



(21)-0429-1

О МЕТОДИКЕ РАСЧЕТА МЕТАЛЛИЧЕСКИХ КОНСТРУКЦИЙ КАРКАСА ОБВЯЗКИ ВАННЫХ СТЕКЛОВАРЕННЫХ ПЕЧЕЙ

А. М. Югов¹, А. В. Ихно², А. В. Крупенченко³, С. О. Титков⁴

*ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»,
2, ул. Державина, г. Макеевка, ДНР, 86123.*

E-mail: ¹amyurus@mail.ru, ²ihnoanna@mail.ru, ³a.v.krupenchenko@donnasa.ru, ⁴titkvs@rambler.ru

Получена 06 сентября 2021; принята 11 сентября 2021.

Аннотация. В статье представлена методика расчета металлического каркаса обвязки ванных стекловаренных печей непрерывного действия с управлением напряженно-деформированным состоянием конструкций. Анализ напряженно-деформированного состояния материала арочного свода печи и конструкций металлического каркаса ее обвязки по предложенной методике расчета с учетом состояния кладки свода позволил установить повышенную металлоемкость конструкций применяемого на практике каркаса. Предложенная методика расчета металлических конструкций каркаса обвязки основана на учете податливости узлового соединения подвески главного свода при расчете несущей способности элементов каркаса с учетом этапов жизненного цикла стекловаренной печи. Критический анализ позволил выявить грубые допущения в ранее предложенных подходах к учету температурной составляющей. Положения предложенной методики расчета обвязки ванных стекловаренных печей с управлением напряженно-деформированным состоянием конструкций позволили обосновать значительное сокращение металлоемкости каркаса с учетом предложенных подходов к расчету несущей способности колонн каркаса при снятии в них напряжений при помощи «тяжей-компенсаторов».

Ключевые слова: металлический каркас, свод печи, нагрузки, внецентренное сжатие, эксцентриситет, температурные интервалы, напряженно-деформированное состояние.

ПРО МЕТОДИКУ РОЗРАХУНКУ МЕТАЛЕВИХ КОНСТРУКЦІЙ КАРКАСА ОБВ'ЯЗКИ ВАННИХ СКЛОВАРНИХ ПЕЧЕЙ

А. М. Югов¹, Г. В. Ихно², Г. В. Крупенченко³, С. О. Титков⁴

*ДОН ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури»,
2, вул. Державіна, м. Макіївка, ДНР, 86123.*

E-mail: ¹amyurus@mail.ru, ²ihnoanna@mail.ru, ³a.v.krupenchenko@donnasa.ru, ⁴titkvs@rambler.ru

Отримана 06 вересня 2021; прийнята 11 вересня 2021.

Анотация. У статті представлена методика розрахунку металевих каркасів об'язки ваних скловарних печей безперервної дії з керуванням напружено-деформованим станом конструкцій. Аналіз напружено-деформованого стану матеріалу арочного склепіння печі і конструкцій металевих каркасів її об'язки за запропонованою методикою розрахунку з урахуванням стану кладки склепіння дозволив встановити підвищену металлоємність конструкцій застосовуваного на практиці каркаса. Запропонована методика розрахунку металевих конструкцій каркаса об'язки заснована на урахуванні піддатливості вузлового з'єднання підвіски головного склепіння при розрахунку несучої здатності елементів каркаса з урахуванням етапів життєвого циклу скловарної печі. Критичний аналіз дозволив виявити грубі припущення в раніше запропонованих підходах до урахування температурної складової. Положення запропонованої методики розрахунку об'язки ваних скловарних печей з керуванням напружено-деформованим станом конструкцій дозволили обґрунтувати значне скорочення металлоємності каркаса з урахуванням

запропонованих підходів до розрахунку несучої здатності колон каркаса при знятті в них напружень за допомогою «тяжів-компенсаторів».

Ключові слова: металевий каркас, склепіння печі, навантаження, відцентровий стиск, ексцентриситет, температурні інтервали, напружено-деформований стан.

ABOUT THE METHOD OF CALCULATION OF METAL STRUCTURES OF THE FRAME OF THE BINDING OF GLASS-MELTING TANK FURNACE

Anatoly Yugov¹, Anna Ihno², Anna Krupenchenko³, Sergey Titkov⁴

Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture,

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

E-mail: ¹amyrus@mail.ru, ²ihnoanna@mail.ru, ³a.v.krupenchenko@donmasa.ru, ⁴titkvs@rambler.ru

Received 06 September 2021; accepted 11 September 2021.

Abstract. The article presents a method of calculating the metal frame of the binding of continuous glass-melting furnaces with control of the stress-strain state of structures. The analysis of the stress-strain state of the material of the arched vault of the furnace and the structures of the metal frame of its binding according to the proposed calculation method, taking into account the state of the masonry of the vault, allowed us to establish the increased metal consumption of the structures of the frame used in practice. The proposed method for calculating the metal structures of the binding frame is based on taking into account the malleability of the nodal connection of the suspension of the main arch when calculating the bearing capacity of the frame elements, taking into account the stages of the life cycle of the glass furnace. The critical analysis revealed rough assumptions in the previously proposed approaches to accounting for the temperature component. The provisions of the proposed methodology for calculating the strapping of glass furnaces with control of the stress-strain state of structures allowed us to justify a significant reduction in the metal capacity of the frame, taking into account the proposed approaches to calculating the load-bearing capacity of the frame columns when removing stresses in them with the help of «compensator strands».

Keywords: metal frame, furnace roof, loads, eccentric compression, eccentricity, temperature intervals, stress-strain state.

Цель исследования

Разработка методики расчета металлических конструкций каркасов обвязки ванн стекловаренных печей с учетом параметров жизненного цикла и уточненного напряженно-деформированного состояния, с возможностью управления его параметрами.

Предпосылкой для выбора данной тематики послужила проблема регулирования тяжелой колонн обвязки ванной стекловаренной печи в связи с деформированием колонн обвязки металлического каркаса и разрушением кладки сводов в период ввода в эксплуатацию.

Введение

На сегодняшний день перед предприятиями стекловаренной промышленности стоит задача продле-

ния службы агрегатов стекловаренных печей без необходимости проведения горячих и холодных ремонтов и продление «кампании» печи. Решение этой задачи предполагает появление прогрессивных методов проектирования стекловаренных печей с учетом их технологических особенностей. Анализ возможности продления службы ванн стекловаренных печей показал значимость первичной «выводки» (запуска) печи как наиболее ответственного мероприятия в межремонтном периоде в структуре ремонтного цикла печи. В структуру ремонтного цикла входят как горячие, так и холодные плановые ремонты, а также мероприятия по техническим осмотрам. По окончании плановых холодных ремонтов происходит «выводка» печи. Разогрев печи, особенно в первые дни подъема температур до 600 °С, связан с расширением огнеупор-

ной кладки и является наиболее ответственным для кладки сводов. Основная цель этой операции заключается в сохранении физической целостности огнеупорной футеровки при полном закрытии температурных швов в кладке. Поведение огнеупоров, а также состояние теплоизолированных элементов огнеупорной футеровки в процессе нагрева не поддаются визуальному контролю, поэтому организация первичного разогрева печи представляется достаточно сложной технической задачей. Контроль над расширением кладки сводов ведется с помощью линейных указателей. По их показаниям регулируется обвязка свода. Во избежание разрушения и уменьшения напряжений в кладке свода производят «отпуск» тяжей, при этом возникает вероятность потери его первоначальной формы и появление крупных открытых швов снаружи. Несмотря на отпускание связей (тяжей) в общем на 5...6 см, свод все же «растет» и поднимается в замке до 25 см и больше. В практике имеют место случаи потери формы и прочности при «выводке» после ремонта, остановки производственной линии из-за выпуска неликвидной продукции по причине выпадения отдельных единиц свода в варочный бассейн со стекломассой. Возможный ущерб от простоя линии может составлять от 5,2 до 7,2 млн. руб./сут. (недовыпущенная продукция).

