



ISSN 1993-3517 online

**МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ КОНСТРУКЦИИ  
МЕТАЛЕВІ КОНСТРУКЦІЇ  
METAL CONSTRUCTIONS**

2017, ТОМ 23, НОМЕР 4, 177–190  
УДК 69.056.55

(17)-0369-1

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ НДС МЕТАЛЛИЧЕСКИХ КОНСТРУКЦИЙ КАРКАСА ОБВЯЗКИ СТЕКЛОВАРЕННОЙ ПЕЧИ В ПЕРЕХОДНЫХ СОСТОЯНИЯХ ПРИ ВВОДЕ ЕЕ В ЭКСПЛУАТАЦИЮ**

**А. М. Югов, А. В. Ихно, А. Н. Миронов, С. О. Титков**

*ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»,  
2, ул. Державина, г. Макеевка, ДНР, 86123.  
E-mail: ihnoanna@mail.ru*

*Получена 10 ноября 2017; принята 24 ноября 2017.*

**Анотация.** В статье представлено моделирование напряженно-деформированного состояния конструкций каркаса обвязки печи. Описана методика построения расчетной схемы ванной стекловаренной печи при вводе ее в эксплуатацию. Пространственная модель расчета максимально приближена к реальной конструкции объекта. Разработан алгоритм сбора нагрузок на систему каркаса с реализацией данных в вычислительный комплекс. Особенностью расчетной модели является нестационарный режим эксплуатации и технологические приемы при эксплуатации реального объекта, повышенная температура эксплуатации конструкций, учет совместной работы металлического каркаса и огнеупорной футеровки печи при ее значительной усадке. Составлены РСН для каждого из этапов введения печи в работу. Получены численные значения действительного НДС металлического каркаса печи в период ввода в эксплуатацию. На основе экспериментальных данных проведен сравнительный анализ полученных значений со значениями аналитического расчета модели печи в ПК ЛИРА-САПР. Разработана методика ввода в расчетную схему розпуска тяжелой свода печи.

**Ключевые слова:** расчетная модель, металлический каркас, стекловаренная печь, нагрузки, расчетные сочетания, напряженно-деформированное состояние, деформация сечения.

## **МОДЕЛЮВАННЯ НДС МЕТАЛЕВИХ КОНСТРУКЦІЙ КАРКАСА ОБВ'ЯЗКИ СКЛОВАРНОЇ ПЕЧІ В ПЕРЕХІДНИХ СТАНАХ ПРИ ВВЕДЕННІ ЇЇ В ЕКСПЛУАТАЦІЮ**

**А. М. Югов, Г. В. Ихно, А. М. Миронов, С. О. Титков**

*ДОНУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури»,  
2, вул. Державіна, м. Макіївка, ДНР, 86123.  
E-mail: ihnoanna@mail.ru*

*Отримана 10 листопада 2017; прийнята 24 листопада 2017.*

**Аннотація.** У статті представлено моделювання напружено-деформованого стану конструкцій каркаса обв'язки печі. Описана методика побудови розрахункової схеми ванної скловарної печі при введенні її в експлуатацію. Просторова модель розрахунку максимально наближена до реальної конструкції об'єкта. Розроблено алгоритм збору навантажень на систему каркаса з реалізацією даних в обчислювальний комплекс. Особливістю розрахункової моделі є нестационарний режим експлуатації та технологічні прийоми при експлуатації реального об'єкта, підвищена температура експлуатації конструкцій, урахування спільної роботи металевих каркаса і вогнетривкої футеровки печі при її значній усадці. Складено РСН для кожного з етапів введення печі в роботу. Отримано чисельні значення дійсного НДС металевих каркаса печі в період введення в експлуатацію. На основі експериментальних даних проведено

порівняльний аналіз отриманих значень зі значеннями аналітичного розрахунку моделі печі в ПК ЛІРА-САПР. Розроблено методику введення в розрахункову схему розпуску тяжів склепіння печі.

**Ключові слова:** розрахункова модель, металевий каркас, скловарна піч, навантаження, розрахункові сполучення, напружено-деформований стан, депланція перерізу.

## MODELING OF THE STRESS-STRAIN STATE OF METAL STRUCTURES OF THE GLASS MELTING FURNACE IN TRANSITIONAL STATES WHEN IT IS PUT INTO OPERATION

Anatoliy Yugov, Anna Ihno, Andrei Mironov, Sergey Titkov

*Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture,*

*2, Derzhavina Str., Makeyevka, DPR, 86123.*

*E-mail: ihnoanna@mail.ru*

*Received 10 November 2017; accepted 24 November 2017.*

**Abstract.** The article presents modeling of the stress-strain state of furnace strapping frame. It was described the method of constructing the design scheme of the bathroom glass melting furnace at its commissioning. Spatial calculation model is as close as possible to the real structure of the object. It was designed the algorithm of collecting loads in a system framework implementation data in a computer system. A feature of the estimated model is non-stationary mode and technological methods in the operation of a real object, the increased temperature of operation of structures, including the joint work of the metal framework and the refractory lining of the furnace when it is significant shrinkage. Estimated combinations of loads are made for each of the stages of the furnace introduction into operation. Numerical values of the actual stress-strain state of the metal frame of the furnace during the commissioning are obtained. On the basis of the experimental data, a comparative analysis of the obtained values with the values of the analytical calculation of the furnace model in the LIRA-CAD PC was made. The technique of entering into the calculation scheme for the dissolution of strings of the furnace roof was developed.

**Keywords:** design model, metal frame, glass furnace, loads, calculated combinations, stress-strain state, cross-section deformation, torsion.

**Целью исследования** является разработка уточнённой расчётной схемы для выполнения сравнительного анализа экспериментальных и численных значений НДС несущих металлических конструкций обвязки стекловаренной печи при вводе в эксплуатацию.

### Постановка задачи

Предпосылкой для выбора данной тематики послужила проблема регулирования тяжёлой колонн обвязки ванной стекловаренной печи в связи с деформированием колонн обвязки металлического каркаса.

