

А.М. МАРКОВ, О.С. МИХАЙЛОВА

ПРОЕКТИРОВАНИЕ УЧАСТКА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПЕЧИ ИНФРАКРАСНОГО ОТЖИГА В ООО «СТЕКЛОЗАВОД КРАСНЫЙ ЛУЧ»

В статье рассматриваются вопросы, связанные с модернизацией производства стеклоизделий, а именно – с проектированием, монтажом и эксплуатацией печи инфракрасного отжига в ООО «Стеклозавод Красный Луч».



Печи отжига стеклоизделий предназначены для осуществления режимов термообработки стеклоизделий – отжига стеклянных изделий светотехники с целью снятия остаточных внутренних напряжений сразу после формования стеклоизделий.

Печи для отжига стеклоизделий классифицируются по режиму работы, источнику тепла, способу передачи тепла, направлению движения отжигаемых изделий и конструкции транспортных средств. Печи бывают периодического действия (камерные) и непрерывного действия (конвейерные).

В качестве источника тепла применяют жидкое и газообразное топливо, а также электрическую энергию. По способу передачи тепла печи бывают прямого нагрева, муфельные и циркуляционные. К печам для отжига предъявляют жёсткие требования в отношении равномерного распределения температур внутри печного пространства и точного выдерживания режима отжига стекла.

Печи периодического действия применяют очень редко и в основном для отжига крупногабаритных толстостенных изделий. В этих печах изделия располагаются на поду или в специальной таре (коробах, вагонетках и т.д.). В печах периодического действия отжигают изделия с большой толщиной стенки (более 12 – 15 мм), сложной формы и больших размеров.

Печи непрерывного действия, по сравнению с периодическими, отличаются высокой производительностью, низким расходом тепловой энергии на изделие и возможностью более точного регулирования температурного режима. Эти печи снабжены специальными механизмами для перемещения изделий в виде вагонеток, конвейерных (сетчатых, пластинчатых и т.д.), роликовых, валиковых, шагающих подов, толкателей и т.п. [1]. Направление движений изделий в соответствии с технологическим процессом выработки – горизонтальное или вертикальное.

В вагонеточных печах обычно топки для сжигания топлива расположены под подом. Кузова вагонеток изготавливают из листовой стали, часто перфорированной, или из металлической сетки. В муфельных печах для уменьшения температурного перепада по высоте помимо нижних топок и муфеля часто предусматривают и верхние. Муфель изготавливают из карборундовых, шамотных и жароупорных стальных пластин. При передвижении изделий с помощью роликов и валиков в области высоких температур предусматривают их водяное охлаждение.

Наиболее удобны, просты и эффективны в эксплуатации печи отжига с электрическим обогревом. При этом обычно применяют нагревательные элементы, которые устанавливают внутри печи, концентрируя их на тех или иных участках в соответствии с требованиями.

В производстве полых изделий могут быть использованы печи отжига с индукционным электрическим обогревом. Ток индуцируется во внутреннем кожухе, в котором транспортируются полые изделия.

Современные отжигательные устройства представляют собой непрерывно действующие туннельные конвейерные печи. Со стороны печи, куда поступают подлежащие отжигу изделия, поддерживается технологически обоснованная температура, которая постепенно снижается по направлению к выходному концу по

заданной кривой, обеспечивающей нормальный отжиг. Выходящие из печи изделия имеют температуру 50–60°C.

Печь инфракрасного отжига стеклоизделий модели ПИЭТ-1,1/160-О предназначена для осуществления режимов термообработки стеклоизделий. Это отжиг стеклянных изделий светотехники с толщиной стенки до 30 мм и с коэффициентом пропускания от 9 до 88 % в видимой и ближней инфракрасной областях спектра (0,4 – 2,5 мкм). Изделия окрашены в объёме в красный, оранжевый, жёлтый, синий и другие цвета (фильтры для светофоров, семафоров и пр.).

Отжиг стеклоизделий производится с целью снятия остаточных внутренних напряжений сразу после их изготовления и формования.