Продление межремонтного периода ванн стекловаренных печей, сокращение количества холодных ремонтов, сокращения их простоя по причине ремонта является важной научно-технической задачей. Большую часть капитальных вложений, затрачиваемых на сооружение стек-

ловаренной печи (около 67 %), составляет стоимость огнеупорных материалов. Замена огнеупорной кладки представляется длительным и затратным мероприятием.

Практика показывает, что критическим элементом, определяющим общий срок службы печи, является огнеупорная кладка футеровочной части печи, а металлический каркас обвязки является одним из важнейших конструктивных элементов стекловаренных печей, обеспечивающих надежность и сохранность ее физической целостности. Обвязочный каркас служит для восприятия усилий от распора свода и давления стекломассы, для предупреждения разрушения кладки при изменении температуры, а также он служит для подвески свода и стен пламенного пространства.

Задача состоит в разработке подходов к расчету металлических каркасов обвязки ванн стекловаренных печей с учетом параметров жизненного цикла и уточненных параметров напряженно-деформированного состояния, с возможностью управления его параметрами.

Распор свода воспринимается вертикальными колоннами через опорный узел подвески пяты свода. Традиционная методика расчета основана на упрощенном подходе к определению силы распора свода. Приближенная сила горизонтального распора свода R определяется по формуле: $R = k(P/2)\text{ctg}(\alpha/2)$, где k – коэффициент увеличения силы R в зависимости от температуры; P – сила тяжести свода по длине между стойками; α – центральный угол свода, град. Для определения сил распора свода принят ряд допущений. Для расчетов принимается, что кривая давления свода соответствует средней линии свода (т. е. проходит по середине толщины), что пяты свода неподвижны и что действительные усилия больше, чем рассчитанные с помощью принятых допущений, и их значения зависят от температуры в печи и увеличиваются с ее повышением.

Дополнительное давление на пяты при нагреве от расширения свода учитывают введением поправочных коэффициентов k , так при температуре под сводом печи до 900 °С он составляет 2, до 1 000 °С – 2,5 и до 1 300 °С – 3, и до 1 500 °С – 3,5 [15, стр. 249–250].

Отличительной особенностью предложенной методики от традиционной являются подходы к расчету несущей способности конструкций с

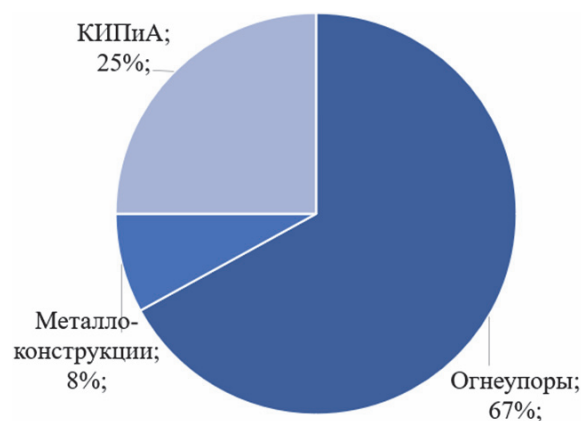


Рисунок 1. Распределение капитальных вложений.

возможностью управления напряженно-деформированным состоянием системы, основанные на:

- расчете несущей способности колонн каркаса при снятии в них напряжений с помощью «тяжей-компенсаторов» с помощью своевременного регулирования и соответствующего центрирования колонны, включение тяжей с температурными графиками (площадки стационарного температурного режима) [25];
- учете разности перепада температур в различных температурных блоках свода, что позволяет произвести уточненный расчёт несущих конструкций колонн каркаса для каждой температурной площадки этапов ввода печи в эксплуатацию;
- сохранении допустимого значения эксцентриситета продольной силы в своде при нагреве при учете изменчивости средней линии свода с увеличением стрелы подъема при учете переменного значения коэффициента температурного расширения огнеупорной кладки свода при его переменных значениях для заданных температурных интервалов.

Основная часть

Наиболее деформируемой кирпичной части печи является её свод. Кирпичный свод является распорной конструкцией. Основными нагрузками свода являются собственный вес и температура. Поскольку по производственной технологии нагрев печи осуществляется длительное время с площадками выдержки, то температура рассматривается одинаковой как на внутренней, так и на наружной гранях. Конструкция свода рассматривается как внецентренно нагруженный элемент. При нагреве изменяется средняя линия свода с увеличением стрелы подъема. При этом увеличивается эксцентриситет приложения продольной нагрузки. Бесконтрольное повышение температуры неизбежно приведет к разрушению свода. Для сохранения допустимого значения эксцентриситета продольной силы в своде распор регулируется опорными металлическими элементами рамы обвязки печи.

Таким образом, задачей является определение оптимальных температур свода, при которых осуществляется отпуск тяжей свода.

При нагреве модуль деформации резко снижается, происходит «размягчение» огнеупорно-

го материала. Температура размягчения для динасовых изделий составляет (массовая доля SiO_2 не менее 95 %) 1 650 °С. Максимальное значение рабочей (технологической) температуры 1540 0С. Далее рассматривается постоянное значение модуля упругости со значением, описанным выше в таблице 1 [5].

При нагреве формованные огнеупорные изделия из динаса имеют переменный коэффициент температурного расширения, который зависит от интервала температур [21,12]. Термическое расширение динаса характеризуется рядом особенностей, обусловленных модификационными эффектами. В расчетах принимается для интервала температур с соответствующим значением коэффициента температурного расширения. В таблице 2 приведены значения коэффициентов температурного расширения (α) в зависимости от интервала температур.

Интервалы температур выбраны по результатам дискретизации диаграммы изменения коэффициента линейного расширения динасовых изделий при повышении температуры. В таблице 2 представлены коэффициенты температурного расширения для трех характерных интервалов температурного режима эксплуатации. Дискретные участки приняты по принципу равенства приращения на предыдущем и последующем участках.

Таблица 1. Основные свойства материала свода марки Д1 (ГОСТ 3910-75)

№ п/п	Характеристика	Показатель
1	Марки камня по прочности	M200
2	Коэффициент Пуассона	0,09
3	Модуль упругости	$0,93 \cdot 10^6$ МПа
4	Удельный вес	$23,7 \text{ кН/м}^3$

Таблица 2. Коэффициенты температурного расширения в зависимости от интервала температур

№ п/п	Интервал температур, градус	Коэффициент температурного расширения α , 10^{-5}
1	0–380	3,2
2	380–1 000	1,7
3	1 000–1 540	1,15

Стойкость динасового свода в значительной степени определяется газоплотностью кладки. При неплотной кладке наблюдается диффузия паров щелочей через швы. По мере проникновения газов в более холодную область кладки происходит их конденсация. Последствием взаимодействия жидкой фазы с огнеупором является образование свищей и каверн. В результате развития этого процесса в своде по швам кладки образуются сквозные прогары [9, 10] (рисунок 2). Отсюда вытекают повышенные требования к геометрии изделий и первичному нагреву кладки (регулирование связей свода для компенсации усилий сжатия, которому подвергаются огнеупорные изделия при первичном нагреве кладки [11]).

Кладка секций ведется вперевязку с использованием прямых и клиновых кирпичей (стендовая сборка свода). При этом камни притираются и шов минимальный. При работе свода по всей поверхности камня обеспечивается сопри-

косновение. Кладка сводов произведена после затяжки связей каркаса. Шов не имеет прослойки (слоя раствора), которая под нагрузкой, как известно, вызывает растягивающие напряжения в кирпиче, что приводит к его разрушению. И чем ниже прочность раствора, тем меньше расчетное значение прочности кладки на сжатие. Так как основная зависимость прочности кладки связана с прочностью её компонентов, а именно прочностью огнеупора и прочностью раствора, в расчетах принимается условно с раствором марки по прочности, соответствующий марки огнеупора М200. Таким образом, сопротивление каменной кладки на сжатие [18] определяется как:

$$R^H = A \cdot R_1 \left(1 - \frac{a}{b + \frac{R_2}{2 \cdot R_1}} \right), \quad (1)$$

где $R_1 = 200$ кг/см², прочность кирпича на сжатие;
 $R_2 = 200$ кг/см², прочность раствора на сжатие;



Рисунок 2. Горячий ремонт разделка прогаров по главному своду стекловаренной печи.

