

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ НАПРЯЖЕННО- ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ КОЛОННЫ КАРКАСА СТЕКЛОВАРЕННОЙ ПЕЧИ

*д.т.н., профессор Югов А. М., к.т.н., доцент Таран В.В.,  
ассистент Ихно А.В.*

*(Донбасская национальная академия строительства и архитектуры)*

**Аннотация.** Выполнены экспериментальные исследования напряженно-деформированного состояния (НДС) конструкций каркаса печи и температур ее эксплуатации. Определены факторы, влияющие на НДС каркаса печи, и связанные с этим температурные процессы на разных этапах введения печи в эксплуатацию. Изучена специфика проектирования каркасов обвязки печей.

**Ключевые слова:** металлические конструкции, напряжённо-деформированное состояние, стекловаренная печь, дно печи, свод печи, каркас, огнеупор.

**Анотація.** Виконані експериментальні дослідження напружено-деформованого стану (НДС) конструкцій каркасу печі та температур її експлуатації. Визначені фактори, що впливають на НДС каркаса печі, та пов'язані з цим температурні процеси на різних етапах введення печі в експлуатацію. Вивчена специфіка проектування каркасів обв'язки печей.

**Ключові слова:** металеві конструкції, напружено-деформований стан, скловарна піч, днище печі, склепіння печі, каркас, вогнетрив

**Abstract.** Experimental researches of the tensely-deformed state of constructions of framework of stove and temperatures of her exploitation are executed. Factors influencing on tensely-deformed state of framework of stove are certain, and related to it temperature processes on the different stages of introduction of stove in exploitation. The specific of planning of frameworks of tying around of stoves is studied.

**Key words:** metal structures, stressed and strained state, tank furnace, siege, flying arch, skeleton, refractory block

**Актуальность.** Стекольной промышленности присущи высокие капитало-, материало-, энергоемкость производства. При этом стекольная промышленность в значительной степени определяет

уровень загрузки производственных мощностей ряда базовых отраслей экономики. Рынок строительного стекла в Украине формируется под влиянием следующих факторов: увеличение объемов жилищного и промышленного строительства; увеличение объемов потребления стекла в мебельной промышленности и рост количества транспортной техники.

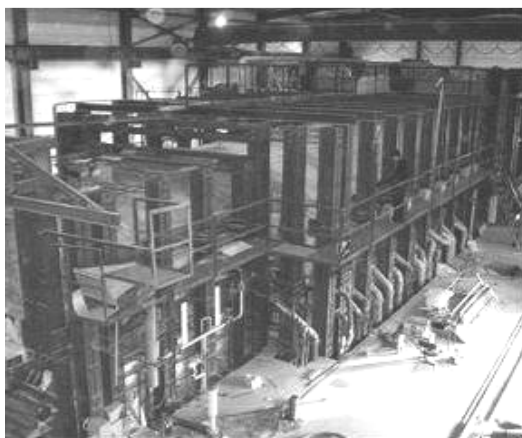
Массовый приход иностранного капитала в украинскую стекольную промышленность создает конкуренцию на этом быстрорастущем рынке и заставляет действующих участников активнее модернизировать производство. Существенным ограничением развития стекольной промышленности является недостаточный уровень конкурентоспособности ее продукции. Технологический уровень стекольных производств в Украине низок в сравнении с промышленно развитыми странами. Только 20% применяемых в стекольной промышленности технологических схем соответствует современному мировому уровню, а 45% являются устаревшими и не имеют резервов для модернизации. Недостаточно высокий технологический уровень производств обуславливает значительное отставание по ряду основных технико-экономических показателей украинской стекольной индустрии:

- частые холодные ремонты печей;
- средняя энергоемкость варки стекла выше на 20-30%;
- средняя производительность труда ниже в 1,5-2 раза;
- суммарное удельное негативное воздействие на окружающую среду — выше в 2 раза.

