



ДІЙСНА РОБОТА МЕТАЛЕВОГО КАРКАСУ СКЛОВАРНОЇ ПЕЧІ

А.М. Югов^а, А.М. Миронов^а, В.І. Москаленко^б, Г.В. Іхно^а

*^аДонбаська національна академія будівництва і архітектури,
вул. Державіна 2, Макіївка, Донецька область, Україна, 86123*

*^бТОВ «Промбудремонт», буд 63, вул. Лазаренка, Донецьк, Україна, 83017
e-mail: amyrus@mail.ru*

Отримана 29 червня 2009; прийнята 25 вересня 2009

Анотація. У статті обґрунтовано необхідність визначення напружено-деформованого стану (НДС) металевого каркасу об'язки скловарної печі. Наведено розрахункову схему печі, в якій враховано сумісну роботу футеровки стін, дна і склепіння з металевим каркасом. Визначені принципи статичного розрахунку просторової рами каркасу об'язки, приведена методика визначення додаткових зусиль від температурних навантажень. Специфіка прикладання температурного навантаження визначається в його нерівномірній дії уздовж печі. В розрахунковій схемі було прийнято найбільш високу температуру в варочній частині 1590°C, в зоні завантажувальної кишені 1450°C, і в зоні виготовлення скла – 1350°C. Безпосередній контакт металевого каркасу з футеровкою здійснюється в зоні опирання свода через опорний кутник, тому в розрахунковій схемі прикладене температурне навантаження впливає на зусилля в каркасі тільки по цій зоні. Виконано оцінку НДС в каркасі печі за допомогою МКЕ. Наведено висновки, в яких обґрунтовано факт значного впливу температурних навантажень на металевий каркас печі.

Ключові слова: скловарна піч, температура, футеровка, металеві конструкції, напружено-деформований стан, МКЕ.

ДЕЙСТВИТЕЛЬНАЯ РАБОТА МЕТАЛЛИЧЕСКОГО КАРКАСА СТЕКЛОВАРЕННОЙ ПЕЧИ

А.М. Югов^а, А.Н. Миронов^а, В.И. Москаленко^б, А.В. Ихно^а

*^аДонбасская национальная академия строительства и архитектуры,
д. 2, ул. Державина, Макеевка, Донецкая область, Украина, 86123.*

*^бООО Фирма «Промбудремонт», д. 63, ул. Лазаренко, Донецк, Украина, 83017
e-mail: amyrus@mail.ru*

Получена 29 июня 2009; принята 25 сентября 2009

Аннотация. В статье обоснована необходимость определения напряженно-деформированного состояния (НДС) металлического каркаса обвязки стекловаренной печи. Приведена расчетная схема печи, в которой включена совместная работа футеровки стен, днища и свода с металлическим каркасом. Определены принципы статического расчета пространственной рамы каркаса обвязки, приведена методика определения дополнительных усилий от температурных нагрузок. Специфика приложения температурной нагрузки заключается в ее неравномерном действии по длине печи. В расчетной схеме была принята наиболее высокая температура в варочной части печи 1590°C, в зоне загрузочного кармана 1450°C, и в зоне выработки - 1350°C. Непосредственный контакт металлического каркаса и футеровки осуществляется в зоне опирания свода через опорный уголок к колонне, поэтому в расчетной схеме приложенная температурная нагрузка оказывает влияние на усилия в каркасе только по этой зоне. Произведена оценка НДС в каркасе печи при помощи МКЭ. Приведены выводы, в которых обоснован факт значительного влияния температурных нагрузок на металлический каркас печи.

Ключевые слова: стекловаренная печь, температура, футеровка, металлические конструкции, напряженно-деформированное состояние, МКЭ.

ACTUAL METAL FRAMEWORK OPERATION OF GLASS MANUFACTURING

A. M. Yugov^a, A. M. Mironov^a, V. I. Moskalenko^b, A. V. Ihno^a.

*Donbass National Academy of Civil Engineering and Architecture,
2, Derzhavin s street, Makeyevka, Donetsk Region, Ukraine; 86123*

*^b“Prombudremont“ Ltd; 63 Lazarenko s street, Donetsk, Ukraine; 83017
e-mail: amyurus@mail.ru*