A – конструктивный коэффициент, зависящий от прочности и вида камня:

$$A = \frac{100 + R_1}{100 \cdot m + n \cdot R_1} \quad (2)$$

В таблице 3 приведены значения эмперических коэффициентов, зависящих от вида кладки.

Таблица 3. Коэффициенты к формулам 1 и 2 [18, стр. 50]

Эмперические коэффициенты, зависящие от вида кладки			
m	n	a	b
1,25	3,0	0,2	0,3

$$R^H = 0,413 \cdot 200 \cdot \left(1 - \frac{0,2}{0,3 + 0,5}\right) = 61,95 \text{ кг/см}^2$$

Расчетное сопротивление кладки на сжатие равно $R = R_u/2 = 3 \text{ } 100 \text{ кПа}$. В соответствии с действующими нормами на проектирование каменных и армокаменных конструкций [19] условие прочности внецентренно сжатого кирпичного элемента имеет вид:

$N \leq m_g \cdot \varphi_1 \cdot R \cdot A_c \cdot \omega$, [19, формула 7.4] для прямоугольного кирпичного элемента, а в нашем случае это $1 \text{ } 000 \times 300 \text{ (h) мм}$, условие прочности имеет вид:

$$N \leq m_g \cdot \varphi_1 \cdot R \cdot A \cdot \left(1 - 2 \frac{e}{h}\right) \cdot \omega, \quad (3)$$

где m_g – коэффициент, определяемый по формуле 7.7 [19];

R – расчетное сопротивление кладки;

A – площадь сечения элемента;

h – высота сечения в плоскости действия изгибающего момента;

e_0 – эксцентриситет расчетной силы N относительно центра тяжести сечения;

φ_1 – коэффициент продольного изгиба: $\varphi_1 = (\varphi + \varphi_c)/2$,

где φ – коэффициент продольного изгиба для всего сечения в плоскости действия изгибающего момента, определяемый по расчетной высоте элемента l_0 ;

φ_c – коэффициент продольного изгиба для сжатой части сечения, определяемый по фак-

тической высоте элемента H в плоскости действия изгибающего момента при отношении: $\lambda_{hc} = H/h_c$ или гибкости: $\lambda_{ic} = H/i_c$, где h_c и i_c – высота и радиус инерции сжатой части поперечного сечения Hc в плоскости действия изгибающего момента. Для прямоугольного сечения: $hc = h - 2e_0$.

Внутренние усилия в своде определяются как для шарнирно опертой арки. Расчетная схема свода приведена на рисунке 3. На рисунке 4 представлено расчетное сечение свода толщиной 300 мм.

В работе рассматриваются своды пролетом от 4,2 м до 7,1 м. При этом отношение пролета к стреле прогиба сохраняется одинаковым, такое, как было при эксперименте $L/f = 7,4$.

Расчет внутренних усилий выполняется методом конечных элементов. Расчет выполняется по двум загрузкам. Первое нагружение – собственный вес, второе – температура. При этом шаг температурной нагрузки n принят 5°C . Рассматривались отдельные модели для каждого расчетного значения коэффициента температурного расширения и для каждого пролета. Рассмотрена 21 модель, полученные результаты

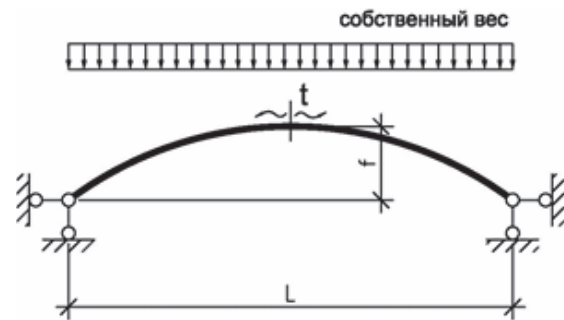


Рисунок 3. Расчетная схема свода.

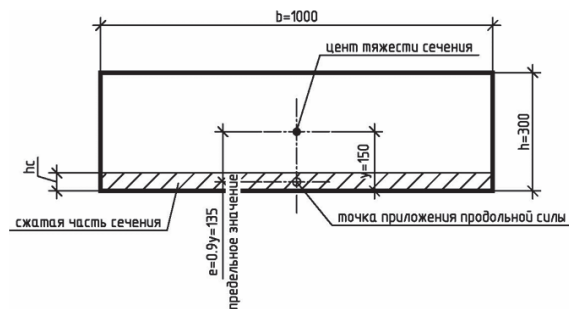


Рисунок 4. Расчетное сечение свода.

внутренних усилий проверялись по условию прочности на внецентренное нагружение и определялась температура, при которой в своде возникало предельное состояние. Ограничением является эксцентриситет, который не должен превышать условие $e < 0,9y = 0,9 \times 150 = 135$ мм, схема к определению представлена на рисунке 4, а продольная сила не более чем правая часть условия прочности (см. выше). Результаты расчета приведены в таблице 4.

Алгоритм определения оптимальных температурных интервалов приведен в виде блок-схе-

мы на рисунке 5. Задача сводится к поиску температурных интервалов печи, при которых возникает предельное состояние кладки свода печи.

По результатам расчета получены зависимости температуры отпуска опор свода от пролета свода (L). Графики построены для трех характерных интервалов температур технологического процесса. По результатам расчета свода определены температуры возникновения предельного состояния в кладке свода, при которых требуется включение механизма регулирования. На рисунке 6 представлен график зависимости

Таблица 4. Частные значения температур роспуска тяжей свода при соотношении $L/f = 7,4$

№ п/п	Пролет, м	Собственный вес		Интервал температур, °С	Коэффициент температурного расширения * 10^{-5}	Нагрев		Суммарные усилия		Эксцентриситет приложения N, м	Температура открутки
		N, кН	M, кНм			N, кН	M, кНм	N, кН	M, кНм		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
2	4,22	42,33	1,66	1 000–1 540	1,15	27	10,12	69,33	8,46	0,122	95
				380–1 000	1,7	27,31	10,23	69,64	8,57	0,123	65
				до 380	3,3	27,685	10,38	70,015	8,72	0,125	35
3	4,72	43,52	1,39	1 000–1 540	1,15	20,19	9,55	63,71	8,16	0,128	108
				380–1 000	1,7	20,505	9,655	64,025	8,265	0,129	75
				до 380	3,3	10,42	8,485	53,94	7,095	0,132	45
4	5,21	44,1	1,21	1 000–1 540	1,15	14,74	8,58	58,84	7,37	0,125	120
				380–1 000	1,7	15,445	8,72	59,545	7,51	0,126	85
				до 380	3,3	15,36	8,945	59,46	7,735	0,130	45
5	5,7	44,27	1,09	1 000–1 540	1,15	11,47	8,05	55,74	6,96	0,125	135
				380–1 000	1,7	11,935	8,37	56,205	7,28	0,130	95
				до 380	3,3	11,78	8,29	56,05	7,2	0,128	50
6	6,16	44,2	1,03	1 000–1 540	1,15	9,35	7,78	53,55	6,75	0,126	155
				380–1 000	1,7	9,772	8,125	53,972	7,095	0,131	100
				до 380	3,3	9,285	7,78	53,485	6,75	0,126	55
7	6,64	44,02	1,01	1 000–1 540	1,15	7,84	7,68	51,86	6,67	0,129	180
				380–1 000	1,7	7,912	7,759	51,932	6,749	0,130	123
				до 380	3,3	7,896	7,7174	51,916	6,7074	0,129	65
8	7,12	43,68	1,05	1 000–1 540	1,15	6,53	7,46	50,21	6,41	0,128	205
				380–1 000	1,7	7,722	7,566	51,402	6,516	0,127	120
				до 380	3,3	8,14792	7,73056	51,83	6,68	0,129	65