### Основная часть

**1. Конструктивная часть.** В качестве модели была выбрана средняя ванная стекловаренная печь со съёмом стекломассы 100 т/сутки. Печь регене-

ративная, непрерывного действия с подковообразным направлением пламени, с размерами в плане варочной части 15,5×8,2 м и высотой варочного отсека 1,5 м. Печь имеет отдельную подвеску свода и стен газопламенного пространства. Действие распора свода от расширения огнеупорной кладки воспринимается тяжёлыми, установленными на колоннах каждой плоской рамы каркаса обвязки, верхнее и нижнее заземление колонн жёсткое. Конструкция каркаса в варочной части насчитывает 9 плоских поперечных рам и 2 пары продольных рам с гибкой регулировкой у торцевых стен. Футеровка верхнего строения печи выполнена из огнеупорного материала с поперечными деформационными швами для релаксации кладки во время становления температурного режима.

Нижнее строение печи состоит из конструкции днища печи, образованное балочной системой [1, 2] и несущих опорных колонн круглого

сечения. В таблице 1 приведена характеристика применяемых материалов.

**2. Построение расчетной модели.** Для полного анализа работы металлических конструкций каркаса на этапе введения в эксплуатацию печи построена объемная расчетная модель системы каркаса верхнего и нижнего строения печи. Для адекватности расчетной схемы металлического каркаса реализована полная модель печи с учетом футеровочной части.

Реализация модели осуществлена в программном комплексе ЛИРА-САПР 2013. Для построения таких элементов, как колонн днища, связей, продольных балок днища, поперечных балок днища, колонн обвязки печи, балок обвязки печи, тяжей, использовался тип конечных элементов

КЭ10 (библиотека КЭ) Универсальный пространственный стержневой КЭ [3, 4, 5] (рис. 1).

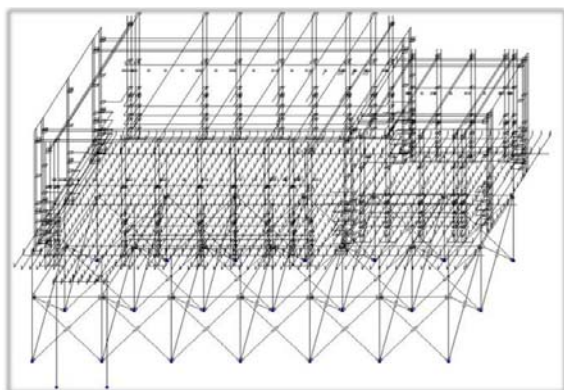
Для построения листа металла (днище печи) 8, балки лафета 9, свода печи варочной части 10 и выработочной 11 (рис. 2) применялись такие КЭ элементы: КЭ 41 (библиотека КЭ) Универсальный прямоугольный КЭ оболочки.

Для построения стен днища применялись объемные элементы Тип 34 Универсальный пространственный шестиузловой изопараметрический КЭ и 36 (библиотека КЭ) Универсальный пространственный восьмиузловой изопараметрический КЭ (рис. 3).

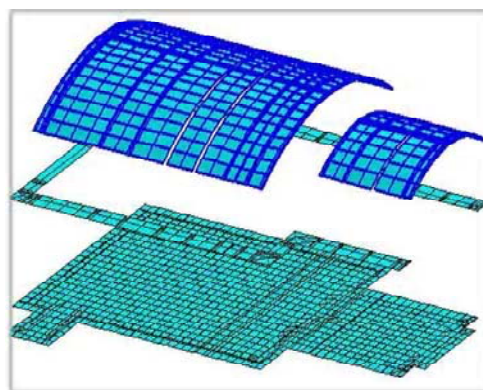
В расчетной схеме компенсационные зазоры футеровочной части бассейна не учитывались, т. к. они компенсируются за счет линейного

**Таблица 1.** Характеристика применяемых конструктивов и материалов стекловаренной печи

Конструктивы стекловаренной печи	Характеристика	
Колонны днища	Труба прямошовная $\varnothing 273$	
Связи	Швеллер с параллельными гранями полок 10п	
Прогоны	Спаренный двутавр 30	
Балки настила днища	Двутавр 26	
Колонны обвязки печи	Спаренный двутавр 30	
Тяжи	Круг стальной $\varnothing 30$	
Ригели обвязки печи	Двутавр 26	
Футеровка печи (шамот)	E	1,80E+0,6
	V	0,2
	$R_0, (т/м^3)$	1,93
Футеровка варочной части печи (бакор)	E	1,80E+0,6
	V	0,2
	$R_0, (т/м^3)$	3,30



**Рисунок 1.** Фрагмент расчётной схемы (построено с помощью КЭ 10).



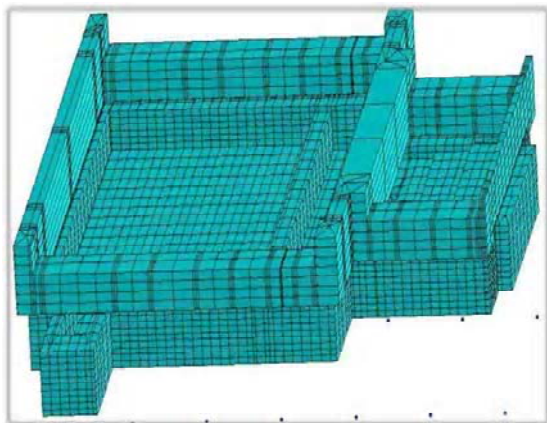
**Рисунок 2.** Фрагмент расчётной схемы (построено с помощью КЭ 41, 42, 44).

расширения огнеупорных слоев. Компенсационные швы при этом назначаются строго в соответствии с линейным расширением каждого слоя футеровки [7, 9].

При повышении температуры в рабочей камере печи при «выводке» и до момента начала подачи шихты стенки кладки работают совместно. Это допущение предусматривает отсутствие температурной нагрузки на стены варочного бассейна, т. к. швы предусмотрены для снятия напряжения в кладке от температурного расширения материала.

