

*Д.В. БЕКНАЗАРЯН*, асс., НТУ «ХПИ»,

*В.М. КОШЕЛЬНИК*, д-р техн. наук, проф., НТУ «ХПИ»,

*А.А. ЛАРИН*, канд. техн. наук, доц., НТУ «ХПИ»

## **КОМПЬЮТЕРНАЯ ДИАГНОСТИКА ТЕМПЕРАТУРНОГО СОСТОЯНИЯ И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ РЕСУРСА ОГНЕУПОРНОЙ КЛАДКИ ВАРОЧНОЙ ЗОНЫ СТЕКЛОВАРЕННОЙ ПЕЧИ С ВОЗДУШНЫМ ОХЛАЖДЕНИЕМ**

Проведены расчёты температурных полей по сечению огнеупорного бруса и теплоизоляционных конструкций. Установлено влияние изменения температуры расплава стекломассы на уровне пода печи относительно зеркала и изменения положения соплового аппарата системы принудительного воздушного охлаждения на длительность кампании стекловаренной печи.

**Ключевые слова:** стекловаренная печь, боковое ограждение, температурное поле, коррозия огнеупоров, продолжительность работы

### **Введение.**

Процессы коррозионного износа огнеупорных материалов в ваннах пламенных стекловаренных печах под действием агрессивного высокотемпературного расплава наиболее активно протекают на линии зеркала стекломассы для стеновых брусьев варочного бассейна и «потолочных» горизонтальных поверхностях в районе протока [1, 2]. Эти процессы, как известно, непосредственно влияют на продолжительность кампании печи.

Как известно, безопасность её эксплуатации в большинстве случаев зависит от свойств и срока службы огнеупорных материалов бокового ограждения варочного бассейна.

### **Постановка задачи в общем виде.**

В качестве расчётного элемента выбрано поперечное сечение бокового ограждения печи в зоне варки стекломассы, где имеет место максимальный уровень температуры стекломассы и продуктов сгорания, что вызывает максимальную интенсивность разрушения огнеупорных брусьев под воздействием коррозии.

В соответствии с исходными данными, представленными в работе [3], рассчитывается длительность кампании печи при наличии принудительного

© Д.В. Бекназарян, В.М. Кошельник, А.А. Ларин, 2014

воздушного охлаждения на уровне зеркала стекломассы.

На рисунке 1 представлено поперечное сечение варочного бассейна ванной стекловаренной печи непрерывного действия: I – зона пламенного пространства печи, II – расплав стекломассы, 1 – главный свод, 2 – боковое ограждение варочной зоны; 3 – многослойный под печи.

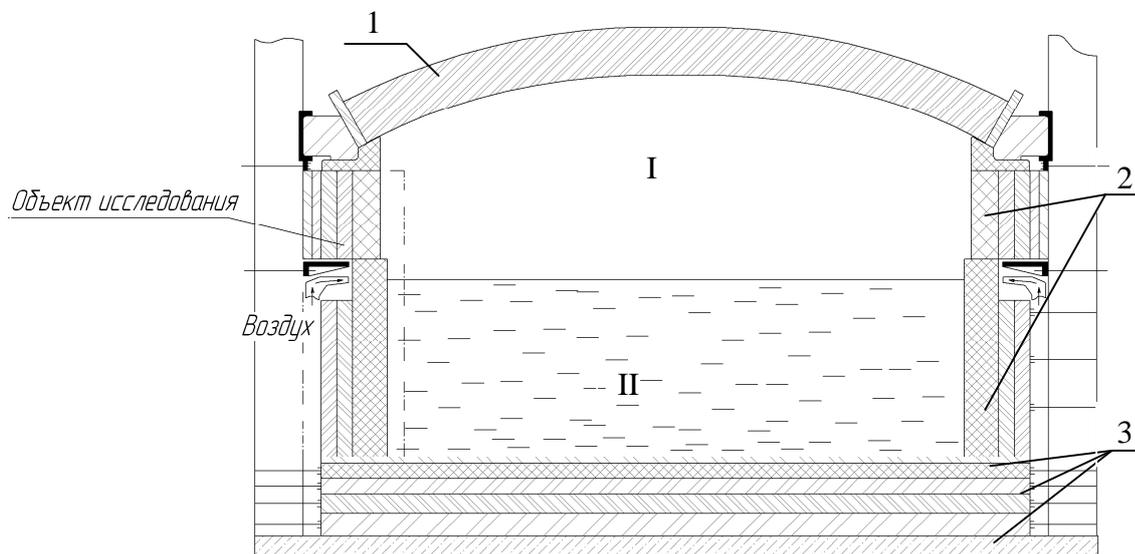


Рис. 1 – Схема поперечного сечения варочного бассейна ванной стекловаренной печи непрерывного действия: I – зона пламенного пространства печи, II – расплав стекломассы, 1 – главный свод, 2 – боковое ограждение варочной зоны; 3 – многослойный под печи.