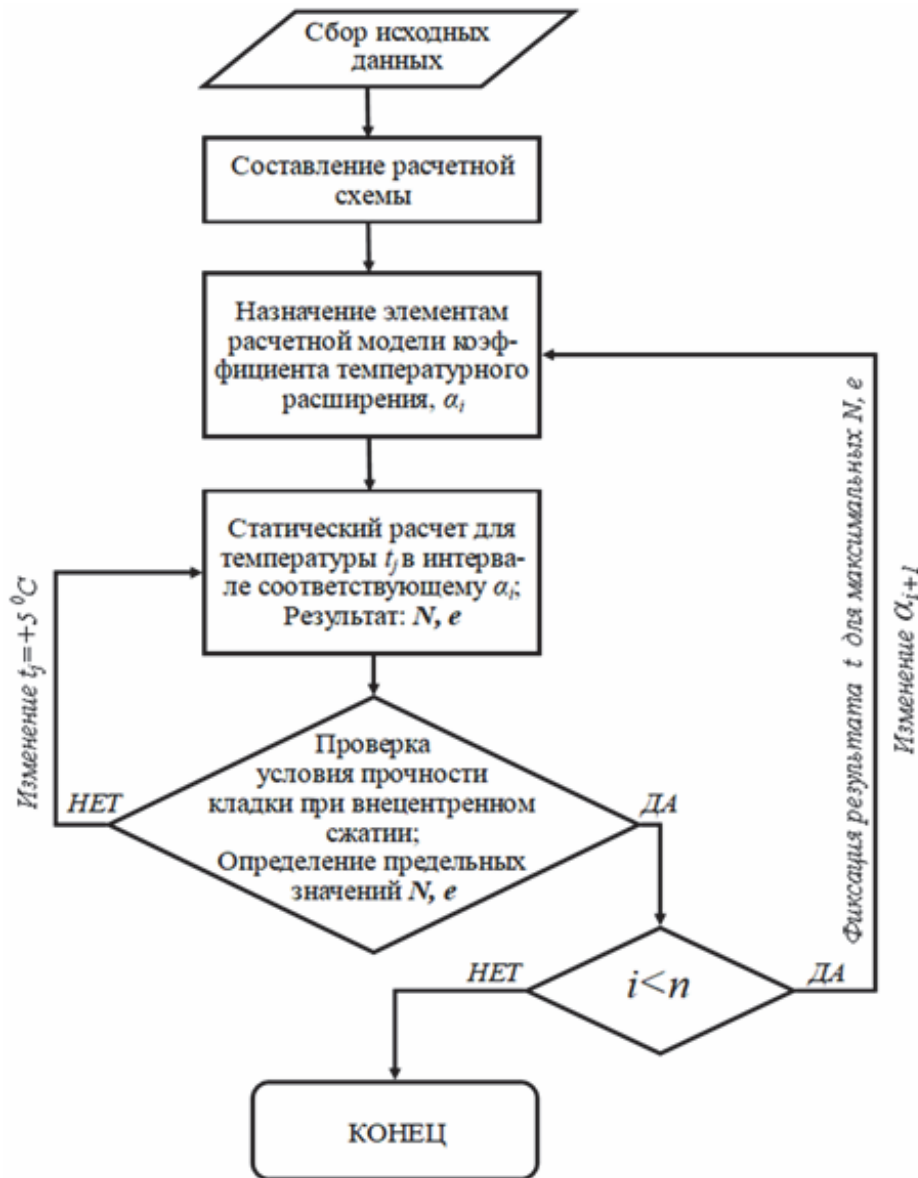


Рисунок 5. Алгоритм определения оптимальных температурных интервалов отпуска тяжей.

температуры отпуска опоры свода в зависимости от пролета свода. Основным критерием для построения данного графика является достижение предельного состояния в кладке.

На рисунке 7 представлено моделирование процесса стабилизации напряжений в кладке свода по найденным значениям температуры отпуска тяжей в трех интервалах температурного режима. График на рисунке 7 демонстрирует рост нормального напряжения в кладке при нагреве и снижение напряжения при ослаблении опор свода. При этом постоянной величиной напряже-

ния 208 кПа является напряжение от собственного веса кладки без учета температуры.

Практическая ценность полученных результатов – возможность быстрого подбора параметров свода, а именно пролета и температуры отпуска опор свода. Для практического применения данной методики для регулирования опор пят свода в период наращивания температурного режима найдены количественные значения параметров отпуска тяжей. Количество витков n_0 , необходимого отпуска тяжей определяется как $\Delta l / 2\pi D$. В таблице 5 представлены значения

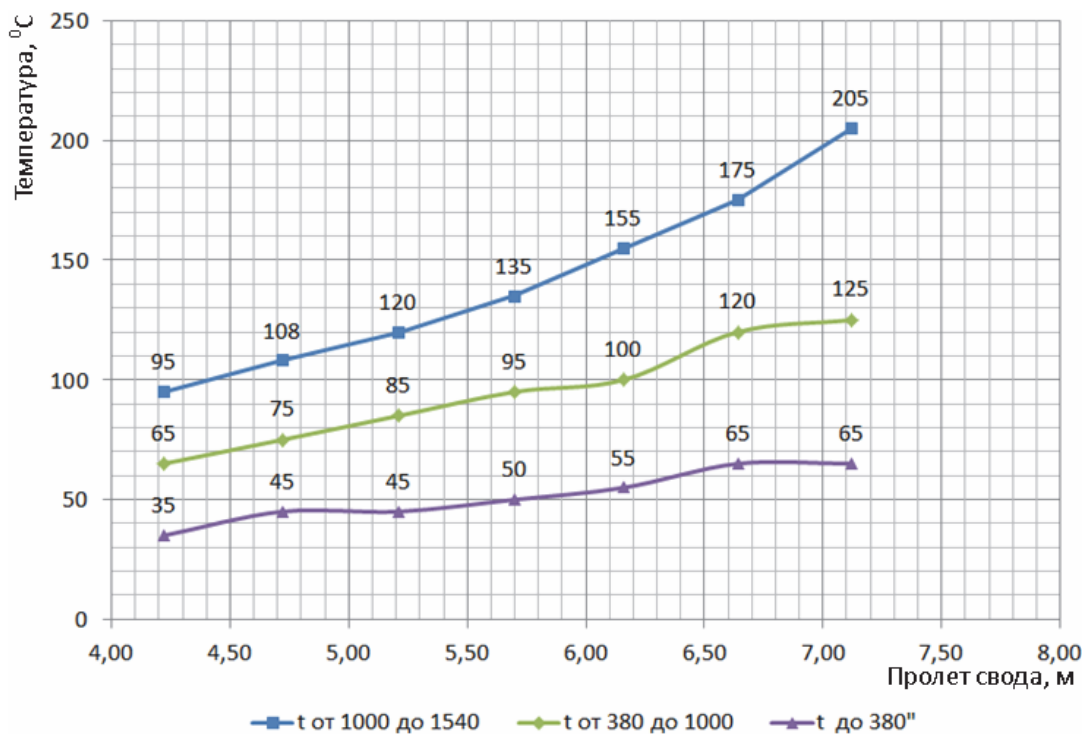


Рисунок 6. График зависимости температуры роспуска тяжей от пролета свода.