#### Моделирование тяжей в расчетной схеме

Функциональное назначение. Важнейшим фактором работы тяжей (рис. 5, 6) в модели является



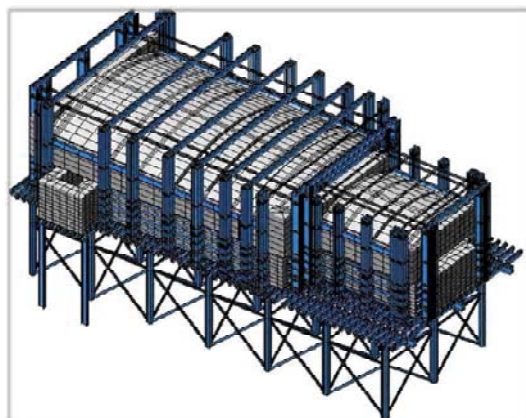
**Рисунок 3.** Фрагмент расчётной схемы (построено с помощью КЭ 34, 36).

сброс крутящего момента в колоннах обвязки с помощью своевременного регулирования и соответствующего центрирования колонны, включение тяжа с вышеизложенными температурными графиками (площадки стационарного температурного режима (рис. 9)).

Конструктивное решение. Тяж выполнен из болта М30, стали 40Х «Селект», класса прочности 12.9, длиной 500 мм.

Моделирование в расчётной схеме. Жесткость элемента задана численным описанием с типом конечного элемента 10 (универсальный стержень).

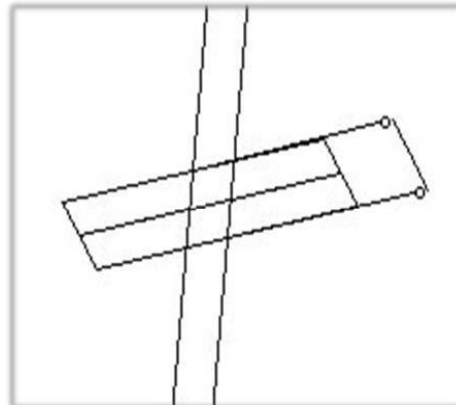
Общие характеристики расчётной схемы (рис. 4): количество КЭ: стержневые элементы – 5 454; объёмные (массив) – 11 008; пластины – 2 459. Итого: 18 921. Количество узлов – 17 747.



**Рисунок 4.** Визуализация расчётной схемы стекловаренной печи.



**Рисунок 5.** Тяж в реальной конструкции печи.



**Рисунок 6.** Тяж в расчетной схеме печи.

Общее количество неизвестных в расчетной схеме составляет 68 446.

**3. Моделирование технологического процесса.** Стекловарение – сложный физико-химический процесс, который протекает при изменяющихся высоких температурах в движущейся среде (стекломассе). В ваннах печей непрерывного действия в отдельных частях печи (зонах) в один и тот же момент времени протекают все стадии варки, но в каждой из этих частей процесс во времени не изменен. Температура является основным фактором при вводе печи в эксплуатацию, ее наращивание ведется строго в соответствии с графиком «выводки» печи [11]. Для полного отображения влияния технологического цикла на металлоконструкции были созданы сочетания нагрузок, которые появляются на различных этапах ввода печи в эксплуатацию.

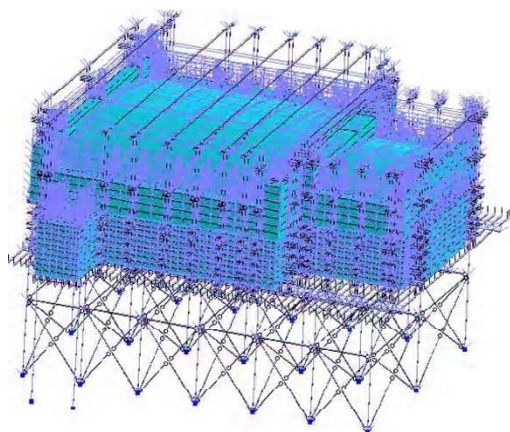
Особенностью расчёта является моделирование температурных режимов при вводе печи в эксплуатацию и регулирование НДС каркаса с использованием конструкции тяжей.

Для реализации этих особенностей к сформированной расчетной схеме прикладывались такие нагрузки, как:

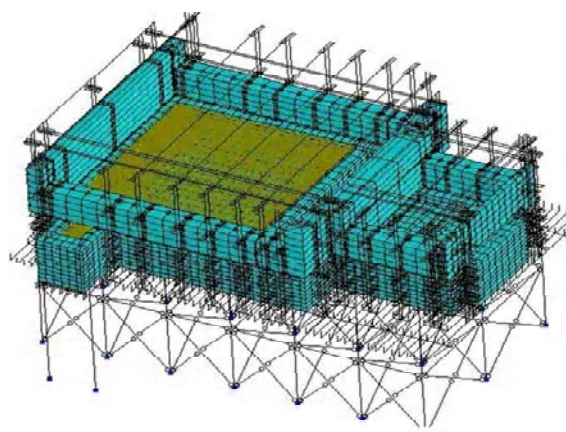
- собственный вес конструкций (рис. 7);
- давление расплава стекломассы (рис. 8);
- температура внутри печи;
- температура на конструкциях.

Изначально к расчетной схеме прикладывается лишь нагрузка от собственного веса конструкций и материалов. Далее в соответствии с технологическим процессом происходит прогрев печи.