Received 29 June 2009; accepted 25 September 2009

Abstract. The necessity of determination of the tensely-deformed state (TDS) of metal framework of tying around of glass manufacturing furnace has been grounded in the article. The calculation chart the furnace including wall lining joint operation as well as the, bottom and vault, with metal framework has been given. Principles of static calculation of spatial carcass of tying frame have been determined, the method of additional efforts defining because of temperature loads. The specificity of the temperature load application consists in its disproportional operating along the furnace length. In a calculation chart the most high temperature was accepted in manufacturing part of the furnace of 1590°C, in the area of load pocket of 1450°C and in the area of making - 1350°C. The direct contact of metal framework and lining is carried out in the area of vault support through the supporting corner to the column, therefore in the calculation chart applied temperature load influences on efforts in the framework only in one area. The estimation of TDS has been carried out in the furnace framework by means of FEM. Conclusions where the fact was grounded of considerable influencing of the temperature loadings on the metal furnace framework have been given.

Keywords: glass manufacturing furnace, temperature, lining, metal constructions, tense-deformed state, FEM.

Практически всегда перед проектировщиками встает проблема выбора расчетной схемы конструкции. Достаточно точную оценку напряжений можно получить с помощью МКЭ, применяя его для каждого отдельного элемента конструкции. Данный метод применим на стадии предварительного расчета или при первоначальных теоретических исследованиях новых типов конструкций, но требует экспериментального подтверждения.

Описание конструктивного решения печи

Каркас печи представляет собой пространственную систему, состоящую из комплекса металлических элементов (колонн, балок и прокатных листов), соединенных между собой сваркой, болтами и тяжами из круглой стали.

Как правило, на бетонные (кирпичные) или металлические трубы - опоры уложены двутавровые балки как в продольном, так и в поперечном направлениях (рис.1а). На балки укладывается стальной лист толщиной $t=6$ мм. Футеровочная кладка стягивается вертикальными колоннами прокатного профиля, чаще составного сечения, связанными тяжами (связями) поверху из круглой стали. Распор свода печи воспринимается этими колоннами через опорный уголок (рис.1б).

Определение расчетной схемы печи

Моделирование и расчет каркаса печи производился с использованием программы SCAD Office, реализованной в среде Windows при упругой работе материала.



Рис. 1а. Конструкция дна печи.



Рис. 1б. Крепление опорного уголка к колонне.

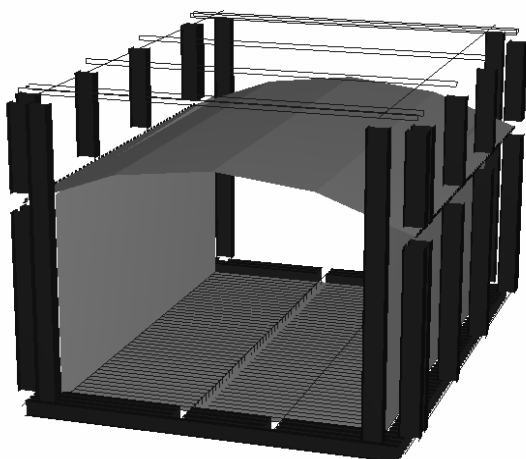


Рис. 2. Пространственная схема конструкции стекловаренной печи.

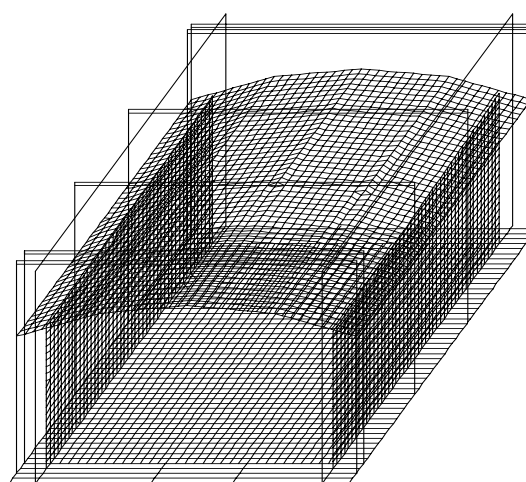


Рис. 3. Расчетная модель печи.

Для получения усилий в элементах была построена пространственная расчетная схема каркаса печи. К особенностям расчетной схемы можно отнести следующие:

- все задачи решались без учета нелинейности;
- при расчете не учитывалась анизотропность кирпичной кладки;
- не учитывалась релаксация кирпичной кладки, то есть перераспределение напряжений в ней в результате ползучести и других физико – механических процессов.