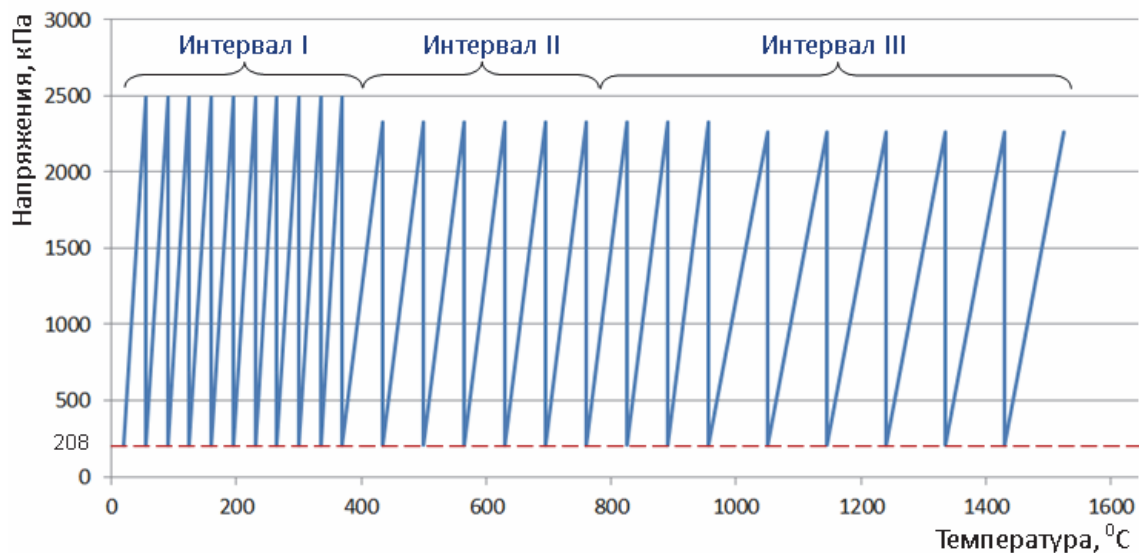


Рисунок 7. Управление напряженно-деформированным состоянием свода печи пролетом $L = 4,2\text{ м}$ при соотношении $L/f = 7,4$.

количества витков пв, необходимого для стабилизации напряжений в своде с учетом его пролета L в температурном интервале.

Расчет стальной обвязки печи выполняется отдельно от кирпичного свода, который испыты-

тывает основные технологические нагрузки - нагрев. От расчета кирпичного свода, работа которого рассмотрена выше в зависимости от температурного интервала, принимается нагрузка в точке сопряжения с обвязкой.

Таблица 5. Частные значения отпуска тяжей при соотношении $L/f = 7,4$ (экспериментальная схема)

№ п/п	Пролет L, м	Интервал температур, °С	Температура открутки	Удлинение, Δl , мм	Кол-во витков М30	
					с крупным шагом (3 мм)	с мелким шагом (2 мм)
1	2	3	4	5	6	7
2	4,22	1 000–1 540	95	4,8	1,6	2,4
		380–1 000	65	4,8	1,6	2,4
		до 380	35	5,1	1,7	2,5
3	4,72	1 000–1 540	108	6,1	2,0	3,0
		380–1 000	75	6,3	2,1	3,1
		до 380	45	7,3	2,4	3,6
4	5,21	1 000–1 540	120	7,5	2,5	3,7
		380–1 000	85	7,8	2,6	3,9
		до 380	45	8,0	2,7	4,0
5	5,7	1 000–1 540	135	9,2	3,1	4,6
		380–1 000	95	9,6	3,2	4,8
		до 380	50	9,8	3,3	4,9
6	6,16	1 000–1 540	155	11,4	3,8	5,7
		380–1 000	100	10,9	3,6	5,4
		до 380	55	11,6	3,9	5,8
7	6,64	1 000–1 540	180	14,3	4,8	7,1
		380–1 000	123	14,4	4,8	7,2
		до 380	65	14,8	4,9	7,4
8	7,12	1 000–1 540	205	17,5	5,8	8,7
		380–1 000	120	15,1	5,0	7,6
		до 380	65	15,9	5,3	7,9

Геометрическая схема приведена на рисунке 8. Нагрузки разделены на две группы:

- Первая группа – единичная нагрузка от распора кирпичного свода, который в опорной части направлен под углом 29 градусов к горизонтали. Схема единичной нагрузки приведена на рисунке 9.
- Вторая группа нагрузок – вес кирпичной кладки (рисунок 10).

Расчет плоской поперечной рамы можно выполнить различными методами строительной механики. Нагрузки на раму приведены на рисунках 9 и 10. Эпюры продольных сил и изгибающих моментов, приведенные ниже (рисунок 11–14) получены методом конечных элементов.

Для определения внутренних усилий в элементах обвязки необходимо суммировать соот-

ветствующие эпюры, предварительно умножив единичную эпюру на значение распора в кирпичном своде с учетом ширины грузовой площади (расстояния между рамами (1,34 м).

В результате получены внутренние усилия в характерном сечении элементов обвязки. Ниже рассмотрена боковая стойка обвязки, а расчетное сечение рассматривается под нижней консолью.

Распор в своде (R) без учета действия температур составляет 44,2 кН. При действии температуры, с учетом роспуска тяжей распор составит:

- до 380 °С 53,48 кН;
- от 380 до 1 000 °С 53,97 кН;
- от 1 000 до 1 540 °С 53,55 кН.

Таким образом, внутренние усилия в рассматриваемом сечении будут равны значениям, в

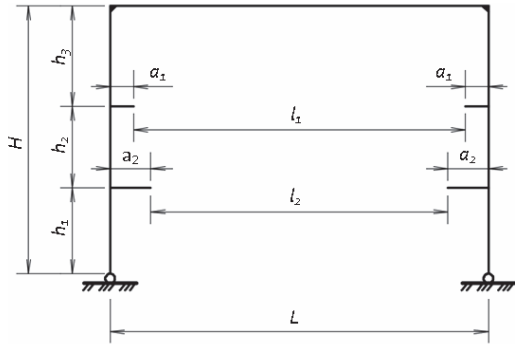


Рисунок 8. Геометрическая схема плоской одиночной рамы: a_1 – расстояние между точкой приложения силы осью колонны; a_2 – расстояние от точки приложения веса кладки под сводом и вертикальной составляющей распора до оси колонны; h_1 – высота кронштейна, воспринимающего вес стены; h_2 – высота точки приложения силы над подошвой колонны; h_3 – высота колонн от опоры свода до верхней затяжки; H – высота колонны; L – расстояние между колоннами; l_1 – пролет свода; l_2 – расстояние между осями стен.



Рисунок 9. Схема единичной нагрузки.

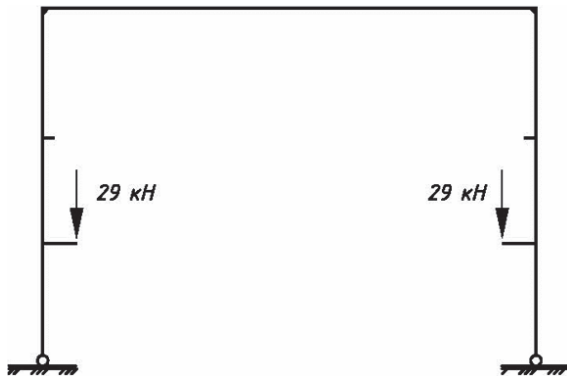


Рисунок 10. Схема нагрузки собственным весом кирпичной кладки под сводом.

таблице 6. Проверка фактических сечений стоек из двух двутавров 36М выполняется в соответствии с [8], т. к. $\sigma = N / A_n \leq 0,1R_y$,

$$\frac{N}{A_n R_y \gamma_c} \pm \frac{M_x}{I_{xn} R_y \gamma_c} y \pm \frac{M_y}{I_{yn} R_y \gamma_c} x \leq 1. \quad (4)$$

Из формулы (4) выносим за скобки расчетное сопротивление и в результате получаем формулу для определения нормального напряжения:

$$\sigma = \frac{N}{A_n} + \frac{M_x}{W_x}. \quad (5)$$

Колонны имеют площадь поперечного сечения 147,6 см², момент сопротивления составляет 1 704 см³. Нормальные напряжения приведены в таблице 6.

Для оценки уровня напряжения полученные результаты необходимо сравнить с расчетным сопротивлением стали. Сравнение выполнено на графике (рисунок 17) в зависимости от температуры в печи.

Анализ напряженно-деформированного состояния кладки свода из огнеупорного материала и конструкций металлического каркаса обвязки печи по предложенной методике расчета позволил установить повышенную металлоемкость конструкций колонн. При этом, с учетом фактических сечений экспериментального объекта установлено, что принятые сечения испытывают напряжения, не превышающие 30 % от предельных.