При прогреве печи происходит расширение огнеупорных материалов [9], что в свою очередь ведет к увеличению стрелы арки свода. При изменении стрелы свода печи в сооружении происходит перераспределение усилий в конструкциях. Это влияние будет наблюдаться до полного прогрева печи (1 540 °С). Так как огнеупор прогревается неравномерно, то на графике присутствуют ровные площадки выдержки огнеупора при одной температуре для полного равномерного его прогрева. После равномерного прогрева температуру в печи продолжают повышать до следующей площадки. Температурные площадки выдержки – 120, 245, 380, 840, 1 200, 1 560 °С. Далее сочетания нагрузок строятся таким образом: собственный вес конструкций и материалов плюс температура на определенном участке выдержки печи, которая прикладывается к своду печи. Температурная нагрузка прикладывается к оболочкам в местной системе координат по направлению оси Z. Так же вводится значение коэффициента температурного расширения огнеупорного материала. Этот коэффициент находится по графику расширения огнеупорных материалов и имеет нелинейную зависимость расширения от температуры. Для введения в расчет точного коэффициента расширения материала, найден коэффициент для каждого градуса от 1 до 1 600 °С и усреднен, тем самым нелинейный расчет переведен в линейный. Также, одним из немаловажных факторов является то, что температура по всей длине печи распределяется неравномерно, соответственно на определенных



**Рисунок 7.** Отображение собственного веса на расчетной схеме.



**Рисунок 8.** Отображение давления расплава стекломассы на расчетной схеме.

участках с температурной разницей материал расширятся неравномерно и стрела арки свода также будет не одинакова на всех участках. Конструктивно между участками с различными температурами предусмотрены деформационные швы. Исходя из этого, свод печи принимается не как однородная целостная конструкция с приложением одного и того же температурного воздействия, а как пять различных конструкций. На каждый отдельный участок свода прикладываются различные температурные воздействия. Показатели температурных воздействий считаны с термопар, установленных в швах на своде печи по всей длине при введении печи в эксплуатацию. Данные получены при ранее проведенных экспериментальных исследованиях [7]. В таблице 2 приведено значение температур, полученных по 5 термопарам, и в таблице 3 представлены линейные расчетные коэффициенты расширения огнеупорного материала свода.

В таблице 4 представлены расчетные данные для введения в программу Лира САПР на каждый температурный блок для каждой площадки выдержки печи (рис. 9). После полного прогрева печи в нее порционно загружается шихта. Шихта принимается как нагрузка, равномерно распределенная по дну варочного бассейна. При температуре шихта расплавляется и превращается в стекломассу, которая в свою очередь оказывает давление на стены варочного бассейна. Из

этого следует, что нужно прикладывать не только равномерно распределенную нагрузку, но и гидростатическую нагрузку, действующую на стены бассейна печи.

Для объективности оценки влияния этой нагрузки и взаимной увязки с технологическим процессом, процесс заполнения печи стекломассой разбит на 7 этапов. Первые три этапа – это заполнение стекломассой основного варочного бассейна печи. Остальные 4 этапа – заполнение остальных технологических частей печи стекломассой.

Для наглядности составлена матрица формирования РСН на основе моделирования технологического процесса стекловаренной печи (рис. 10).

Постепенно к собственному весу (1) суммируется температурная нагрузка на свод печи (отдельно посекционно) (2–7). По достижению  $1540^{\circ}\text{C}$  на контрольной термопаре добавляется нагрузка от стекломассы (8–14). Таким образом,  $1+7+8$ ,  $1+7+9$ ,  $1+7+ \dots 15-20$  – температурные нагрузки на остальные конструктивные элементы футеровки печи. 21–26 – температурная нагрузка на элементы металлического каркаса обвязки (колонны каркаса, тяжи, лафет, продольные и поперечные балки свода, металлическая система днища). 27–32 – регулирование свода роспуском тяжей. И так, при температуре в печи  $380^{\circ}\text{C}$  –  $1+17+23+29$ , гидростатическое давле-



Рисунок 9. График увязки технологического температурного режима выдержки стекловаренной печи и РСН в расчетной модели.

**Таблица 2.** Показатели температур по термопарам

Термопара 1	Термопара 2	Термопара 3	Термопара 4	Термопара 5
120	121	122	123	125
245	260	254	261	261
380	380	368	375	353
840	854	840	823	744
1 200	1 210	1 200	1 076	936
1 540	1 434	1 410	1 210	1 020

**Таблица 3.** Показатели усредненного линейного коэффициента

Термопара 1	Термопара 2	Термопара 3	Термопара 4	Термопара 5
1,060	1,070	1,090	1,105	1,132
3,188	3,512	3,380	3,534	3,534
5,863	5,863	5,664	5,781	5,404
10,058	10,128	10,058	9,970	9,520
11,399	11,426	11,399	11,028	10,603
12,115	11,926	11,880	11,426	10,833

**Таблица 4.** Расчетные данные по температурным блокам

Выдержка	Наим.	Термопара 1	Термопара 2	Термопара 3	Термопара 4	Термопара 5
120 °С	T1	70,0	70,5	71,0	71,5	72,5
	T2	-100,0	-50,5	-51,0	-51,5	-52,5
	A	1,060	1,070	1,090	1,105	1,132
245 °С	T1	132,5	140,0	137,0	140,5	140,5
	T2	-112,5	-120,0	-117,0	-120,5	-120,5
	A	3,188	3,512	3,380	3,534	3,534
380 °С	T1	200,0	200,0	194,0	197,5	186,5
	T2	-180,0	-180,0	-174,0	-177,5	-166,5
	A	5,863	5,863	5,664	5,781	5,404
840 °С	T1	430,0	437,0	430,0	421,5	382,0
	T2	-410,0	-417,0	-410,0	-401,5	-362,0
	A	10,058	10,128	10,058	9,970	9,520
1 200 °С	T1	610	615	610	548	478
	T2	-590	-595	-590	-528	-458
	A	11,399	11,426	11,399	11,028	10,603
1 540 °С	T1	780	727	715	615	520
	T2	-760	-707	-695	-595	-500
	A	12,115	11,926	11,880	11,426	10,833

ние стекломассы в этом случае отсутствует, т. к. ее подача начинается с температуры в камере печи 1 560 °С. Температурные нагрузки до 1 560 °С считаются кратковременными (КР1, КР3, КР4), длительно действующими при установившихся 1 560 °С считаются нагрузки (ДД1, ДД3, ДД4), (ДД2) и затяжка тяжелой свода (ДД5). Всего матрица насчитывает 66 сочетаний из них – 4 маловероятных, связанных с технологи-

ей «выводки» при наполненном стекломассой бассейне.

