$  – коэффициент полезного действия котла (КПД).

Общая экономия тепловой энергии  $\Delta Q$ :

$$\Delta Q = \Delta Q_{\Pi} + \Delta Q_{XB} + \Delta Q_{YГ}, \quad (3)$$

где  $\Delta Q_{\Pi}$  – экономия тепловой энергии от полученного пара в СИО;  $\Delta Q_{XB}$  – экономия тепловой энергии от полученной горячей воды в системе охлаждения внешней поверхности СИО;  $\Delta Q_{YГ}$  – экономия тепловой энергии от уходящих газов.

Экономия топлива  $B$  при использовании пара СИО и горячей воды:

$$B = \frac{G_{\Pi} (I_{\Pi} - I_B)}{Q_H^P \cdot \eta_{K1}} + \frac{G_B (I_B'' - I_B')}{Q_H^P \cdot \eta_{K2}}, \quad (4)$$

где  $G_{\text{П}}$  – массовый расход пара;  $I_{\text{П}}$  – энтальпия пара;  $I_{\text{В}}$  – энтальпия питательной воды.

Годовая экономия условного топлива  $B_{\text{Г}}$  при заданной продолжительности потребления горячей воды  $T_{\text{В}}$  составит величину:

$$B_{\text{Г}} = B \cdot T_{\text{В}}. \quad (5)$$

В качестве примера, расчеты были выполнены для природного газа и системы охлаждения с заданной температурой воды на входе при условии использования водяного охлаждения по всему периметру варочного бассейна с относительно небольшой площадью варочного бассейна. Расчеты показали, что даже при частичном использовании горячей воды может быть получена значительная экономия природного газа на предприятии, см. рис. 2.

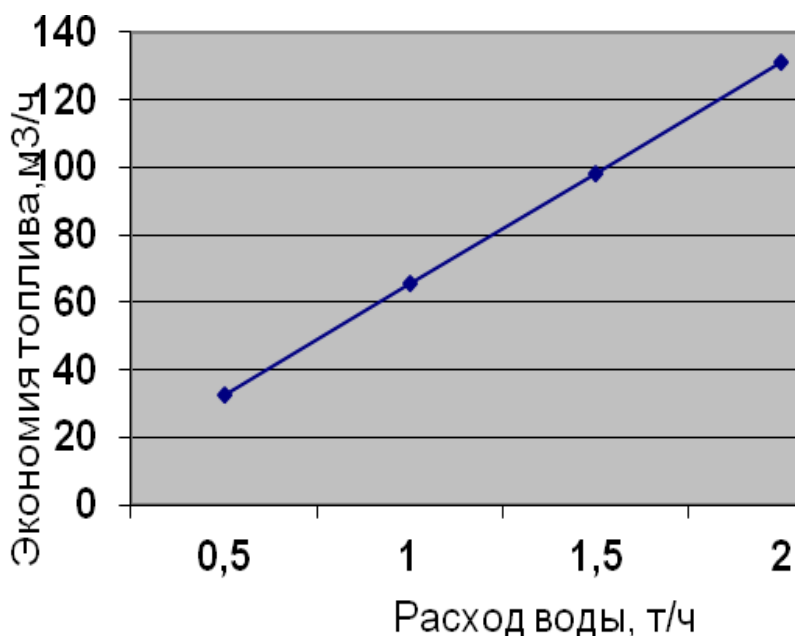


Рисунок 2 – Экономия топлива при получении горячей воды

**Выводы**

Результаты приведенных исследований позволяют:

1. Значительно снизить температуру охлаждаемой поверхности, обеспечить реальную возможность использовать теплоту, отводимую от поверхности ограждения бассейна на технологические нужды предприятия.
2. Получить реальную возможность утилизировать тепловые потери практически для всех возможных режимов работы агрегата со значительным запасом по тепловой мощности.
3. Обеспечить более равномерные температурные поля по всей поверхности, снизить температуру поверхности до 90 °С и одновременно наиболее полно использо-

вать теплоту, отводимую от поверхности ограждения бассейна на технологические нужды предприятия.

4. Получить реальную экономию топлива.

5. Обеспечить снижение теплового загрязнения окружающей среды и 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., Долженко Е.Ю., Кошельник А.В., Киуила И.Г. Перспективные направления энерготехнологического комбинирования на основе стекловаренных печей // Интегровані технології та енергозбереження. – 1999. – №2. – С. 31–39.

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

5. Интегрированные энергосберегающие теплотехнологии в стекольном производстве: Монография / Л.Л. Товажнянский, В.М. Кошельник, В.В. Соловей, А.В. Кошельник; Под ред. В.М. Кошельника. – Харьков: НТУ «ХПИ», 2008 – 628 с.