С учетом предложенных подходов к расчету несущей способности колонн каркаса при снятии в них напряжений с помощью «тяжей-компенсаторов» достигается значительное сокращение металлоемкости каркаса (до 30 %).

На основании результатов анализа выявлены грубые допущения в ранее предложенных подходах к учету температурной составляющей. Положения предложенной методики расчета обвязки ванн стекловаренных печей с управлением напряженно-деформированным состоянием конструкций позволили обосновать значительное сокращение металлоемкости каркаса с учетом предложенных подходов к расчету несущей способности колонн каркаса при снятии в них напряжений при помощи «тяжей-компенсаторов». В таблице 7 представлены сравнительные характеристики традиционной и предложенной методики расчета конструкций каркаса обвязки ванн стекловаренных печей непрерывного действия.

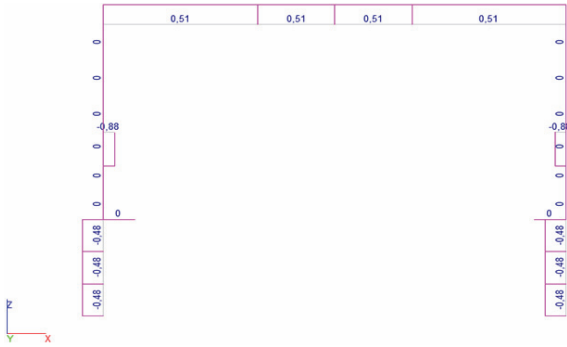


Рисунок 11. Эпюра продольных усилий от единичной нагрузки, кН.

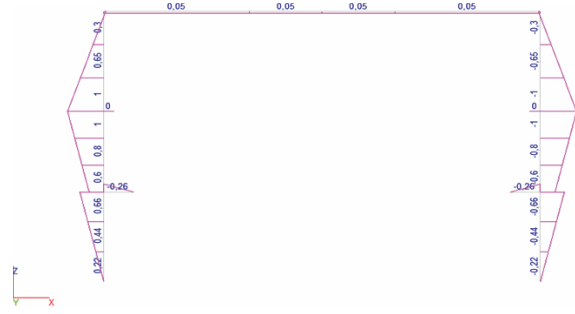


Рисунок 12. Эпюра изгибающих моментов от единичной нагрузки, кНм.

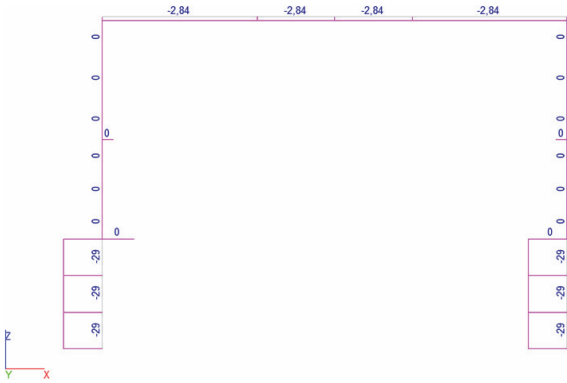


Рисунок 13. Эпюра продольных усилий от веса кирпичной кладки, кН.

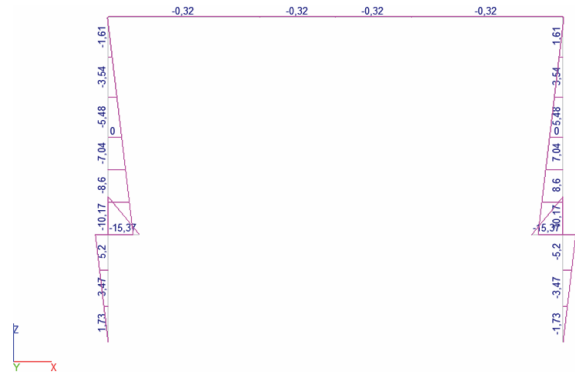


Рисунок 14. Эпюра изгибающего момента от веса кирпичной кладки, кНм.

Таблица 6. Нормальные напряжения в сечении

Интервал	Значения внутренних усилий от веса кладки под сводом		Значение единичной эпюры		Значение распора в кирпичном своде, кН	Ширина грузовой площади, м	Значения внутренних усилий от распора кирпичного свода		Суммарные значения внутренних усилий		Нормальные напряжения в колонне, МПа
	N, кН	M, кНм	N	M			N, кН	M, кНм	N, кН	M, кНм	
20	29	5,2	0,48	0,66	44,2	1,34	28,4	39,1	57,4	44,3	26,4
до 380	29	5,2	0,48	0,66	53,48	1,34	34,4	47,3	63,4	52,5	31,2
от 380 до 1 000	29	5,2	0,48	0,66	53,98	1,34	34,7	47,7	63,7	52,9	31,5
от 1 000 до 1 540	29	5,2	0,48	0,66	53,55	1,34	34,4	47,4	63,4	52,6	31,3



Рисунок 16. Блок-схема алгоритма расчета конструкций металлического каркаса обвязки стекловаренной печи.

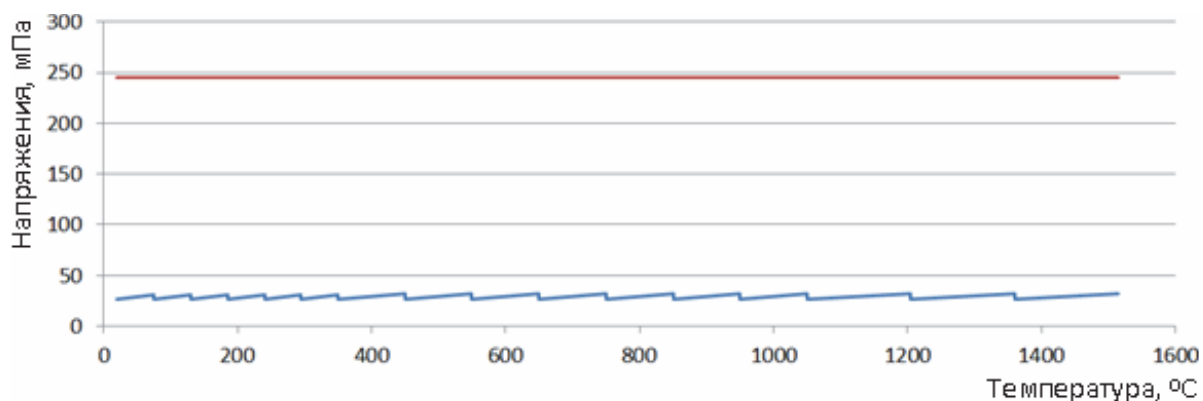


Рисунок 16. График оценки уровня напряжения в характерном сечении элементов обвязки: — — напряжения в колонне, мПа; — — расчетное сопротивление стали, мПа.

Таблица 7. Критический анализ подходов к расчету конструкций каркаса обвязки ванных стекловаренных печей

Традиционная методика	Предложенная методика
– Анализ работы кладки выполняется визуально по росту свода, что нередко приводит к потере его устойчивости	✓ На основе численного анализа напряженно-деформированного состояния кладки установлены температурные интервалы и величина отпуска на каждом интервале
– Принятые коэффициенты, учитывающие t расширение кладки увеличивают внутренние усилия в конструкциях мк обвязки, обуславливая перерасход металла	✓ Подходы к определению температурных интервалов роспуска тяжей не позволяют развитие больших усилий в мк обвязке, что дает возможность существенно сократить расход металла
– Не учитывает технологический прием роспуска тяжей, в результате чего повышается расход металла, при этом разрушению в первую очередь подвергается свод, а напряжения в мк обвязке не достигают $0,2R$.	✓ С учетом предложенных подходов к расчету несущей способности колонн каркаса при снятии в них напряжений с помощью «тяжей-компенсаторов» достигается значительное сокращение металлоемкости каркаса (до 30 %).

