

УДК 621.1.016.46: 666.1.031.2

СИСТЕМЫ ОХЛАЖДЕНИЯ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОГО АГРЕГАТА ВАННОГО ТИПА

Селихов Ю.А.¹ к.т.н., проф., Коцаренко В.А.¹ к.т.н., проф., Жилин Д.А.¹,
Лузан С.А.² д.т.н., проф., Лузан А.С.², Захаров С.Н.²

¹(Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт»)

²(Харьковский национальный технический университет сельского хозяйства им. Петра Василенко)

Применение плоских коллекторов специальной конструкции позволило наиболее полно использовать тепло внешней поверхности панелей холодильника – уменьшить температуру поверхности до 30 градусов Цельсия, для получения горячей воды систем теплоснабжения, что в совокупности позволяет увеличить срок эксплуатации огнеупорной кладки стен варочного бассейна ванной стекловаренной печи.

Введение. В современных экономических условиях актуальными являются вопросы ресурсосбережения, рационального использования энергетических ресурсов в промышленности, потребность в которых удовлетворяется, как правило, за счет дорогостоящего природного газа. Значительные резервы повышения энергоэффективности имеет стекольное производство, где широко используются высокотемпературные теплотехнологические установки (ВТУ) ванного типа, коэффициент полезного действия которых в большинстве случаев не превышает 30% из-за значительных тепловых потерь [1, 2]. На отечественных промышленных предприятиях удельные затраты материальных и энергетических ресурсов в стекольном производстве значительно превосходят аналогичные показатели, достигнутые в индустриально-развитых странах [3]. Этим объясняется необходимость проведения исследований, направленных на решение практических задач по снижению энергоемкости производства стеклоизделий. Низкая эффективность агрегатов ванного типа, в значительной степени определяется значительными тепловыми потерями с уходящими дымовыми газами и через ограждения варочной и выработочной зоны. При этом их работа характеризуется недостаточной стойкостью отдельных элементов, особенно, огнеупорной кладки стен варочного бассейна. Это приводит к уменьшению срока промышленной эксплуатации агрегатов, к необходимости проведения дорогостоящих капитальных ремонтов. Одной из актуальных задач в стекольном производстве, наряду с энергосбережением, является повышение стойкости варочного бассейна агрегатов и увеличение межремонтных сроков.

Огнеупоры стен варочной зоны, работающие в агрессивной высокотемпературной среде по сравнению с огнеупорами свода и подины, подвержены наиболее интенсивному разрушению на уровне расплава стекломассы. Эти явления сопровождаются значительным повышением температуры огнеупорной кладки и наружной поверхности стен варочного бассейна, увеличению тепловых потерь через ограждения агрегатов. Таким образом, срок эксплуатации технологических агрегатов ванного типа при производстве стекла определяется, прежде всего, стойкостью огнеупорной кладки стен варочного бассейна и зависит от качества огнеупорных материалов.

Анализ публикаций и исследований. Использование системного анализа при изучении теплотехнологии производства стекломассы позволило выделить перспективные направления по энергосбережению и решить ряд практических задач применительно к промышленным плавильным агрегатам ванного типа, используемых для производства стекла [4-8].

Как известно, для повышения стойкости элементов стекловаренных печей, прежде всего стен варочного бассейна, применяются различные способы охлаждения [4]. Как установлено, чаще всего на промышленных агрегатах применяется воздушное или водяное охлаждение. В целом, применение воздушного или водяного охлаждения элементов стекловаренных печей, как следует из опубликованных данных, не решает проблемы повышения их стойкости, при этом недостаточно внимания уделяется решению вопросов утилизации теплоты, теряемой в окружающую среду. Применение водяного охлаждения с использованием технической воды и коробчатых охлаждаемых элементов не позволяет использовать отводимую теплоту из-за низкого уровня температуры нагрева воды. Как известно, ее величина ограничена условиями выпадения солей на поверхностях охлаждаемых элементов. Системы испарительного охлаждения (СИО) получили широкое применение на металлургических агрегатах, а на стекольных заводах имели место только единичные случаи их применения [4].

Таким образом, возникла необходимость проведения исследований, направленных на решение практических задач по усовершенствованию систем охлаждения с целью снижения энергоемкости производства стеклоизделий и увеличения стойкости агрегатов.

Цель исследований. Усовершенствование систем охлаждения элементов стекловаренных печей с целью снижения энергоемкости производства стеклоизделий и увеличения стойкости агрегатов.

Результаты исследований. В развитие выполненных исследований [4] для стекольного производства нами разработаны предложения по созданию усовершенствованной системы водяного охлаждения огнеупорной кладки варочного бассейна с использованием теплоты, отводимой от охлаждаемых элементов. В работе рассмотрены вопросы, связанные с применением в комбинированных системах усовершенствованных конструктивных элементов

водяного охладження, забезпечують реальну можливість використання раніше втраченої теплоти на технологічні потреби підприємства.