Как видно, наружная изоляция поверхности огнеупорного бруса выполнена в виде многослойной панели. Основные теплофизические свойства огнеупорных и теплоизоляционных материалов, используемых при моделировании работы бокового ограждения, приведены в таблице 1, причём материалы нумеруются в той последовательности, в которой они монтируются на внешнюю поверхность огнеупорного бруса. Характер многослойной теплоизоляционной конструкции ограждения зоны пламенного пространства и варочной зоны приведены в таблице 2.

Нами предложен расчётный комплекс, возможности которого позволяют определять температурное состояние и время эксплуатации бокового ограждения стекловаренной печи.

Имеется возможность в параметрической форме задавать геометрические характеристики ограждения, граничные условия 1-го рода, граничные условия 3-го рода, теплофизические характеристики используемых материалов, интенсивность теплообмена при использовании принудительного воздушного охлаждения, указывать расположение соплового аппарата по отно-

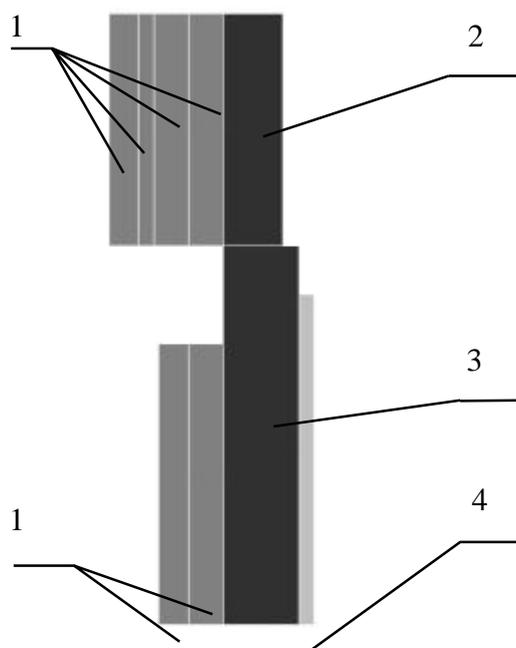


Рис. 2 – Поперечное сечение бокового ограждения варочного бассейна: 1 – теплоизоляционные панели зоны пламенного пространства и варочной зоны, 2 – огнеупорный брус зоны пламенного пространства (бакор-33); 3 – огнеупорный брус варочной зоны (бакор-41); 4 – пристенный слой расплава стекломассы.

Таблица 1 – Характеристики огнеупорных и теплоизоляционных изделий [4]

№ п/п	Марка огнеупора	Максимальная температура применения, (не более), $t_{\text{прим}} \text{ } ^\circ\text{C}$	Расчётная формула для определения коэффициент теплопроводности $\lambda$ , Вт/(м К)	Предел прочности огнеупора при сжатии, МПа
1.	AZS-36 (41), ZWS: $\rho = 3,7 (3,8) \text{ т/м}^3$	1700	$6 - 5,63 \cdot 10^{-3}t + 3,86 \cdot 10^{-6}t^2$	350
2.	AZS-33, WS: $\rho = 3,65 \text{ т/м}^3$	1700	$6 - 5,628 \cdot 10^{-3}t + 4,015 \cdot 10^{-6} \cdot t^2$	350
3.	Мертель AZS 0,5 L	1700	5,0	–
4.	МЛС-62; ГОСТ 24704–94	1450	$1,12 + 0,444 \cdot 10^{-3}t$	25
5.	BN-40 (40% $\text{Al}_2\text{O}_3$ , $\rho = 2,25 \text{ т/м}^3$ )	1450	$1,32 + 0,437 \cdot 10^{-3}t + 0,141 \cdot 10^{-6}t^2$	50
6.	ШЛ-0,9; ГОСТ 5040-96	1270	$0,29 + 0,23 \cdot 10^{-3}t$	2,5
7.	ШТЛ-0,6; ГОСТ 5040-96	1150	$0,13 + 0,23 \cdot 10^{-3}t$	2,5
8.	ШЛ-0,4; ГОСТ 5040-96	1150	$0,1 + 0,21 \cdot 10^{-3}t$	1,0
9.	КЛ-1,1; ГОСТ 5040-96	1550	0,55	2,5
10.	КПД 400-И ТУ 5764-002-25310144-99	950*	$0,0747 + 0,1 \cdot 10^{-3}t$	1,7*
11.	КПД 500-И ТУ 5764-002-25310144-99	950*	$0,096 + 0,08 \cdot 10^{-3}t + 0,04 \cdot 10^{-6}t^2$	2,3*