В этих условиях стоит задача - стимулирование прогрессивных технологических сдвигов и создание условий для перехода стекольной промышленности на инновационный путь развития. Решение этой задачи предполагает появление прогрессивных методов проектирования стекловаренных печей, с учетом их технологических особенностей.

**Основная часть.** В качестве объекта экспериментальных исследований принята натурная конструкция колонны обвязки ванной стекловаренной печи завода ООО «Стройстекло-трейдинг» в г. Константиновка. Печь построена по чертежам китайских специалистов стекольной технологической компании «ТУЧЭН» имеющей 11 государственных патентов, представляет собой крупную (съем стекломассы 100 т/сутки) ванную стекловаренную печь непрерывного действия. По способу использования тепла отходящих газов печь является регенеративная с подковообразным направлением топливного факела. Конструкция печи прокатного цеха, приведенная

на рис.1, приближена к конструктивам, применяемым в настоящее время немецкой компанией HORN.



*Рисунок 1 - Конструкция печи прокатного цеха*

Пуск печи включает операции сушки, разогрева и наварки стекломассы. В процессе сушки и разогрева печи по мере повышения температуры огнеупорные материалы, составляющие футеровочный слой печи, увеличиваются в объеме. Расширение это неравномерно и зависит от минералогического и химического состава, структуры, плотности и теплопроводности огнеупорных материалов. Увеличение в объеме от части компенсируется естественными и специально оставляемыми в кладке температурными швами и ослаблением натяжения связей.

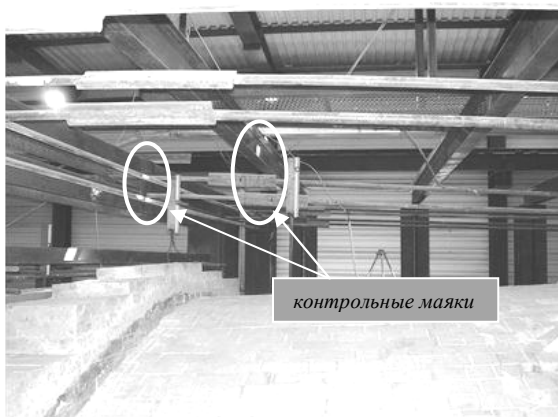
Процесс вывода печи в рабочее состояние, связанный с осуществлением подъема температуры в ее рабочей камере, оказывает влияние на напряженно - деформированное состояние металлического каркаса ее обвязки за счет прироста огнеупорных материалов, создающего дополнительный распор свода, который в свою очередь ведет к колебаниям деформаций в металле элементов каркаса.

Разогрев печи ведется постепенно по определенному графику и тщательно контролируется. Особое внимание при этом уделяется контролю роста свода. В интервале температур от 117 до 230<sup>0</sup> С в результате превращения кремнезема (SiO<sub>2</sub>) в тридимит, кристобалит и кварц резко увеличивается объем диначового огнеупора.

До начала экспериментальных исследований в начале и конце каждой секции свода были установлены маяки с делениями через

каждый сантиметр (рис.2), при помощи которых производится контроль увеличения объема огнеупорных материалов.

В процессе эксперимента каждый час производилась проверка роста свода, при помощи маяков, расположенных на наклонной секции свода. При необходимости выполнялась регулировка поперечных связей, расположенных между колоннами. Рост свода начинается при  $120-180^{\circ}\text{C}$  и продолжается до  $450^{\circ}\text{C}$ . В начале связи поддерживают в ослабленном состоянии, так как при резком росте свода возможен разрыв чрезмерно затянутых связей.