Нами були обґрунтовані та реалізовані пропозиції та рекомендації по використанню СІО для стекловарної печі при виробництві алюмосилікатного скла [3]. Досліджені охладжувані конструкції плоскої форми з встановленими в них екранними поверхностями з сталевих труб [8,9]. Установка охладжувані панелей передбачена по периметру ванни з зовнішньої сторони. Екрани встановлені в сталевому корпусі прямокутної форми, виготовленому з сталевих листів. Міжтрубне простір заповнено жаростійким бетоном, між бетоном і зовнішньої металеві стінкою розташована прокладка з ізоляційного матеріалу. Для оцінки працездатності екранів СІО проведена комп'ютерна діагностика і промислові дослідження температурного стану елементів в режимі варки алюмосилікатного скла з урахуванням динаміки руйнування огнеупорної кладки. З використанням розробленої методики проведені експериментальні дослідження теплового стану парогенеруючих елементів СІО варочного басейна стекловарної печі [4]. Результати промислової експлуатації агрегату показали надійність роботи елементів системи, що дозволило знизити рівень температур на поверхні огороження варочного басейна. При цьому технологічний агрегат крім скломаси виробляв і насичений водяний пар, що відкриває можливість реалізувати різні схеми енерготехнологічного комбінування [4]. СІО, яка встановлена по периметру варочного басейна, дозволила підвищити надійність стін варочного басейна, затримати його руйнування на окремих ділянках. Однак при огляді варочного басейна встановлено, що окремі панелі зазнали значительні теплові навантаження через руйнування огнеупорного бруса і матеріалу - заповнювача панелей, яке є наслідком фізико-хімічних взаємодій матеріалів з агресивною рухомою середою при високій температурі. До таких елементів відносяться панелі в зоні потоку, загрузочного кармана, ряд панелей бічної стінки, а також верхня частина панелей, яка зазнає значительні більші теплові навантаження, ніж нижня частина екранів. Зафіксовано нерівномірне руйнування огнеупорної кладки по периметру стін варочного басейна, звідси і наявність нерівномірних температурних полів по всій площині зовнішніх стін басейна. Тому на зовнішній поверхні панелей СІО також спостерігається нерівномірне температурне поле, а рівень температур може досягати до 60 – 90°C. Слід зазначити, що теплота генеруваного СІО водяного пару в кількості

$$Q_{\Sigma} = \sum_{i=1}^N r \cdot G_{i,i} \quad , \quad (1)$$

де r - прихована теплота пароутворення,

G - массовый расход водяного пара, использовалась для нужд теплоснабжения в системах отопления предприятия. В тоже время, количество теплоты с наружной поверхности охлаждаемых элементов не использовалась и терялась безвозвратно.

В данной работе предложены мероприятия по дальнейшему усовершенствованию конструкции системы охлаждения, обеспечивающие возможность комплексного использования теплоты пара и теплоты, отводимой с охлаждающей водой. На рис. 1 представлен фрагмент системы комбинированного охлаждения варочного бассейна стекловаренной печи, где сочетается использование парогенерирующих панелей СИО и элементов водяного охлаждения. Предложена оригинальная конструкция панели водяного охлаждения, которая обеспечивает за счет улучшения гидродинамики движения теплоносителя широкие возможности управления отводом тепловой энергии в широком диапазоне параметров.

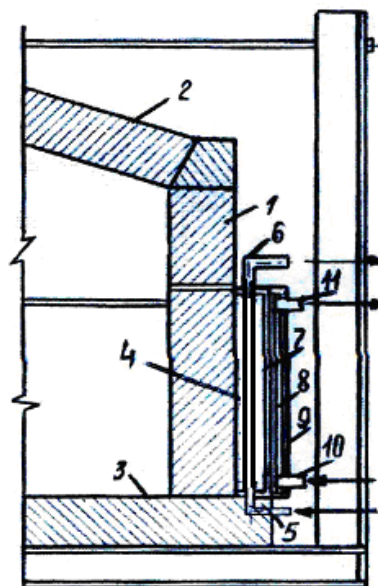


Рисунок 1 - Фрагмент системы комбинированного охлаждения варочного бассейна стекловаренной печи

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 [9]. Применение плоских коллекторов специальной конструкции позволяет уменьшить температуру поверхности примерно до 30 °С и одновременно наиболее полно использовать теряемую раньше теплоту внешней поверхности панелей

холодильника, которая не использовалась. Количество отводимой теплоты от каждой i -й панели системы водяного охлаждения составит

$$Q_i = G_{\hat{A},i} \tilde{N}_D (t_{B,i}'' - t_{B,i}') , \quad (2)$$

где $G_{\hat{A},i}$ - массовый расход теплоносителя, отводимого от i -й панели системы водяного охлаждения; \tilde{N}_D - удельная теплоемкость теплоносителя, отводимого от панелей системы водяного охлаждения; $t_{B,i}'$ - температура теплоносителя на входе в i -ю панель системы водяного охлаждения; $t_{B,i}''$ - температура теплоносителя на выходе из i -й панели системы водяного охлаждения.