*Особенности коэффициентов по нагрузкам*

В зависимости от категорий ответственности конструкций стекловаренной печи определены коэффициенты  $\gamma_n$  для переходных и установившихся состояний [6] (рис. 11).

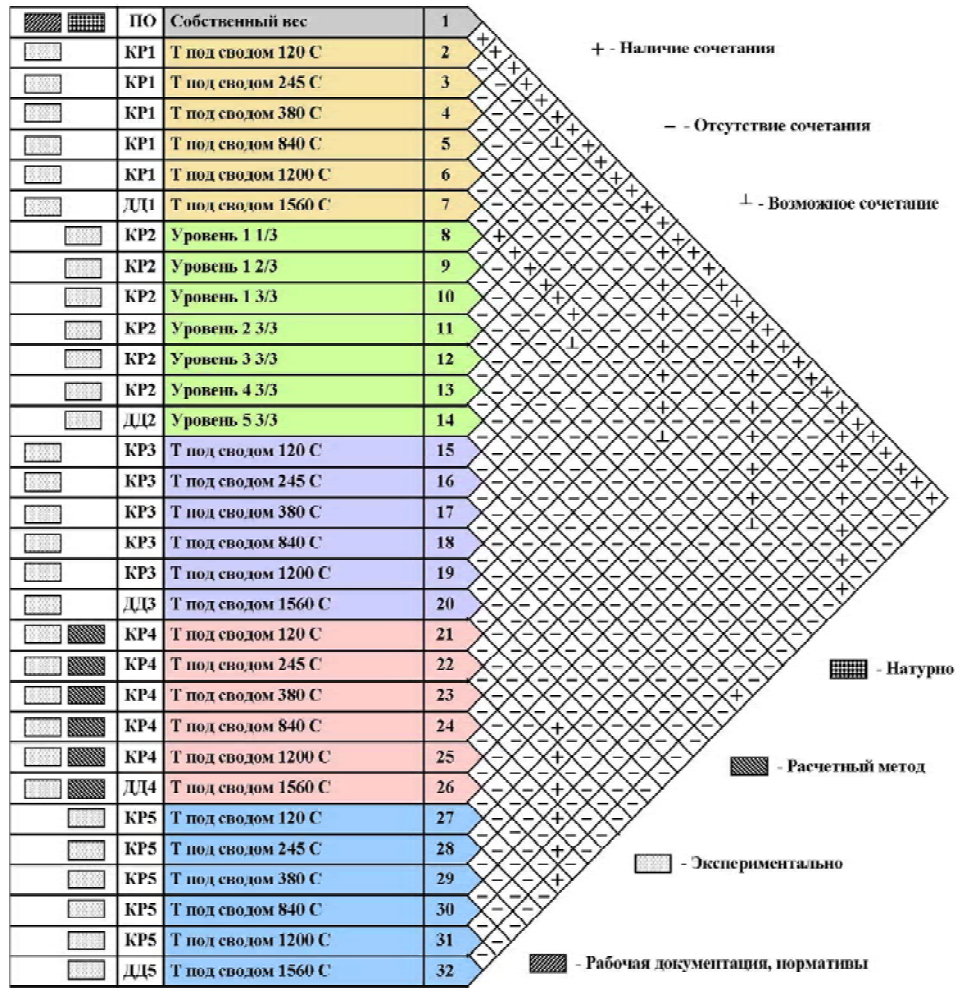


Рисунок 10. Матрица формирования РСН на основе моделирования технологического процесса стекловаренной печи.

Генерация нагрузок

$$\psi = 1,00 \begin{cases} \gamma_n^{nep} \times \left[ \left( \gamma_{fm}^1 \times ПО \right) + \left( \gamma_{tm}^1 \times КР1 \right) + \left( \gamma_{tm}^2 \times КР4 \right) + \left( \gamma_{fm}^N \times КР5 \right) \right] \\ \gamma_n^{nep} \times \left[ \left( \gamma_{fm}^1 \times ПО \right) + \left( \gamma_{tm}^1 \times КР1 \right) + \left( \gamma_f^G \times КР2 \right) + \left( \gamma_{tm}^2 \times ДД4 \right) + \left( \gamma_{fm}^N \times ДД5 \right) \right] \\ \gamma_n^{yctm} \times \left[ \left( \gamma_{fm}^1 \times ПО \right) + \left( \gamma_{tm}^1 \times ДД1 \right) + \left( \gamma_f^G \times ДД2 \right) + \left( \gamma_{tm}^2 \times ДД4 \right) + \left( \gamma_{fm}^N \times ДД5 \right) \right], \end{cases}$$

где  $ПО = СВ_{mk} + СВ_{фут}$ ;

$СВ_{фут}$  при  $T \geq 500^\circ C$ . При температуре  $500^\circ C$  и выше огнеупорные изделия имеют свойство терять массу, вследствие физико-химических реакций.

$\gamma_f^{\text{фум}}$  = 0,85 – коэффициент обеспечения постоянства массы огнеупорного материала;

$\gamma_{fm}^N$  – коэффициент обеспечения регулировки секций свода, 1,0;

$\gamma_{tm}^1$  – коэффициент обеспечения температурного режима рабочей камеры (для конструкций класса Б), 1,0;



$\gamma_{tm}^2$  – коэффициент обеспечения температурного режима эксплуатации конструкций класса А (воздействие температурного расширения), 1,2;

$$\gamma_f^G = \frac{G_{шахта}^{те.}}{G_{стекломасса}^{расплав}} \leq 20 \%;$$

$\gamma_f^G$  – коэффициент учета перехода компонентов стеклообразования в жидкую фазу.

**Результаты расчета**

Расчет на указанные нагрузки и воздействия выполнен в линейной постановке. Проведен анализ результатов, и для более корректного анализа НДС исследуемого объекта создана дополнительная расчетная схема (рис. 12, 13). Представлены изополя касательных напряжений, полученные в ходе расчета без учета регулировки (рис. 14) и с учетом регулировки тяжей (рис. 15).