Работа установки заключается в нагреве стеклоизделий до верхней температуры отжига, постепенного охлаждения (отжига) до нижней температуры отжига и быстрого охлаждения до температуры окружающего воздуха. Нагрев, отжиг и охлаждение стеклоизделий происходят в процессе перемещения стеклоизделий конвейером установки [2] вдоль туннеля через все температурные зоны от входного окна шибберного устройства 8 (рис. 1), где изделия загружаются на конвейерную сетку (12) до стола разгрузки на приводной станции 13. Для соблюдения технологического процесса отжига стеклоизделий настоящая установка имеет устройства, позволяющие ускоренно, по отношению к прототипу, выполнить следующие операции:

- нагреть стеклоизделия до верхней температуры отжига;
- автоматически регулировать температуру отжига;
- производить ускоренное остывание в зонах отжига и охлаждения с использованием вентиляторов охлаждения сводов 3-5-ой секций;
- быстро охлаждать стеклоизделия на выходе из печи на секции вентиляторов;
- автоматически поддерживать в пределах установленного отклонения от задания установленную верхнюю температуру отжига, выравнивания и охлаждения;
- транспортировать изделия в рабочем туннеле установки с заданной постоянной скоростью в пределах заданного отклонения;
- изменять скорость транспортировки стеклоизделий в широком диапазоне;
- производить измерение температуры поверхности стеклоизделий бесконтактно на протяжении всего процесса инфракрасной обработки в печи, получая более достоверные результаты измерения температуры стеклоизделий в условиях радиационного теплопереноса по сравнению с контактными методами измерения температуры стеклоизделий.

Загрузка стеклоизделий в установку может производиться как вручную, так и автоматическими загрузчиками. Установка собирается сначала из отдельных секций остова, затем камер нагрева, охлаждения и быстрого охлаждения, шибберного устройства на собранный остов и в конце собирают кожух с закладкой теплоизолирующего материала МКРВ-200.

Установка имеет четыре технологические зоны:

- зона нагрева и выдержки;
- зона охлаждения в соответствующем интервале температуры;
- зона ускоренного охлаждения;
- зона охлаждения вне закрытой части печи под вентиляторами.

Конструкция печи допускает изменение зон настройкой необходимой температуры с помощью системы автоматического регулирования, состоящей из трёх шкафов управления 9.