Выводы

Разработанная методика расчета каркаса обвязки ванн стекловаренных печей отличается от существующих методик подходами к управлению напряженно-деформированным состоянием конструкций с учетом параметров жизненного цикла. По предложенной методике расчета несущей способности колонн каркаса при снятии в них напряжений с помощью «тяжей-компенсаторов» достигается значительное сокращение металлоемкости каркаса (до 30 %). На основе численного анализа напряженно-деформированного состояния кладки свода установлены температурные интервалы и величина отпуска

тяжей с численными значениями на каждом температурном интервале, что на практике обеспечивает его целостность и сохранность формы в период первичного нагрева кладки.

Практическое применение методики позволяет повысить эксплуатационную надежность и продолжительность «кампании» стекловаренных печей, которую в современных условиях прогнозируют на срок не менее 12 лет. Поэтому в настоящее время обеспечение длительной, безопасной и безаварийной работы стекловаренной печи не обходится без наличия средств контроля за поведением свода как наиболее ответственного элемента в период «выводки» печи в рабочий режим.

Литература

1. Ihno, Anna. Results of field researches of a compact furnace for rolling sheet glass / Anna Ihno. – Текст : непосредственный // Металлические конструкции. – 2014. – Том 20, № 3. – С. 151–158.
2. Ihno, Anna. The calculation system of the construction of the glass furnace bottom / Anna Ihno. – Текст : непосредственный // Металлические конструкции. – 2014. – Том 20, № 4. – С. 203–208.
3. Барабаш, М. С. Компьютерные технологии проектирования металлических конструкций : учебное пособие / М. С. Барабаш, С. В. Козлов, Д. В. Медведев. – Киев : НАУ, 2012. – 572 с. – Текст : непосредственный.
4. Городецкий, А. С. Компьютерные модели конструкций / А. С. Городецкий, И. Д. Евзеров. – 2-е изд., дополненное. – Киев : Факт, 2007. – 394 с. – Текст : непосредственный.
5. Программный комплекс ЛИРА-САПР 2013 : учебное пособие / Д. А. Городецкий, М. С. Барабаш, Р. Ю. Водопьянов [и др.]. – Киев-Москва : Электронное издание, 2013. – 376 с. – Текст : непосредственный.
6. ГОСТ 3910-75. Изделия огнеупорные динасовые для кладки стекловаренных печей. Технические условия = Refractory silica products for brickwork of glassmaking furnaces. Specifications : межгосударственный стандарт : издание официальное : утвержден и введен в действие Постановлением Государственного комитета СССР по стандартам от 29 декабря 1975 г. № 4061: взамен ГОСТ 3910-47 : дата введения 1977-07-01. – Москва : Издательство стандартов, 2004. – 66 с. – Текст : непосредственный.

References

1. Ihno, Anna. Results of field researches of a compact furnace for rolling sheet glass / Anna Ihno. – Text : direct. – In: *Metal constructions*. – 2014. – Volume 20, № 3. – P. 151–158. (in English)
2. Ihno, Anna. The calculation system of the construction of the glass furnace bottom / Anna Ihno. – Text : direct. – In: *Metal constructions*. – 2014. – Volume 20, № 4. – P. 203–208. (in English)
3. Barabash, M. S.; Kozlov, S. V.; Medvedenko, D. V. Computer technologies for the design of metal structures : a tutorial. – Kiev : NAU, 2012. – 572 p. – Text : direct. (in Russian)
4. Gorodetsky, A. S.; Yevzerov, I. D. Computer models of structures. – 2nd ed., supplemented. – Kiev : Fact, 2007. – 394 p. – Text : direct. (in Russian)
5. Gorodetsky, D. A.; Barabash, M. S.; Vodopyanov, R. Yu. [et. al.]. LIRA-SAPR 2013 software package : tutorial. – Kiev-Moscow : Electronic edition, 2013. – 376 p. – Text : direct. (in Russian)
6. GOST 3910-75. Refractory silica products for brickwork of glassmaking furnaces. Specifications. – Moscow : Publishing house of standards, 2004. – 66 p. – Text : direct. (in Russian)
7. DBN V.1.2-14-2009. General principles of ensuring the reliability and structural safety of buildings, structures, building structures and foundations. – Kiev : Ministry of Regional Development, Construction and Housing and Communal Services of Ukraine, 2009. – 45 p. – Text : direct. (in Russian)
8. DBN V.2.6-198:2014. Steel structures. Design code. – Kiev : Ministry of Regional Development, Construction and Housing and Communal Services of Ukraine, 2014. – 198 p. – Text : direct. (in Russian)

7. ДБН В.1.2-14-2009. Общие принципы обеспечения надежности и конструктивной безопасности зданий, сооружений, строительных конструкций и оснований : издание официальное : утверждено и введен в действие приказом Минрегионстроя от 22 июня 2009 г. № 245 : введен впервые : дата введения 2009-12-01 / ОАО «Украинский научно-исследовательский и проектный институт стальных конструкций им. В. М. Шимановского». – Киев : Минрегионстрой Украины, 2009. – 45 с. – Текст : непосредственный.
8. ДБН В.2.6-198:2014. Стальные конструкции. Нормы проектирования = Steel structures. Design code : издание официальное : утверждено и введен в действие Приказом Министерства регионального развития, строительства и жилищно-коммунального хозяйства Украины от 6 октября 2014 № 167 : взамен ДБН В.2.6:2010 в части раздела 1 и ДСТУ Б В.2.6 194: 2013 : дата введения 2015-01-01 / разработан ООО «Украинский институт стальных конструкций имени В. Н. Шимановского» (ООО «Укринсталькон им. В. М. Шимановского»). – Киев : Минрегион Украины, 2014. – 198 с. – Текст : непосредственный.
9. Дзюзер, В. Я. Разработка изолированного свода / В. Я. Дзюзер. – Текст : непосредственный // Новые огнеупоры. – 2014. – № 7. – С. 27–31.
10. Дзюзер, В. Я. Анализ конструктивных схем тепловой изоляции свода стекловаренной печи / В. Я. Дзюзер. – Текст : непосредственный // Огнеупоры и техническая керамика. – 2010. – № 7/8. – С. 76–79.
11. Дзюзер, В. Я. Моделирование тепловой работы высокопроизводительной стекловаренной печи / В. Я. Дзюзер, В. С. Швыдкий, Е. Б. Садыков. – Текст : непосредственный // Стекло и керамика. – 2012. – № 9. – С. 23–27.
12. Дзюзер, В. Я. Первичный разогрев стекловаренных печей / В. Я. Дзюзер. – Текст : непосредственный // Огнеупоры и техническая керамика. – 2007. – № 10. – С. 28–32.
13. Дзюзер, В. Я. Требования к качеству и рациональное использование динаса в высокотемпературных стекловаренных печах / В. Я. Дзюзер. – Текст : непосредственный // Огнеупоры и техническая керамика. – 2004. – № 4. – С. 31–38.
14. Ижорин, М. Н. Сооружение промышленных печей : справочное издание. Том 2. Строительство печей / М. Н. Ижорин, Ю. П. Сторожков, Ассоциация пече- и трубостроителей России «Ростеплостроймонтаж» ; под ред. М. Н. Ижорина. – Москва : Теплотехник, 2006. – 720 с. – Текст : непосредственный.
15. Исламов, М. Ш. Проектирование и эксплуатация промышленных печей / М. Ш. Исламов. – Ленинград : Химия, 1986. – 280 с. – Текст : непосредственный.
16. Ихно, А. В. Определение экспериментальным путем действительного НДС колонны каркаса
9. Dzyuzer, V. Ya. Development of an isolated vault. – Text : direct. – In: *New refractories*. – 2014. – № 7. – P. 27–31. (in Russian)
10. Dzyuzer, V. Ya. Analysis of structural diagrams of thermal insulation of the roof of a glass-melting furnace. – Text : direct. – In: *Refractories and technical ceramics*. – 2010. – № 7/8. – P. 76–79. (in Russian)
11. Dzyuzer, V. Ya.; Shvydkiy, V. S.; Sadykov, Ye. B. Modeling the thermal performance of a high-performance glass furnace. – Text : direct. – In: *Glass and ceramics*. – 2012. – № 9. – P. 23–27. (in Russian)
12. Dzyuzer, V. Ya. Primary heating of glass furnaces. – Text : direct. – In: *Refractories and technical ceramics*. – 2007. – № 10. – P. 28–32. (in Russian)
13. Dzyuzer, V. Ya. Quality requirements and rational use of dinas in high-temperature glass furnaces. – Text : direct. – In: *Refractories and technical ceramics*. – 2004. – № 4. – P. 31–38. (in Russian)
14. Izhorin, M. N.; Storozhkov, Yu. P.; Association of furnace and pipe builders of Russia «Rosteplostroymontazh» ; edited by Izhorin, M. N. Construction of Industrial Furnaces : reference edition. Volume 2. Construction of furnaces. – Moscow : Teplotekhnika, 2006. – 720 p. – Text : direct. (in Russian)
15. Islamov, M. Sh. Design and operation of industrial furnaces. – Leningrad : Chemistry, 1986. – 280 p. – Text : direct. (in Russian)
16. Ihno, A. V. Experimental determination of the actual stress-strain state of the column of the frame of the glass-making furnace of the plant LLC «Stroysteklotrading» in the city of Konstantinovka. – Text : direct. – In: *Bulletin of the Donbass National Academy of Civil Engineering and Architecture*. – 2012. – Issue 6(98) Technology, organization, mechanization and geodetic support of construction. – P. 146–153. (in Russian)
17. Levitsky, I. A.; Pavlyukevich, Yu. G. Heat engineering installations and units of glass production enterprises, calculation of glass melting furnaces. – Minsk : BSTU, 2006. – 110 p. – Text : direct. (in Russian)
18. Polyakov, S. V.; Falevich, B. N. Design of stone and large-panel structures. – Moscow : Higher School, 1966. – 235 p. – Text : direct. (in Russian)
19. SP 15.13330.2020. Masonry and reinforced masonry structures. – Moscow : Ministry of Construction and Housing and Communal Services of Russia, 2020. – 129 p. – Text : direct. (in Russian)
20. SP 16.13330.2017. Steel structures. – Moscow : Ministry of Construction and Housing and Communal Services of Russia, 2017. – 146 p. – Text : direct. (in Russian)
21. STO NOSTROY 2.31.12-2011. Industrial furnaces and heating units. Carrying out and monitoring the implementation of commissioning works. – Moscow : Standards Publishing House, 2011. – 41 p. – Text : direct. (in Russian)