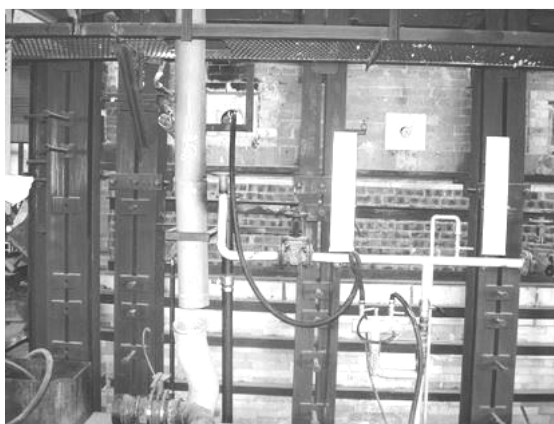
*Рисунок 2 - Расположение контрольных маяков (1) на наклонной секции главного свода*

Для контроля температуры в температурных швах между секциями, а также у загрузочного кармана, в регенераторах, фидерах и машинном канале были установлены термопары. Перепад температур по длине печи не превышал  $10^{\circ}\text{C}$ . Термопары, установленные в пространстве печи, использовались в диапазоне температур до  $600^{\circ}\text{C}$ . При достижении температуры в пространстве печи свыше  $600^{\circ}\text{C}$  в временные термопары были удалены. После удаления временных термопар температура в печи контролировалась при помощи автоматизированной системы управления производством стекла. Дальнейшие снятия показаний осуществлялись при помощи мнемосхем, выведенных на экран монитора (рис. 3).



*Рисунок 3 - Контроль температурных параметров оператором пульты*

Объектом экспериментальных исследований принята конструкция колонны обвязки ванной печи. Колонна представляет собой составную конструкцию, состоящую из 2-х двутавров, соединенных между собой планками. Конструкция колонны представлена на рис. 4.



*Рисунок 4 - Конструкция колонн обвязки каркаса печи*

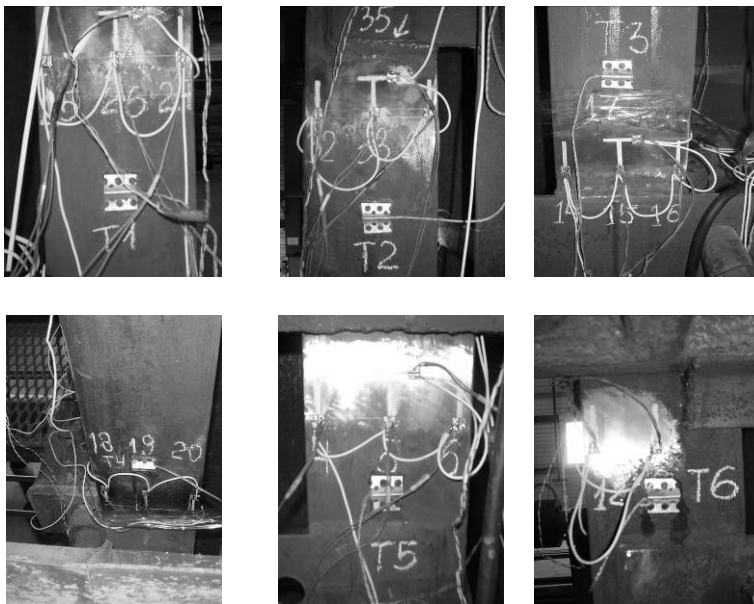
Для измерения деформаций при испытаниях использовались проволоочные петлевые тензодатчики сопротивления с базой 20 мм на бумажной основе (марки ПКБ с электрическим сопротивлением  $R = 200.1 \pm 0.3 \text{ Ом}$ ), выпущенных ЗОКИО (Москва). Для наклейки

тензодатчиков на конструкцию использовался клей «Сужаноран». На рис. 6 показано расположение датчиков. Такое расположение необходимо для получения полной информации о напряженно-деформированном состоянии в сечениях. Для проверки тензочувствительности и цены деления датчиков была выполнена их контрольная тарировка на эталонной консольной балке. Средняя цена деления датчиков, наклеенных на клею «Сужаноран», составила  $C = 0,342$  МПа.