Сравнительный анализ экспериментальных и расчетных значений моментов показал хорошее совпадение результатов исследования. Расхождения составляют менее 1,5 %. В таблице 5 приведены сравнительные показатели изгибающих моментов численных и экспериментально полученного массива данных при учёте различных температурных режимов.

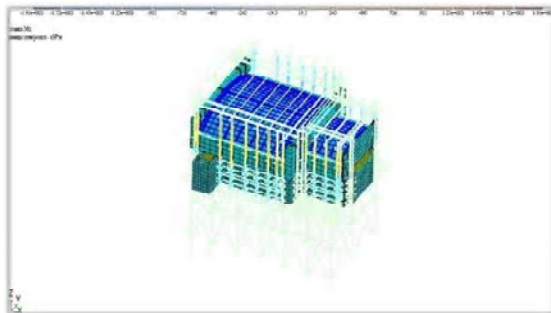
По результатам экспериментальных исследований (рис. 16), подтвержденных теоретическим анализом (сходимость 99 %), подтверждена высокая эффективность использования в системе каркаса обвязки тяжей-компенсаторов, снижающих крутящий момент в колонне.

**Методика редуцирования напряжений в колонне**

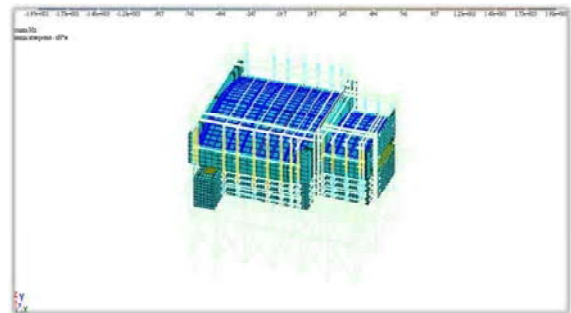
Основным положением в проектировании тяжа является корректное назначение его жесткостных



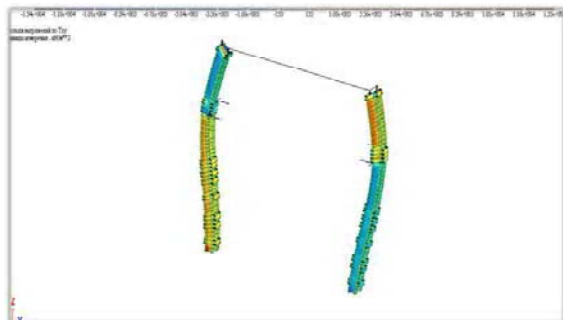
**Рисунок 11.** Значение  $\gamma_n$  в зависимости от категорий ответственности конструкций.



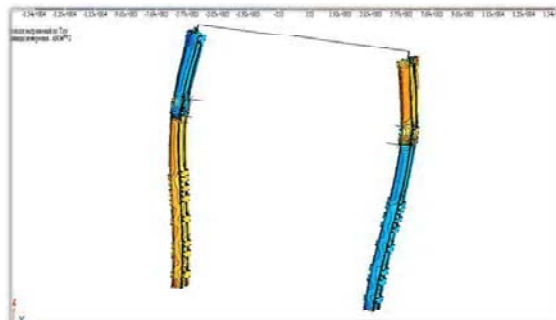
**Рисунок 12.** Расчётная модель без учёта регулировки тяжей.



**Рисунок 13.** Расчётная модель с учётом регулировки тяжей.



**Рисунок 14.** Изополя напряжений  $\tau_{xy}$  в колоннах рамы К7 без учёта регулирования тяжей.



**Рисунок 15.** Изополя напряжений  $\tau_{xy}$  в колоннах рамы К7 с учётом регулирования тяжей.

**Таблица 5.** Сравнительные показания изгибающего момента в сечении С при температурных режимах

№ РСН	Температура, °С	Изгибающий момент в плоскости рамы, кНм		Δ, %
		Экспериментальные значения	Расчетные значения	
2	120	5,72	5,80	1,40
3	245	22,34	22,60	1,16
4	380	51,34	51,90	1,09
5	840	102,28	103,32	1,02
6	1 200	105,45	106,21	0,72
14	1 540	112,82	112,75	0,06



**Рисунок 16.** Расположение тензодатчиков на исследуемой колонне.

характеристик, позволяющее регулировать податливость соединения в заданных пределах (рис. 17). По предложенной методике ослабление тяжей в расчетной модели варьируется из-

менением жесткостной характеристики тяжа по закону Гука:

$$\Delta x / X = N / EA,$$

где  $N$  – усилие в тяже, кН;

$\Delta x$  – геометрическое изменение длины тяжа, мм;

$X$  – длина тяжа, мм.

На рисунках 18, 19 представлены графики роста напряжений в колонне каркаса без учета регулировки тяжей и с включением механизма регулировки.

**Выводы**

1. Уточненная расчетная схема объемной модели печи позволяет учесть разность перепада температур в различных температурных блоках свода, что в дальнейшем позволило проинвестировать уточняющий расчет несущих кон-

струкций колонн металлического каркаса обвязки печи.

2. Составлены РСН для каждой температурной площадки этапов ввода печи в эксплуатацию. По результатам расчета выявлена деформация сечения колонны каркаса обвязки ванны стекловаренной печи. Выявлен и разработан способ регулирования НДС в колоннах каркаса при разработке расчетной модели печи, который показал хорошую сходимость с экспериментальными данными (99 %).
3. Сравнение экспериментальных данных (от 5,72 до 112,82 кНм) и численных данных (от 5,8 до 112,75 кНм), проводившееся на всём диапазоне температур, подтверждает

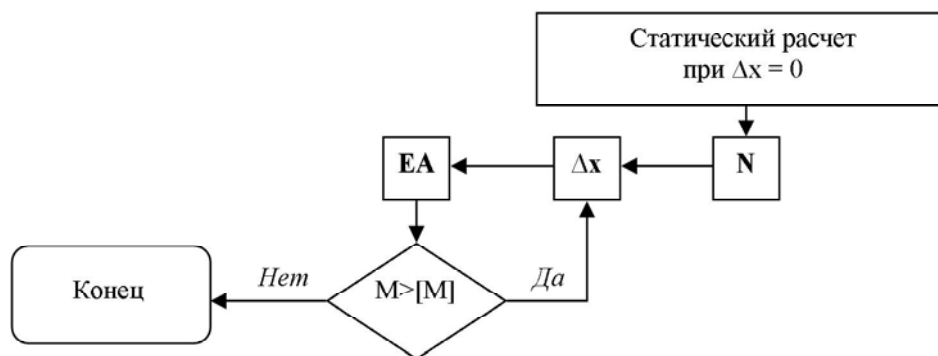


Рисунок 17. Алгоритм учета регулировки тяжей в расчетной схеме.