6. Ключников А.Д. Энергетика, теплотехнология и вопросы энергосбережения. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 128 с.

7. Тепловые процессы в технологии силикатных материалов: Учебник для вузов / И.А. Булавин, И.А. Марков, А.Я. Рапопорт, В.К. Хохлов.– М.: Стройиздат, 1982– 248 с.

8. Пиоро Л.С. Экономия топлива в производстве стекла. –К.: Наук. Думка, 1981– 140 с.

9. Кошельник В.М., Селихов Ю.А., Кошельник А.В., Долженко Е.Ю. Совершенствование конструктивных элементов системы охлаждения высокотемпературных агрегатов ванного типа // Интегровані технології та енергозбереження.– 2004.– №2.– С. 22–27.

#### Bibliography (transliterated)

1. Goyhman V.Yu., Ruslov V.N., Kostyrya V.A. Pechnaya teplotehnika v proizvodstve stekla. – Harkov: Fakt, 1997. – 288 p.

2. Energoberezhenie pri varke stekla / G.M. Matveev, V.V. Mironov, E.M. Raskina, K.E. Tarasevich // Steklo i keramika. – 1998.– #11.– P. 10–11.

3. Koshelnik V.M., Dolzhenko E.Yu., Koshelnik A.V., Kiuila I.G. Perspektivnyie napravleniya energotekhnologicheskogo kombinirovaniya na osnove steklovarenyih pechey // Integrovani tehnologiyi ta energoberezhennya. – 1999. – #2. – P. 31–39.

4. Koshelnik V.M., Selihov Yu.A., Koshelnik O.V., Dolzhenko O.Yu. Vanna sklovarna pich. Patent Ukrayini # 20031212106. Byul. #12, 2004.

5. Integrirovannyye energosberegayuschie teplotehnologii v stekolnom proizvodstve: Monografiya / L.L. Tovazhnyanskiy, V.M. Koshelnik, V.V. Solovey, A.V. Koshelnik; Pod red. V.M. Koshelnika. – Harkov: NTU «HPI», 2008 – 628 p.

6. Klyuchnikov A.D. Energetika, teplotehnologiya i voprosyi energosberezheniya. – M.: Energoatomizdat, 1986. – 128 p.

7. Teplovyie protsessyi v tehnologii silikatnykh materialov: Uchebnik dlya vuzov / I.A. Bulavin, I.A. Markov, A.Ya. Rapoport, V.K. Hohlov.– M.: Stroyizdat, 1982– 248 p.

8. Pioro L.S. Ekonomiya topliva v proizvodstve stekla. –K.: Nauk. Dumka, 1981.– 140 p.

9. Koshelnik V.M., Selihov Yu.A., Koshelnik A.V., Dolzhenko E.Yu. Sovershenstvovanie konstruktivnykh elementov sistemy ohlazhdeniya vyisokotemperaturnykh agregatov vannogo tipa // Integrovani tehnologii ta energozberezheniya.– 2004.– #2.– P. 22–27.

УДК 66.041: 666.1.031.2

Селіхов Ю.А., Коцаренко В.О., Горбунов К.О., Жилін Д.А., Рищенко І.М.

### **ТЕПЛОЕНЕРГЕТИЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ РОБОТИ СИСТЕМИ ОХОЛОДЖУВАННЯ СКЛОВАРНОЇ ПЕЧІ**

Запропонована система охолодження зовнішньої поверхні стін скловарної печі, яка дозволяє: забезпечити більш рівномірні температурні поля по всій площі стін варильного басейну, що дає можливість уповільнити процес руйнування вогнетривкої кладки і понизити температуру поверхні від 60 до 90 °С і одночасно найповніше використовувати теплоту, що відводиться від поверхні системи випарного охолодження на технологічні потреби підприємства; забезпечити реальну економію палива, забезпечити зниження теплового забруднення навколишнього середовища і зменшення викидів оксидів азоту за рахунок зниження витрати палива, що спалюється в промислових котельнях.

Selikhov Y.A., Kotsarenko V.A., Gorbunov K.A., Zhilin D.A., Ryschenko I.M.

### **HEAT ENERGY EFFICIENCY OF FUNCTIONING SYSTEM WITH COOLING OF STOVE GLASS**

The system of cooling of external surface of walls of stove glass is boiling in which is offered, allowing: to provide more even temperature fields on all area of walls of pool of stove, that enables to slow the process of destruction of the heat-resistant laying and reduce the temperature of surface from 60 to 90 °C and simultaneously most full to utilize a warmth, taken from the surface of the system of the evaporated cooling on the technological needs of enterprise; to provide the real economy of fuel; to provide the decline of thermal contamination of environment and diminishing of the troop landings of oxides of nitrogen due to the decline of expense of fuel, burned in industrial boiler rooms.