\*Уточнённые показатели – по данным ООО «Диатомитовый комбинат»

шению к зеркалу стекломассы, учитывать многослойность теплоизоляционных панелей в которых применяются разнообразные материалы.

Таблица 2 – Характеристики изоляционных материалов ограждения варочного бассейна [5]

№ п/п	Наименование изоляционного материала	Толщина слоя, мм
Область пламенного пространства		
1.	Легковес муллитокорундовый КЛ-1.1	114
2.	Шамот легковесный ШЛ-0.9	114
3.	Шамот легковесный ШЛ-0.4	65
4.	Кирпич пенидиатомитовый КПД-400	114
Область варочного пространства		
1.	Легковес муллитокорундовый КЛ-1.1	114
2	Кирпич пенидиатомитовый КПД-400	65

### **Изложение основного материала.**

Результатами вычислений, полученных с помощью программного комплекса являются данные о двумерном температурном поле по сечению огнеупорного материала и теплоизоляционных панелей, динамика изменения конфигурации (толщины) корродирующего огнеупорного материала варочной зоны в процессе эксплуатации стекловаренной печи.

Нами проведено моделирование длительности кампании печи в зависимости от разности температур расплава по глубине бассейна между зеркалом стекломассы и уровнем пода варочной зоны в диапазоне от 150 до 90 °С с интервалом 30 °С [4, 5].

На основании полученных результатов получена графическая зависимость длительности кампании печи от  $\Delta t_{ст}$ , которая представлена на рисунке 3. Как видно, в случае снижения уровня тепловых потерь через под печи, приводящих к уменьшению разности температур по глубине бассейна, длительность кампании может сокращаться на 36 % (при  $\Delta t_{ст} = 90$  и  $\Delta t_{ст} = 150$  °С)

Температурное поле в продольном сечении ограждения, а так же конфигурация огнеупорного бруса на различных этапах работы печи представлены на рисунке 4. Как видно, коррозия огнеупора при температуре зеркала стекломассы 1400 °С, изменение температур по глубине бассейна 90 °С на линии зеркала стекломассы и на глубине бассейна 550 – 600 мм носят сходный характер.

Это связано с резким увеличением температуры огнеупорного бруса в зоне теплоизоляционных панелей при отсутствии принудительного охлаждения.

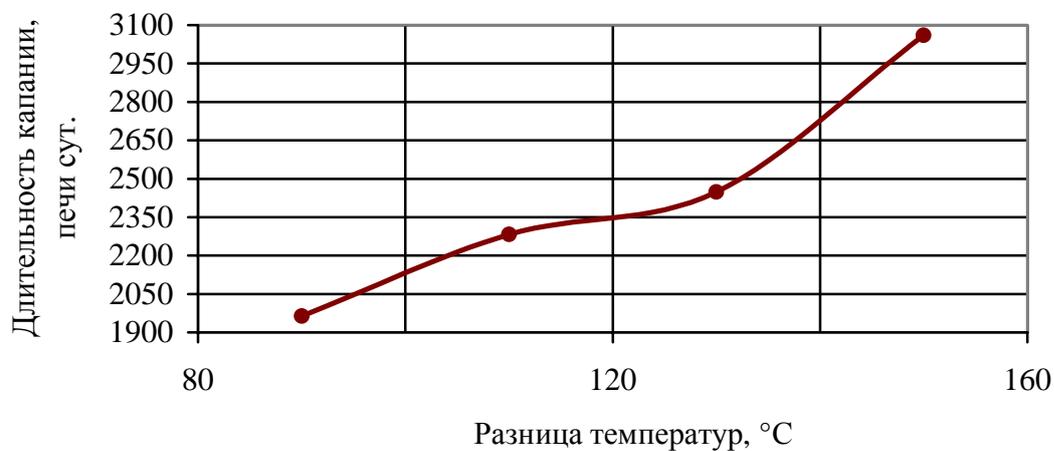


Рис. 3 – Зависимость длительности кампании печи от разницы температур по глубине бассейна с расплавом стекломассы