Принципы статического расчета плоской рамы каркаса обвязки печи без учета допол-

нительных усилий от температурных нагрузок были опубликованы в [6].

Фактически, расчетной схемой каркаса печи является пространственная рама с жестким примыканием колонн к днищу, стянутых тязами шарнирно сверху. Для такой рамы характерно появления трех силовых факторов: изгибающих моментов M , поперечных сил Q и продольных осевых усилий N в стержнях.

Исходя из этого, определение расчетных усилий для модели каркаса производилось в два этапа. На первом этапе производился статический расчет рамы с основными нагрузками – от

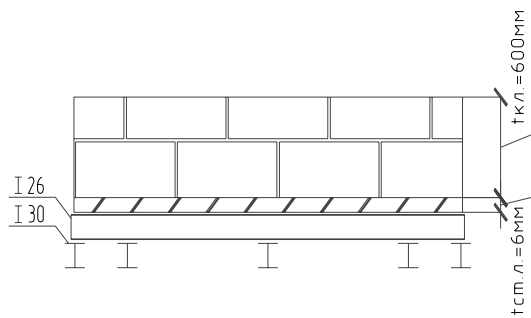


Рис. 4. Конструкция днища печи.

собственного веса и веса стекломассы. Расчеты показали, что поперечная сила Q в элементах узлов – незначительна, а основными являются изгибающий момент M и продольная сила N .

На втором этапе определялись дополнительные и значимые температурные нагрузки, которые прикладывались к стенкам футеровки, днищу и своду.

Конструкция дна в расчетной схеме представлена системой металлических балок различного поперечного сечения, которые этажно укладываются друг на друга. Балки опираются на бетонные (кирпичные столбики) и укрыты металлическим листом $\delta=6$ мм, поверх которого уложена огнеупорная кладка из динаса (рис.4). Совместная работа металлического листа и футеровочного слоя днища учитывалась в виде приведенного сечения из стального листа, толщиной 28,7мм.

Толщина стен печи изменчива по высоте, т.е. кладка по высоте от уровня днища до 1.9 м имеет толщину 600мм, выше, до свода - 400мм. Толщина свода составляет 600мм.

Сбор нагрузок на стекловаренную печь

В процессе моделирования расчетной схемы печи были определены следующие нагрузки:

- постоянная - от собственного веса металлоконструкций и огнеупоров футеровки;
- временная длительно действующая от веса стекломассы;
- временная длительно действующая температурная нагрузка.

Постоянная нагрузка включала в себя (рис. 5, 6):

- собственный вес листа толщиной $\delta=6$ мм;

- продольные балки из прокатного двутавра 40Б1;
- поперечные балки с шагом 0,2 м из прокатного двутавра 30Б1;
- вертикальные стойки из прокатного двутавра 40Ш1, длиной $l=6.14$ м.
- собственный вес кладки днища из динаса, толщиной 600мм;
- собственный вес кладки стен;
- собственный вес свода.

Длительно действующая нагрузка (действие высоких температур)

Специфика приложения этой нагрузки заключается в ее неравномерном действии по длине печи, но в расчетной схеме была принята наиболее высокая температура в варочной части печи 1590°C , в зоне загрузочного кармана 1450°C и в зоне выработки - 1350°C . Также, говоря о специфике расчета на температурные воздействия, нужно учесть тот факт, что в стекловаренной печи непосредственный контакт металлического каркаса и футеровки существует только лишь в зоне опирания свода через уголок к колонне. Исходя из этого, в расчетной схеме приложенная температурная нагрузка будет оказывать влияние на усилия в каркасе только через эту зону. Температурную нагрузку можно приложить двумя способами:

- как градиент температур на всю толщину свода;
- как усилие от расширения кладки при средней температуре, действующей на свод.

Зная максимальную температуру внутри печи, толщину и площадь свода, коэффициент теплопроводности динаса можно определить термическое сопротивление кладки:

$$R = S/\lambda, \quad (1)$$

где S – площадь свода,

λ – коэффициент теплопроводности, который составил $R = 4.86/1.65 = 2.9$.

В соответствии с [1], температура наружной поверхности свода составляет

$t_{нар.} = 70^{\circ}\text{C}$. Коэффициент линейного расширения динаса $\alpha = 1.15 \cdot 10^{-5}^{\circ}\text{C}$.