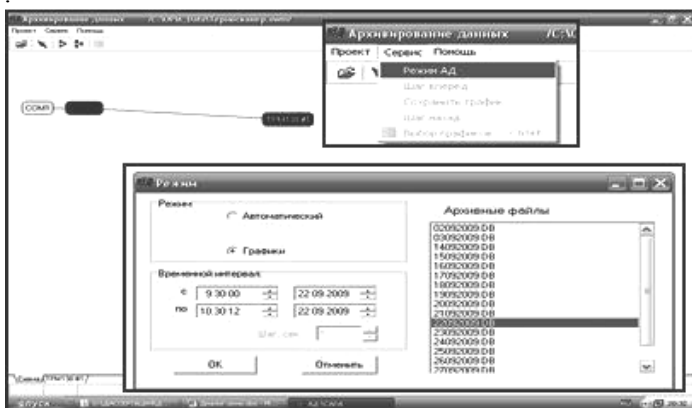
*Рисунок 5 - Снятие показаний во время проведения эксперимента*

Снятие показаний с тензодатчиков сопротивления в процессе экспериментального исследования в период ввода печи в рабочий режим производилось с применением системы измерительной тензометрической СИИТ – 3 на 100 каналов измерения. Количество датчиков на колонне составляло 35 шт. и 1 шт. на связевой поперечной балке. Снятие показаний с датчиков приведены на рис.5. Кроме определения действительного НДС колонны путем расклейки тензодатчиков, в задачу эксперимента входило определение изменений показаний деформаций при повышении температуры в агрегате стекловаренной печи, что неотъемлемо связано с ее эксплуатацией. Температура на металле колонны измерялась в трех сечениях шестью термопарами при помощи системы автоматического контроля технологических процессов программы «Owen Process Manager v.2.0a». Расположение термопар на колонне изображено на рис.6. Она позволила осуществить сбор, отображение и архивирование данных, поступающих от приборов ОВЕН на ПК.



*Рисунок 6 - Расположение термодпар и тензодатчиков на колонне*

Перед началом работы с OPM v.2.0a прибор ОВЕН был подключен к свободному COM-порту ПК через соответствующий адаптер интерфейса. Выбор параметров просмотра результатов данных с помощью программы «Owen Report Viewer v.2.0a.» в архиваторе данных за 22.09.09. в интервале времени 1 час показан на рис. 7.



*Рисунок 7 - Выбор параметров просмотра результатов данных*

**Выводы.** В ходе экспериментальных исследований

- определено напряженно – деформированное состояние (НДС) наиболее напряженных зон, а именно в местах опирания стены газопламенного пространства печи, в месте распора свода;

- определен действительный тип сопряжения колонны с донными продольными балками, составляющими верхний уровень конструкции днища печи;

- определен действительный тип сопряжения колонны с поперечными балками, ограничивающими рост свода;

- определены температуры поверхности металла в разных сечениях с учетом их взаимодействия с технологическими зонами агрегата печи;

- изучены влияния температуры металла колонны на ее НДС во времени.

Проведена оценка изменчивости показателей деформаций в период нарастания температур, заданных технологическим процессом.

## **СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ**

1. ДБН 362-92. Оценка технического состояния стальных конструкций производственных зданий и сооружений находящихся в эксплуатации. – К.: Укрархстройинформ, 1995. – 46 с.
2. Добромислов А. Н. Ошибки проектирования строительных конструкций: Научное издание. – М.: АСВ, 2007. – 184 с.
3. Павлова Т. А. Развитие метода расчета строительных конструкций на живучесть при внезапных структурных изменениях: Автореферат диссертация кандидат технических наук / ОГТУ. – Орел. – 2006. – 22 с.
4. Перельмутер А. В. Избранные проблемы надёжности и безопасности строительных конструкций. Научное издание. – М.: АСВ. – 2007. – 256 с.
5. Перельмутер А. В., Сливкер В. И. Расчётные модели сооружений и возможность их анализа. – М.: ДМК Пресс, 2007.– 600 с.
6. Рекомендации по проектированию структурных конструкций // ЦНИИСК им. Кучеренко. – М.: Стройиздат, 1984. – 304 с.
7. Бельский В.И., Сергеев Б.В. Промышленные печи и трубы.- М.:Стройиздат,1974.-301с.