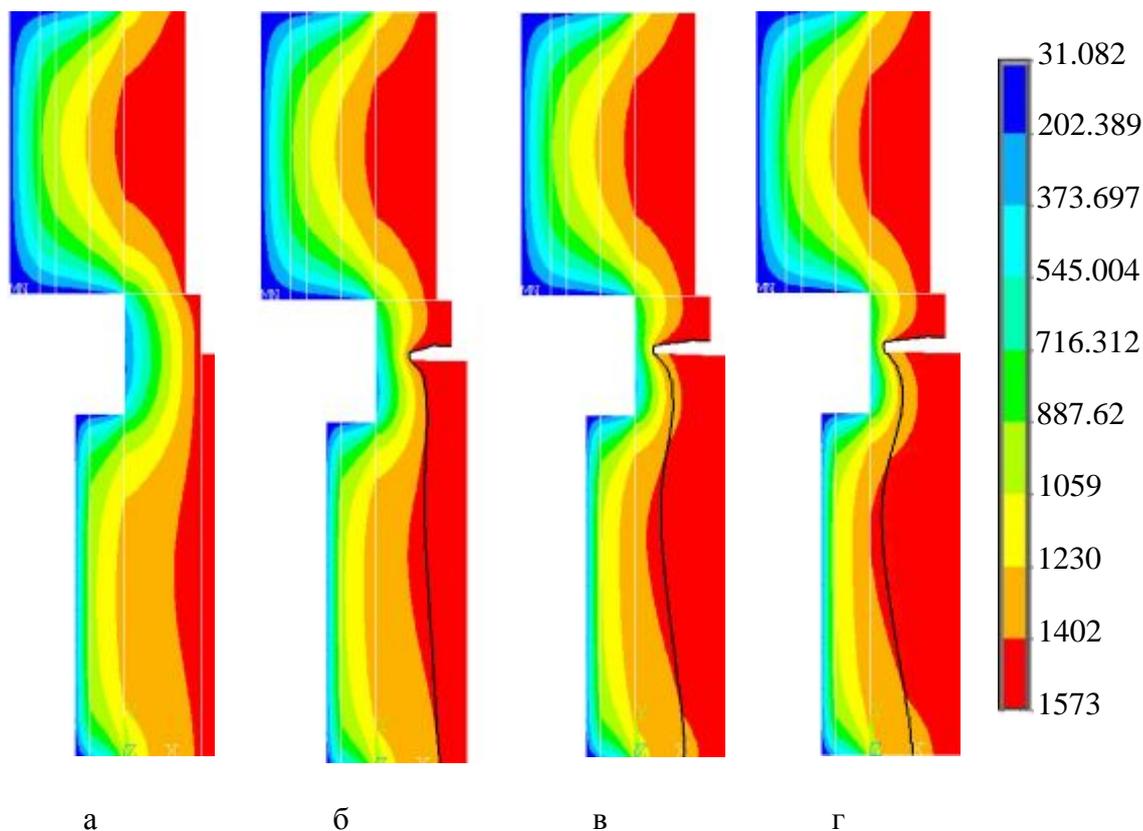


Рис. 4 – Распределение температуры по сечению бокового ограждения на различных этапах с момента пуска печи (граница огнеупора обозначена сплошной жирной линией): а – исходная конфигурация, б – 153 дня, в – 306 суток, г – 417 суток.

Конфигурация огнеупорного бруса варочной части бассейна в зависимости от перепада температуры по глубине бассейна представлена на рисунке 5. Для анализа взяты два крайних значения из рассматриваемого ряда значений  $\Delta t_{ст}$ .