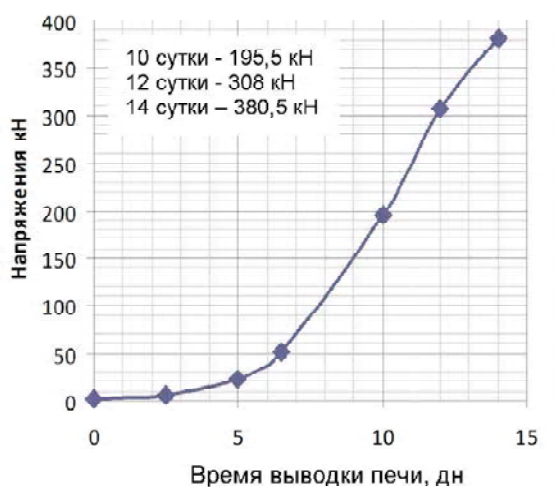


Рисунок 18. Напряжения в колоннах рамы 7 без учета регулировки тяжей.

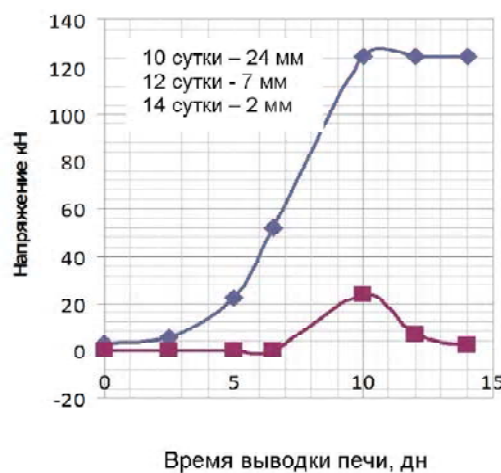


Рисунок 19. Напряжения в колоннах рамы 7 с учетом регулировки тяжей.

корректность созданной расчётной схемы. Сходимость результатов подтверждается на всех позициях.

4. Предложенная методика проектирования металлических каркасов ванн стекловаренных печей позволяет поэтапно осуществлять проектирование и управление напряженно-деформированным состоянием системы при «выводке» агрегата в проектный режим с уче-

А. М. Югов, А. В. Ихно, А. Н. Миронов, С. О. Титков

том технологических приемов при эксплуатации объекта.

5. В качестве рекомендаций по устранению явления депланации предлагается разработанный способ регулирования НДС в колоннах методом роспуска тяжёлой свода печи, что обеспечивает снижение значения депланации колонны на 2,9 % и понижение эквивалентных напряжений (на 10 %).

## Литература

1. Ihno, Anna. Results of field researches of a compact furnace for rolling sheet glass [Текст] / Anna Ihno // Металлические конструкции. 2014. Т. 20, № 3. С. 151–158.
2. Ihno, Anna. The calculation system of the construction of the glass furnace bottom [Текст] / Anna Ihno // Металлические конструкции. 2014. Т. 20, № 4. С. 203–208.
3. Городецкий, А. С. Компьютерные модели конструкций [Текст] / А. С. Городецкий, И. Д. Евзеров. – Издание второе дополненное. – Киев : Факт, 2007. – 394 с.
4. Барабаш, М. С. Компьютерные технологии проектирования металлических конструкций [Текст] / М. С. Барабаш, С. В. Козлов, Д. В. Медведенко. – Киев : НАУ, 2012. – 572 с.
5. Программный комплекс ЛИРА-САПР® 2013 [Текст] : учебное пособие / Д. А. Городецкий, М. С. Барабаш, Р. Ю. Водопьянов [и др.] ; под ред. А. С. Городецкого. – Киев ; Москва : Электронное издание, 2013. – 376 с.
6. ДБН В.1.2-14-2009. Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель, споруд, будівельних конструкцій та основ [Текст]. – Уведено вперше зі скасуванням в Україні ГОСТ 27751, СТ СЭВ 3972-83, СТ СЭВ 3973-83, СТ СЭВ 4417-83, СТ СЭВ 4868-84 ; чинні з 2009–12–01. – К. : Мінрегіонбуд, 2009. – 37 с. – (Державні будівельні норми України).
7. Ихно, А. В. Определение экспериментальным путем действительного НДС колонны каркаса стекловаренной печи завода ООО «Стройстекло-трейдинг» в г. Константиновка [Текст] / А. В. Ихно // Вісник Донбаської національної академії будівництва і архітектури. 2012. Вип. 2012–6(98). С. 146–153.
8. СТО НОСТРОЙ 2.31.12-2011. Промышленные печи и тепловые агрегаты. Проведение и контроль выполнения пуско-наладочных работ [Текст]. – Введен впервые. – М. : ООО Издательство «БСТ», 2011. – 41 с.