- стекловаренной печи завода ООО «Стройстеклотрейдинг» в г. Константиновка / А. В. Ихно. – Текст : непосредственный // Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. – 2012. – Выпуск 6(98) Технология, организация, механизация и геодезическое обеспечение строительства. – С. 146–153.
17. Левицкий, И. А. Теплотехнические установки и агрегаты предприятий производства стекла, Расчет стекловаренных печей / И. А. Левицкий, Ю. Г. Павлюкевич. – Минск : БГТУ, 2006. – 110 с. – Текст : непосредственный.
 18. Поляков, С. В. Проектирование каменных и крупнопанельных конструкций / С. В. Поляков, Б. Н. Фалевич. – Москва : Высшая школа, 1966. – 235 с. – Текст : непосредственный.
 19. СП 15.13330.2020. Каменные и армокаменные конструкции = Masonry and reinforced masonry structures : национальный стандарт Российской Федерации : издание официальное : утвержден и введен в действие приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 30 декабря 2020 г. № 902/пр : взамен СП 15.13330.2012 : дата введения 2021-07-01 / Департаментом градостроительной деятельности и архитектуры Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации (Минстрой России). – Москва : Минстрой России, 2020. – 129 с. – Текст : непосредственный.
 20. СП 16.13330.2017. Стальные конструкции = Steel structures : издание официальное : утвержден и введен в действие приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 27 февраля 2017 г. № 126/пр : актуализированная редакция СНиП II-23-81* : дата введения 2017-08-28 / подготовлен Департаментом градостроительной деятельности и архитектуры Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации (Минстрой России). – Москва : Минстрой России, 2017. – 146 с. – Текст : непосредственный.
 21. СТО НОСТРОЙ 2.31.12-2011. Промышленные печи и тепловые агрегаты. Проведение и контроль выполнения пуско-наладочных работ : стандарт организации : издание официальное : утвержден и введен в действие Решением Совета Национального объединения строителей, протокол от 05 декабря 2011 г. № 24 : введен впервые : дата введения 2011-12-05 / разработан Ассоциацией «РосТеплостройМонтаж». – Москва : Издательство стандартов, 2011. – 41 с. – Текст : непосредственный.
 22. Стрелов, К. К. Структура и свойства огнеупоров / К. К. Стрелов. – 2-е изд. перераб. – Москва : Металлургия, 1982. – 208 с. – Текст : непосредственный.
 23. СНиП III-24-75. Правила производства и приемки работ. Промышленные печи и кирпичные
 22. Strelow, K. K. Structure and properties of refractories. – 2nd ed. revised. – Moscow : Metallurgy, 1982. – 208 p. – Text : direct. (in Russian)
 23. SNiP III-24-75. Rules for the production and acceptance of works. Industrial ovens and brick pipes. – Moscow : Standards Publishing House, 1976. – 16 p. – Text : direct. (in Russian)
 24. Trinks, V. ; translated and edited by V. P. Lichevsky. Industrial ovens. In 2 volumes. – Volume 2. – Moscow : Metallurgy, 1961. – 389 p. – Text : direct. (in Russian)
 25. Yugov, A. M.; Ihno, A. V.; Mironov, A. N. [et. al.]. Modeling of the stress-strain state of metal structures of the glass melting furnace in transitional states when it is put into operation. – Text : electronic. – In: *Metal constructions*. – 2017. – Volume 23, № 4. – P. 177–190. – URL : http://donnasa.ru/publish_house/journals/mk/2017-4/03_yugov_ihno_mironov_titkov.pdf (publication date: 11.12.2017). (in Russian)

- трубы : строительные нормы и правила : издание официальное : утвержден и введен в действие постановлением Государственного комитета Совета Министров СССР по делам строительства от 7 мая 1975 г. № 72 взамен главы СНиП III-Г.12-62 «Кладка промышленных печей и кирпичных дымовых труб. Правила производства и приемки работ» : дата введения 1976-07-01 / разработан институтом ВНИПИ Теплопроект Минмонтажспецстроя СССР. – Москва : Издательство стандартов, 1976. – 16 с. – Текст : непосредственный.
24. Тринкс, В. Промышленные печи. В 2 томах / В. Тринкс ; пер. и ред. В. П. Линчевского. – Том 2. – Москва : Металлургия, 1961. – 389 с. – Текст : непосредственный.
25. 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 [и др.]. – Текст : электронный // Металлические конструкции. – 2017. – Том 23, № 4. – С. 177–190. – URL : http://donnasa.ru/publish_house/journals/mk/2017-4/03_yugov_ihno_mironov_titkov.pdf (дата публикации: 11.12.2017).

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.

Крупенченко Анна Викторовна – старший преподаватель кафедры технологии и организации строительства ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: ремонт и реконструкция конструкций промышленных зданий.

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

Югов Анатолій Михайлович – доктор технічних наук, професор; завідувач кафедри технології і організації будівництва ДОУ 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 ДОУ 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

Крупенченко Ганна Вікторівна – старший викладач кафедри технології і організації будівництва ДОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: ремонт і реконструкція конструкцій промислових будівель.

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

Yugov Anatoliy – D. Sc. (Eng.), Professor; Head of the 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, building and reconstruction of buildings and structures.

Ihno Anna – Assistant, Technology and Management in Construction Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: designing, installation, operation, technical diagnostics, 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.

Krupenchenko Anna – Senior Lecturer, Technology and Management in Construction Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: repair and reconstruction of roofs of industrial buildings.

Titkov Sergey – Assistant, Technology and Management in Construction Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: repair and reconstruction of roofs of industrial buildings.