Суммарное количество теплоты для всех панелей системы водяного охлаждения равно

$$Q_{\Sigma} = \sum_{i=1}^n Q_i . \quad (3)$$

На рисунке 1 показана ванная стекловаренная печь, которая состоит из стены 1 варочного бассейна, свода печи 2, дна 3, элементов 4, которые охлаждаются, с подведением 5 и отведением 6 теплоносителя, сборного модуля, который состоит из металлической коробки 9, в которой находится плоский металлический коллектор 8 [9], установленный своим плоским боком вплотную без зазоров к внешней поверхности панелей холодильника 7 с трубопроводами 10, что подводит и 11, что отводит теплоноситель. 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. Термопары, 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.

Нами была разработана схема усовершенствованной системы охлаждения стен варочного бассейна стекловаренной печи, которая представлена на рисунке 2.

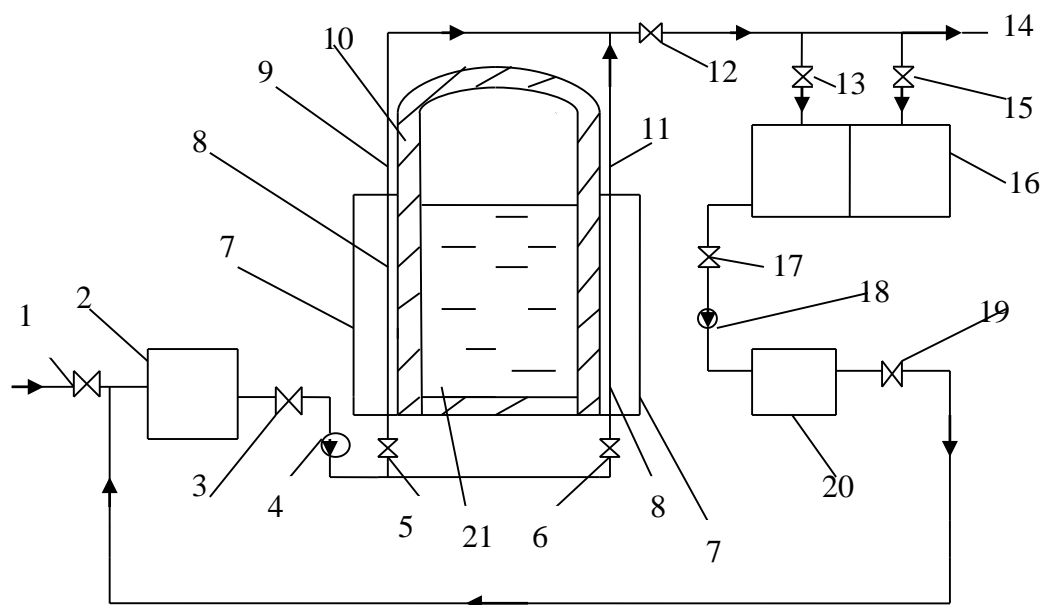


Рисунок 2 - Принципиальная схема усовершенствованной системы охлаждения стен варочного бассейна ванной стекловаренной печи

Теплоноситель подается через вентиль 1 в установку водоподготовки 2, после которой через вентиль 3 насосом 4 направляется через вентили 22 и 26 в СИО, а через вентили 5 и 6 снизу в плоские коллектора и под давлением насоса вода заполняет внутреннюю полость коллектора, отбирает тепло у внешней поверхности стен 10 варочного бассейна и через патрубки 25 и 29 выходит из СИО, а через патрубки 9 и 11 выходит из коллектора и поступает через вентиль 13 в первую, а через вентиль 15 во вторую секции бака - аккумулятора 16. По трубопроводу 14 нагретый теплоноситель поступает на хозяйственные нужды предприятия. В первую секцию помещают контейнер со стеклосоем, где он нагревается до необходимой температуры и очищается от загрязнений.