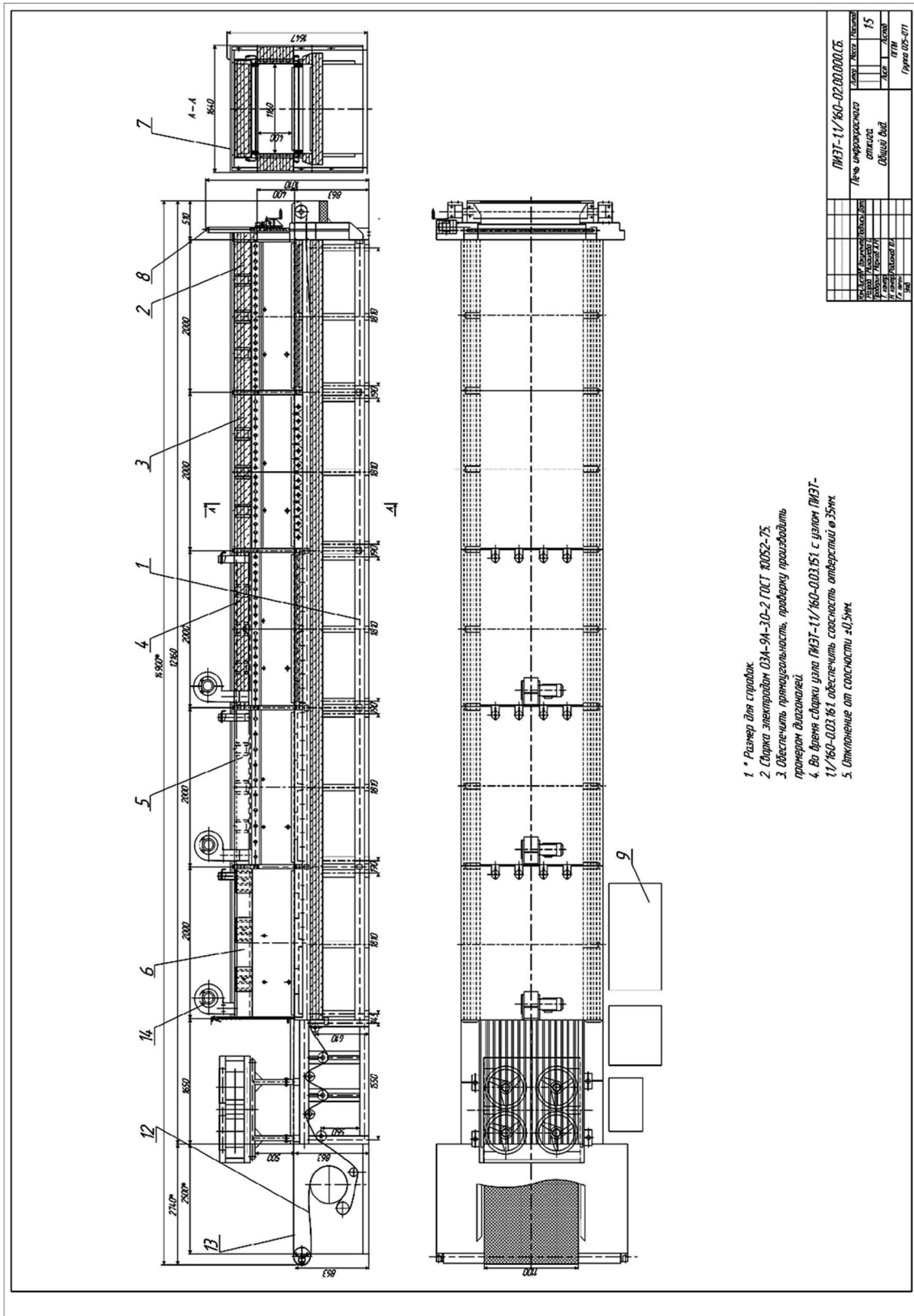


Рис. 1. Печь инфракрасного отжига

Все камеры нагрева печи имеют прямоугольное сечение и изготовлены из жаропрочной стали марки 12Х18Н10Т. В верхней части камер над аркой и внизу под листом уложена теплоизоляция из муллитокремнезёмистого материала МКРВ-200. Все детали камеры, обращённые внутрь, имеют полированную поверхность с высоким

коэффициентом отражения, т.е. являются рефлекторной частью ИК-камеры. По направляющим рамы перемещается верхняя ветвь сетки. В верхней части камеры установлены кварцевые галогенные лампы накаливания марки КГТ-380-5000, являющиеся источниками разогрева стеклоизделий. Количество подключённых ламп определяется ассортиментом обрабатываемых стеклоизделий и может изменяться в зависимости от верхней температуры отжига. Для подключения ламп по боковым сторонам камеры установлены токоведущие шины. Шины закрыты специальными защитными кожухами. Камера опирается на раму остова и крепится к ней. Рама остова устанавливается на трёх цилиндрических опорах. Средняя опора жёстко фиксирует камеру и раму остова с обеих сторон к основанию остова, а опоры на входе и на выходе из камеры имеют дилатометрический люфт, позволяющий свободно перемещаться этим участкам камеры нагрева при изменении температуры.

Настоящая конструкция камеры нагрева обеспечивает:

- отсутствие остаточной деформации рабочей зоны нагрева при теплосменах в пределах верхней рабочей температуры печи;
- достаточную плоскостность её пода в пределах ± 3 мм при разнице температуры от входа в камеру до выхода из неё 350–400°C.
- малый перепад температуры по объёму отжигаемых стеклоизделий, что в дальнейшем позволяет изъять энергию со скоростью охлаждения в 5–8 раз большей, нежели в прототипах.

Технические характеристики спроектированной и смонтированной печи ИК-отжига ПИЭТ-1,1-160-О в сравнении с печью конвективного типа ПКЭ-324 (прототип), которая эксплуатировалась ранее в ООО «Стеклозавод Красный Луч», приведены в таблице 1.