Таким образом, разность температур свода составляет:

$$\Delta t = 1590 - 70 = 1520^{\circ}\text{C} - \text{в зоне варки};$$

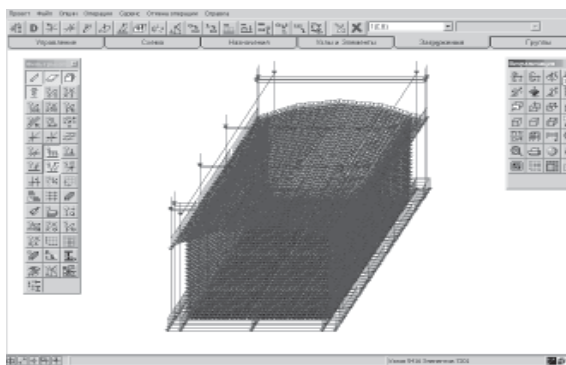


Рис. 5. Распределение собственного веса конструкций.

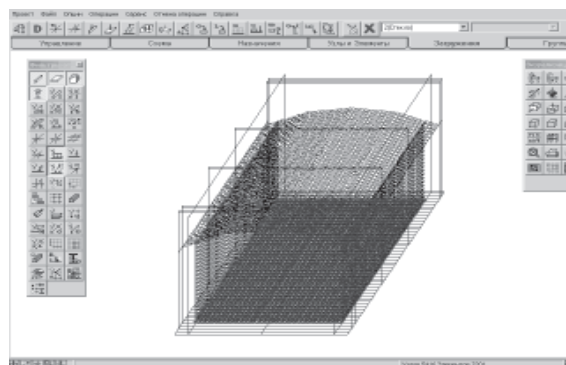


Рис. 6. Распределение веса стекломассы по днищу печи.

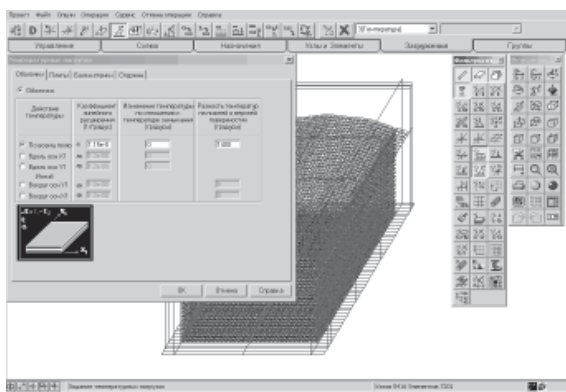


Рис. 7. Приложение температурной нагрузки.

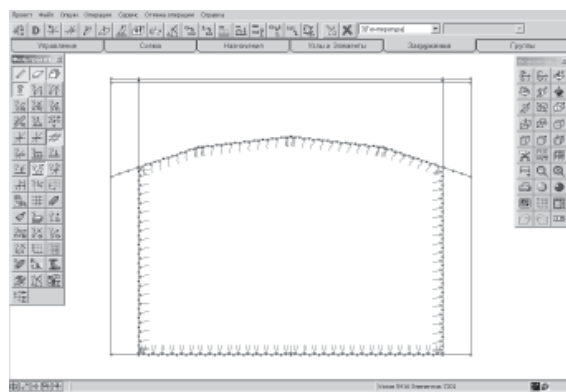


Рис. 8. Направление действия температурной нагрузки.

$\Delta t = 1450 - 70 = 1380^\circ\text{C}$ – в зоне загрузочного кармана;

$\Delta t = 1350 - 70 = 1280^\circ\text{C}$ – в зоне выработки.

Температура днища принята равной 80°C – в зоне варки и 50°C – в зоне загрузки и выработки. Данные цифры получены практическим путем, при помощи измерений.

Температура, равная среднему значению внутренней и наружной температур свода, составляет:

$$t = \frac{1590 + 70}{2} = 830^\circ\text{C} \quad (2)$$

Удлинение от термического расширения определялось по формуле:

$$\Delta l = \alpha_{cp} \cdot t \cdot l_{свода} \quad (3)$$

где α_{cp} – средний коэффициент термического расширения материала при нагреве в интервале температур от 0 до t , $1/^\circ\text{C}$; t – принятая температура нагрева, $^\circ\text{C}$

На каждую сторону свода будет оказывать влияние вынужденное температурное перемещение:

$$\Delta l_1 = \frac{\Delta l}{2} = \frac{77,3}{2} = 38,65 \text{ мм} \quad (4)$$

Второй способ не совсем корректен и трудоемок, поэтому в расчетной схеме температурная нагрузка учитывалась распределенной.