После этого контейнер перемещают из первой секции во вторую секцию, в которой догревают и доочищают стеклосоем. После этого контейнер поднимают из секции и дают возможность теплоносителю стечь и далее помещают стеклосоем в расплавленную стекломассу 21 варочного бассейна стекловаренной печи. Теплоноситель с бака - аккумулятора 16 через вентиль 17 при помощи насоса 18 направляется в фильтрующую установку 19 и после его очистки через вентиль 20 направляют на вход установки водоподготовки 2. Термопары, которые размещены в патрубках 9 и 11, передают сигнал на автоматику про уровни температур теплоносителя. При повышении температуры теплоносителя выше заданного значения, автоматически увеличивается подача теплоносителя при помощи насоса. Таким образом, автоматизированная система обеспечивает надежную работу системы охлаждения без вмешательства человека, хотя в случае необходимости предусматривается ручное управление системой охлаждения. Для предложенной схемы выполнены теплотехнические расчеты по

использованию усовершенствованных элементов системы водяного охлаждения. Расчеты выполнены для системы с постоянной температурой воды на входе $t_n = 15$ °С 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.

Таблица 1 – Тепловые режимы системы водяного охлаждения агрегата

№ п/п	G , кг/(м ² ·с)	t_k , °С	q , кВт/м ²	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

Установлено, что в диапазоне температур воды на выходе из коллектора 20–95 °С и расхода воды от 0,0040698 до 0,2 кг/(м²·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 с 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.

В качестве перспективного направления повышения эксплуатационной стойкости системы можно рассматривать использование защитных покрытий на поверхностях, подверженных коррозионному воздействию [10].

Выводы. 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 градусов Цельсия, для получения горячей воды систем теплоснабжения, что в совокупности позволяет увеличить срок эксплуатации огнеупорной кладки стен варочного бассейна ванной стекловаренной печи.

Список литературы:

1. Гойхман В.Ю., Руслов В.Н., Костыря В.А. Печная теплотехника в производстве стекла. – Харьков: Факт, 1997. – 288 с.
2. Козлов А.С. Теплотехника регенеративных стекловаренных печей.– М.: Легпромбытиздат, 1990. – 143 с.
3. Энергосбережение при варке стекла / Г.М.Матвеев, В.В.Миронов, Э.М.Раскина, К.Е.Тарасевич // Стекло и керамика. - 1998.- №11.- С. 10 - 11.
4. Кошельник В.М., Кошельник О.В., Долженко О.Ю. Розробка та впровадження енергозберігаючих заходів в теплотехнологію промислового виробництва скломаси // Тези доповіді міжнародної НТК “Енергоефективність – 2002” м. Київ: НАН України. – С. 2.
5. Туренко А.Н. Интегрирование технологии газотермического напыления покрытий и метода электроискрового легирования / А.Н. Туренко, А.С. Полянский, С.А. Лузан // Автомобильный транспорт : сб. научн. трудов. – 2011. – Вып. 28. – С. 109-113.
6. Кошельник В.М., Филиппев О.В., Кошельник А.В. О возможности применения опыта испарительного охлаждения металлургических агрегатов для стекловаренных печей // Вестник Харьковского государственного политехнического университета, Выпуск 16, Харьков :ХГПУ,1998.- С.165–168.
7. 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.
8. Кошельник В.М., Селіхов Ю.А., Кошельник О.В., Долженко О.Ю. Ванна скловарна піч. Патент України № 20031212106. Опубл. 15.12.2004., бюл. №12, 2004.
9. Селіхов Ю.А., Селіхова Н.В., Селіхова Л.Ю. Геліоводонагрівник Патент України № 64200 А. Опубл. 16.02.04, бюл. №2.
10. Vlasovets V.M. The structure and distribution of the components in the working layer upon parts arc spraying metallizing reconditioning / T.S.Skoblo, V.M. Vlasovets // Metallovedenie i Termicheskaya Obrabotka Metallov(Russia). Vol.16. No. 12. March. 2001, p.26-29

Анотація

Системи охолодження високотемпературного агрегату ванного типу

Селіхов Ю.А., Коцаренко В.А., Жилин Д.А.,
Лузан С.А., Лузан А.С., Захаров С.М.

Застосування плоских колекторів спеціальної конструкції вирішує найповніше використувувати тепло зовнішній поверхні панелей холодильника - зменшити температуру поверхні до 30 градусів Цельсія, для отримання гарячої води системою опалення, що в сукупності дозволяє збільшити термін експлуатації вогнетривкої кладки стін варильного басейну ванної скляної печі.

Abstract

Systems of cooling of high temperature aggregate of bath type

Selikhov Yu.A., Kotsarenko V.A., Zhilin D.A.,
Luzan S.A., Luzan A.S., Zakharov S.N.

Application of flat collectors of the special construction decides completely to utilize warmly to the external surface of panels of refrigerator - to decrease the temperature of surface to 30 degrees celsius, for the receipt of hot water of the systems of heating, that in an aggregate allows to increase the term of exploitation of the heat-resistant laying of walls of cooking pool of bath melting stove.