Таблица 1

№ п/п	Наименование технического показателя	Технологические нормы для печи	
		ПИЭТ-1,1-160-О	ПКЭ-324 (прототип)
1	Расход электроэнергии, кВт·ч	40	79
2	Скорость перемещения транспортирующей сетки, метр/мин	0,38 – 0,46	0,06 – 0,26
3	Характеристика питающей электросети:		
	номинальное напряжение, V	380	220/380
	номинальная частота тока, Hz	50	50
4	Ширина транспортирующей сетки, мм	1100	1800
5	Габаритные размеры печи, мм:		
	ширина	1800	3294
	высота	1680	2800
	длина	12200	26340
6	Масса печи, кг	5600	30050
7	Максимальная температура печи, °C	650	600

Заключение

Применение спроектированной и смонтированной печи ИК-отжига ПИЭТ-1,1-160-О в ООО «Стеклозавод Красный Луч» позволяет практически заменить две печи

конвективного типа ПКЭ-324 с существенным улучшением технических параметров выпускаемого ассортимента стеклоизделий для автотранспорта, железнодорожных машин, средств регулирования и управления транспортными потоками, как в России, так и в странах ближнего и дальнего зарубежья.

ЛИТЕРАТУРА

1. Волотковский С.А. Типовой электропривод промышленных установок. – К.: Высшая школа, 1983.
2. Алексеев В.В., Козярук А.Е., Загривный Э.А. Электрические машины // СПГТИ им. Г.В. Плеханова, 2006.

И.А. ПОЛЕТАЕВ

ОБ ИНТЕРПОЛЯЦИИ ЭКСПОНЕНЦИАЛЬНОЙ ФУНКЦИИ ПОЛИНОМАМИ В МОДЕЛЯХ САУ С ТРАНСПОРТНЫМ ЗАПАЗДЫВАНИЕМ

Рассматривается использование методов аппроксимации экспоненциальной функции рядами Маклорена, Паде и «золотого» предела с конечным числом элементов. Методы исследуются с целью избавиться от трансцендентного уравнения, возникающего в знаменателе передаточной функции САУ с запаздыванием. Показано, что такие методы обладают в реальных условиях низкой точностью.

В промышленности, и в народном хозяйстве в целом, во всем мире создано и создается достаточно много систем автоматического управления (САУ), в которых присутствует запаздывание. Если запаздывание постоянно, то его называют «чистым», или транспортным.

При построении моделей САУ с помощью передаточных функций (ПФ), используя операторное представление модели, звено с запаздыванием имеет вид: $e^{-\tau s}$. Структурная схема такой САУ представлена на рис. 1.

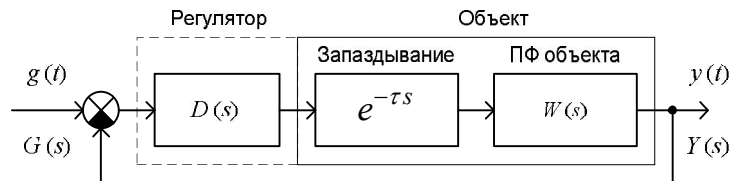


Рис. 1. Общая структурная схема САУ с транспортным запаздыванием

При синтезе и анализе регуляторов обычно используют методы, анализирующие полином знаменателя ПФ: характеристическое уравнение, по которому определяются полюсы передаточной функции. Запишем уравнение *разомкнутой* одноконтурной линейной системы с запаздыванием для общего случая:

$$a_0 \frac{d^n x}{dt^n} + a_1 \frac{d^{n-1} x}{dt^{n-1}} + \dots + a_n x = ky(t - \tau) \quad (1)$$

и её ПФ:

$$W(s) = \frac{ke^{-\tau s}}{a_0 s^n + a_1 s^{n-1} + \dots + a_n} \quad (2)$$

Из (2) следует, что наличие в одноконтурной разомкнутой системе запаздывающего звена не влияет на устойчивость разомкнутой системы, так как ПФ этого звена находится в числителе. Это означает – количество свободных составляющих остается таким же, как и для систем без запаздывания.