## References

1. Ihno, Anna. Results of field researches of a compact furnace for rolling sheet glass. In: *Metal Constructions*, 2014, Vol. 20, No. 3, pp. 151–158.
2. Ihno, Anna. The calculation system of the construction of the glass furnace bottom In: *Metal Constructions*, 2014, Vol. 20, No. 4, pp. 203–208.
3. Gorodeckiy, A. S.; Evzerov, I. D. Computer models of constructions. Second edition. Kyiv: Fact, 2007. 394 p. (in Russian)
4. Barabash, M. S.; Kozlov, S. V.; Medvedenko, D. V. Computer technologies of design of metal constructions. Kyiv: NAU, 2012. 572 p. (in Russian)
5. Gorodetskii, D. A.; Barabash, M. S.; Vodopianov, R. Yu.; Titok, V. P.; Artamonova, A. E.; Edited by Gorodetskii, A. S. Program complex Lyre-CAD system 2013: Textbook. Kyiv; Moscow: Electronic edition, 2013. 376 p. (in Russian)
6. DBN B.1.2-14-2009. Systems reliability service of construction projects. General principles of reliability control and constructional safety of buildings and buildings structures and supports. Kyiv: Ministry of Regional Development of Ukraine, 2009. 37 p. (in Ukrainian)
7. Ihno, Anna. Determination experimental by actual VAT of column of framework of steklovarennoy stove of factory of ООО «StroystekloItreyding» in Konstantinovka. In: *Proceeding of the Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture*, 2012, Issue 2012–6(98), pp. 146–153. (in Russian)
8. STO NOSTROY 2.31.12-2011. Industrial furnaces and heat aggregates. Conduct and control of starting-maintenance work performance. Moscow: Publishing House «BST», 2011. 41 p. (in Russian)
9. Strelov, K. K. The structure and properties of fire resistants. Second edition revised. Moscow: Metallurgy, 1982. 208 p. (in Russian)
10. SNiP III-24-75. Structural Rules and Regulations. Part III. Rules of manufacturing and work acceptance. Chapter 24. Industrial furnaces and brick tubes. Moscow: Stroizdat, 1975. 16 p. (in Russian)
11. Yugov, A. M.; Moskalenko, V. I.; Ihno, A. V.; Yudkalo, D. O. Determination by temperature fields on the contacting surfaces of the external aggregate

9. Стрелов, К. К. Структура и свойства огнеупоров [Текст] / К. К. Стрелов. – 2-е изд. перераб. – М. : Металлургия, 1982. – 208 с.
10. СНиП III-24-75. Строительные нормы и правила. Часть III. Правила производства и приемки работ. Глава 24. Промышленные печи и кирпичные трубы [Текст]. – Взамен СНиП III-Г.12-62 ; введ. 1976–07–01. – М. : Стройиздат, 1975. – 16 с.
11. Определение температурных полей на контактирующих поверхностях внешнего контура агрегата стекловаренной печи [Текст] / А. М. Югов, В. И. Москаленко, А. В. Ихно, Д. А. Юдкало // Вісник Донбаської національної академії будівництва і архітектури. 2009. Вип. 2009–6(80) : Технологія, організація, механізація та геодезичне забезпечення будівництва. С. 76–83.

contoter of the glassfurnace. In: *Proceeding of the Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture*, 2009, Issue 2009–6(80): Process engineering, organization, powering and geodetic support of civil engineering, pp. 76–83. (in Russian)

**Югов Анатолий Михайлович** – доктор технических наук, профессор; заведующий кафедрой технологии и организации строительства ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: проектирование, монтаж, эксплуатация, техническая диагностика, оценка технического состояния, реконструкция, усиление и демонтаж строительных металлических конструкций, технология и организация работ при строительстве и реконструкции зданий и сооружений.

**Ихно Анна Владимировна** – ассистент кафедры технологии и организации строительства ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия 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.

**Мионов Андрей Николаевич** – кандидат технических наук; доцент кафедры металлических конструкций и сооружений ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: усталостная прочность металлических конструкций, концентрация напряжений в узлах ферм с применением широкополочных двутавров и гнutosварных замкнутых профилей, напряженно-деформированное состояние сталежелезобетонных конструкций в том числе трубобетонных конструкций.

**Титков Сергей Олегович** – аспирант кафедры технологии и организации строительства ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: возведение и реконструкция промышленных сооружений.

**Югов Анатолий Михайлович** – доктор технічних наук, професор; завідувач кафедри технології і організації будівництва ДООУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: проектування, монтаж, експлуатація, технічна діагностика, оцінка технічного стану, реконструкція, посилення та демонтаж будівельних металевих конструкцій, технологія і організація робіт при будівництві і реконструкції будівель і споруд.

**Ихно Ганна Володимирівна** – асистент кафедри технології і організації будівництва ДООУ ВПО «Донбаська національна академія 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.

**Мионов Андрій Миколайович** – кандидат технічних наук; доцент кафедри металевих конструкцій та споруд ДООУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: втомлена міцність металевих конструкцій, концентрація напружень в вузлах ферм із застосуванням широкополочкових двотаврів та гнuto-зварних замкнених профілів, напружено-деформований стан сталезалізобетонних конструкцій, у тому числі трубобетонних конструкцій.

**Титков Сергій Олегович** – аспірант кафедри технології і організації будівництва ДООУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: зведення і реконструкція промислових споруд.

**Yugov Anatoliy** – Doctor in Engineering Sciences, Professor, Head of Technology and Management in Construction Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: designing, assembling, exploitation, technical diagnostics, estimation of technical state, reconstruction, reinforcement and dismantling of building metal constructions, construction engineering and management, white building and reconstruction of buildings and structures.

**Ihno Anna** – assistant, Technology and Management in Construction Department of the Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: designing, installation, operation, technical diagnostics, an estimation of a technical condition, reconstruction and strengthening of building metal designs, technology and the organization of works at construction and reconstruction of buildings and constructions.

**Mironov Andrei** – Ph.D. (Engineering), Associate Professor; Metal Structures and Constructions Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: fatigue strength of metal structures, concentration of stresses in the nodes of trusses with the use of wide-flanges I-beams and roll-welded closed profiles, stress-strain state of composite structures including pipe-concrete structures.

**Titkov Sergey** – post-graduate student, Technology and Management in Construction Department, Donbas National Academy of Construction and Architecture. Scientific interests: erection and reconstruction of industrial facilities.