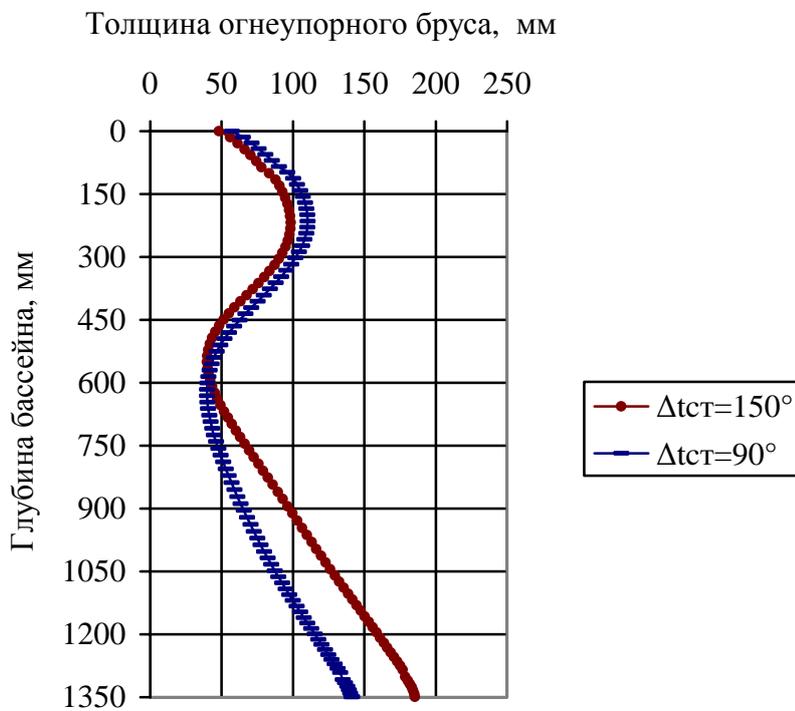


Рис. 5 – Изменение толщины огнеупорного бруса по глубине бассейна в зоне варки стекломассы в зависимости от величины перепада температуры  $\Delta t_{ст}$

В случае перепада температур равного 150 и 90 °С минимальная толщина огнеупорного материала, равная 40 мм, устанавливается на глубине 536 мм и 616 мм соответственно. При этом на линии зеркала стекломассы толщина огнеупора составляет 48,17 и 57,2 мм, соответственно.

Отметим, что высокий уровень теплоизоляции варочного пространства приводит к увеличению скорости коррозии и сокращению длительности кампании печи.

Снижения скорости коррозии можно добиться общим понижением температуры пламенного пространства и варки стекломассы, уменьшением толщины теплоизоляционных панелей для локального снижения температуры огнеупорного бруса варочного пространства в зонах максимальных температур, а именно в зоне варки и осветления стекломассы, установкой в зоне максимальной скорости коррозии дополнительного локального воздушного охлаждения.

Установлено, что перемещение соплового аппарата системы принудительного воздушного охлаждения на 50 и 100 мм ниже относительно уровня стекломассы не оказывает влияния на продолжительность кампании, так как в этих случаях опасный участок находится на глубине 500 – 600 мм.

Смещение соплового аппарата на 200 мм ниже уровня стекломассы приводит к уменьшению срока работы огнеупоров стенового бруса до 275 суток, что связано с увеличением скорости коррозии на линии зеркала стекломассы ввиду отсутствия достаточной интенсивности охлаждения данной области.

### **Выводы.**

Разработанный программный комплекс позволяет осуществлять прогнозирование и диагностику условий работы и температурного режима бокового ограждения стекловаренной печи при наличии теплоизоляционных панелей и принудительного воздушного охлаждения.

Установлено, что при уменьшении разности температур между зеркалом стекломассы и подом печи длительность кампании печи может сокращаться на 36 %.

При этом опасная зона, в которой достигается минимальная толщина огнеупора перемещается ближе к поду печи.

Кроме того, программный комплекс позволяет также оценить влияние вертикального перемещения соплового аппарата системы принудительного воздушного охлаждения на распределение температур в теплоизоляционных материалах и огнеупорном бруске в зоне охлаждения.

Это даёт возможность решать задачи управления и оптимизации.