Выводы

1. Полученные в результате расчета поперечные сечения колонн, балок и тяжей значительно отличаются от проектных.
2. Значительное влияние на конструкции печей оказывает температурная нагрузка, которая в 4-5 раз увеличивает усилия и напряжения в металлическом каркасе.

Литература

1. Бельский В.И., Сергеев Б.В. Промышленные печи и трубы.-М.:Стройиздат, 1974. - 301с.
2. Волгина Ю.М. Теплотехническое оборудование стекловых заводов. -М.: Стройиздат, 1974. - 307с.
3. СНиП II-23-81* Стальные конструкции/Госстрой СССР.-М.:ЦИТП Госстроя СССР, 1991. - 96с.

4. Тринкс В.Н. Промышленные печи. - М.: Стройиздат, 1961. - 392с.
5. Шишков И.А. Сооружение промышленных печей. - М.: Стройиздат, - 1978. - 416 с.
6. Вісник ДонНАБА випуск 2008-3(71) «Технологія, організація, механізація та геодезичне забезпечення будівництва» – С.149-154.

Югов Анатолій Михайлович – д.т.н., професор, завідувач кафедри «Технологія, організація і охорона праці в будівництві» Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: проектування, монтаж, експлуатація, технічна діагностика, оцінка технічного стану, реконструкція та підсилення будівельних металевих конструкцій, технологія та організація робіт при будівництві та реконструкції будівель та споруд.

Ихно Ганна Володимирівна – аспірант, асистент кафедри «Технологія, організація і охорона праці в будівництві» Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: проектування, монтаж, експлуатація, технічна діагностика, оцінка технічного стану, реконструкція та підсилення будівельних металевих конструкцій, технологія та організація робіт при будівництві та реконструкції будівель та споруд.

Москаленко Володимир Іванович – к.т.н., академік Академії будівництва України, генеральний директор ТОВ Фірми «Промбудремонт». Наукові інтереси: технології приготування бетонних сумішей експериментально-статичного моделювання.

Миронов Андрій Миколайович – к.т.н., доцент кафедри «Металеві конструкції» Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: Дослідження роботи сталезалізобетонних конструкцій.

Югов Анатолій Михайлович – д.т.н., професор, заведуючий кафедрой «Технология, организация и охрана труда в строительстве». Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: проектирование, монтаж, эксплуатация, техническая диагностика, оценка технического состояния, реконструкция и усиление строительных металлических конструкций, технология и организация работ при строительстве и реконструкции зданий и сооружений.

Ихно Анна Владимировна – аспирант, ассистент кафедры «Технология, организация и охрана труда в строительстве» Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: проектирование, монтаж, эксплуатация, техническая диагностика, оценка технического состояния, реконструкция и усиление строительных металлических конструкций, технология и организация работ при строительстве и реконструкции зданий и сооружений.

Москаленко Владимир Иванович – к.т.н., академик Академии строительства Украины, генеральный директор ООО Фирмы «Промбудремонт». Научные интересы: технологии приготовления бетонных смесей экспериментально-статического моделирования.

Миронов Андрей Николаевич – к.т.н., доцент кафедры «Металлические конструкции» Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: исследование работы сталежелезобетонных конструкций.

Yugov Anatoly Mykhaylovich – Dr. Sc. (Eng.), professor, the Head of the «Technology, Organization, and Labour Protection in Construction» Chair of Donbas National Academy Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: designing, installation, operation, technical diagnostics, the estimation of the technical state, reconstruction and strengthening of building metal structures, technology and the organization of works while construction and reconstruction of buildings and structures.

Ihno Anna Vladimirovna – a post-graduate student, an assistant of «Technology, Organization, and Labour Protection in Construction» Chair of Donbas National Academy Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: designing, installation, operation, technical diagnostics, the estimation of the technical state, reconstruction and strengthening of building metal structures, technology and the organization of works while construction and reconstruction of buildings and structures.

Moskalenko Volodymyr Ivanovych the candidate of technical science, academician of Academy of building in Ukraine, the General director officer of the “Prombudremont” Ltd. Scientific interests: technologies of concrete mixtures preparing of an experimental and statistical modelling.

Mironov Andrey Nikolaevich the candidate of technical sciences, the assistant professor, of “the Metal Structures” Chair of Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: the study of the work ferroconcrete structures.