**Список литературы:** 1. *Кучерявый М.Н.* Кинетика коррозии огнеупоров расплавом многощелочного тарного стекла / *М.Н. Кучерявый* // *Стекло и керамика.* – 1985. – № 3. – С. 22 – 27. 2. *Товажнянский Л.Л.* Интегрированные энергосберегающие теплотехнологии в стекольном производстве: монография / [Л.Л. Товажнянский, В.М. Кошельник, В.В. Соловей, А.В. Кошельник] Под ред. В.М. Кошельника. – Х.: НТУ «ХПИ», 2008. – 628 с. 3. *Кошельник В.М.* Прогнозирование температурного состояния и срока службы ограждения ванной стекловаренной печи / *В.М. Кошельник, Д.В. Бекназарян, Е.В. Хавин* // *Вісник НТУ „ХПІ”.* – 2012. – № 8. – С. 178 – 183. 4. *Дзюзер В.Я.* Конструирование огнеупорной кладки варочного бассейна высокопроизводительных стекловаренных печей / *В.Я. Дзюзер* // *Огнеупоры и техническая керамика.* – 2007. – № 8. – С. 14 – 22. 5. *Дзюзер В.Я.* Энергоэффективные печные ограждения высокотемпературной стекловаренной печи / *В.Я. Дзюзер* // *Огнеупоры и техническая керамика.* – 2009. – № 7-8. – С. 48 – 54.

**References:** *Kucheryavij M.N.* Kinetics of corrosion of refractory materials by multialkali glass melt of container glass / *M.N. Kucheryavij* // *Glass and ceramics.* – 1985. – № 3. – P. 22 – 27. 2. *Tovagnyanskiy L.L.* Integrate energy-saving heat-technology in glasswork: monograph / [L.L. Tovagnyanskiy,

V.M. Koshelnik, V.V. Solovej, A.V. Koshelnik]; edited by V.M. Koshelnik. – Kharkov: NTU «KhPI», 2008. – 628 p. **3.** Koshelnik V.M. Prognostication of thermal state and working life of enclosure of bath glass furnace / V.M. Koshelnik, D.V. Becknazaryan, E.V. Havin // Visnyk NTU «KhPI». – 2012. – № 8. – P. 178 – 183. **4.** Dzuzer V.J. Design of refractory masonry of melting chamber of high-production glass furnaces / V.J. Dzuzer // Refractories and industrial ceramics. – 2007. – № 8. – P. 24 – 22. **5.** Dzuzer V.J. Power-efficient furnace enclosure of high-temperature glass furnace / V.J. Dzuzer // Refractories and industrial ceramics. – 2009. – № 7-8. – P. 48 – 54.

*Поступила в редколлегию (Received by the editorial board) 16.05.2014*

УДК 004.891.3:666.1.031.2

**Компьютерная диагностика температурного состояния и прогнозирование ресурса огнеупорной кладки варочной зоны стекловаренной печи с воздушным охлаждением / Д.В. БЕКНАЗАРЯН, В.М. КОШЕЛЬНИК, А.А. ЛАРИН // Вісник НТУ «ХПІ». – 2014. – № 28 (1071). – (Серія: Хімія, хімічна технологія та екологія). – С. 24 – 31. – Бібліогр.: 5 назв. – ISSN 2079-0821.**

Виконані розрахунки температурних полів по перетину вогнетривкого бруса та теплоізоляційних конструкцій. Встановлено вплив зміни температури розплаву скломаси на рівні пода печі відносно дзеркала та зміни положення соплового апарату системи примусового повітряного охолодження на тривалість кампанії скловарної печі.

**Ключові слова:** скловарна піч, бокове огороження, температурне поле, корозія вогнетривів, тривалість роботи.

UDC 004.891.3:666.1.031.2

**Computer diagnostics of temperature condition and forecast of working life of refractory masonry of melting zone of glass furnace with forced air cooling / D.V. BECKNAZARYAN, V.M. KOSHELNIK, A.A. LARIN // Visnyk NTU «KhPI». – 2014. – № 28 (1071). – (Series: Khimiya, khimichna tekhnolohiya ta ecolohiya). – P. 24 – 31. – Bibliogr.: 5 names. – ISSN 2079-0821.**

The calculations of temperature fields of cross-section of refractory materials and insulation constructions of glass furnace was realized. Influence of temperature change of glass melt on backstone and mirror level and change of position of nozzle block of forced air cooling system for duration of glass campaign was ascertained.

**Keywords:** glass furnace, side enclosure, temperature field, corrosion of refractories, working life.