

УДК 581.513.2

В.З. Магергут, Д.В. Величко, А.А. АндреевБелгородский государственный технологический университет
им. В.Г. Шухова, Белгород, Россия**СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ТИГЛЕЙ
В ДВУХЪЯРУСНОЙ ТУННЕЛЬНОЙ ПЕЧИ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА
ПЕНОСТЕКОВЫХ БЛОКОВ**

В данной работе рассматриваются вопросы, связанные с технологическими особенностями производства пеностекла. Особое внимание уделяется процессу автоматизации туннельной печи, предназначенной для тепловой обработки пеностекляной шихты, состоящей из порошкообразного стекла и газообразователя. Кроме этого выполнен анализ различных сырьевых смесей для производства пеностекляных блоков. Представлены рекомендуемый химический состав стекла и описание различных газообразователей. Сконцентрировано внимание на основных факторах, влияющих на конечный продукт, используемый в области строительной индустрии.

Актуальность данной темы состоит в том, что она связана с автоматизацией технологических процессов, результатом которой являются повышение качества выпускаемой продукции и уменьшение её себестоимости, что приводит к повышению рентабельности производства.

Акцент сделан на отдельных моментах, связанных с модификацией двухъярусной туннельной печи, которые способствуют энергосбережению и равномерному распределению тепловых полей внутри секций туннельной печи.

Для алгоритмизации процесса перемещения тиглей в туннельной печи используется математический аппарат помеченных сетей Петри. Управление объектом осуществляется с помощью программируемого логического контроллера. В качестве языка программирования применяется FBD – один из графических языков программирования.

В форме конкретных результатов проделанной работы в статье представлены функциональная схема автоматизации двухъярусной туннельной печи, условия срабатывания датчиков, параметры начального состояния, граф операций производственного процесса, описание операций помеченной сети Петри, описание переходов помеченной сети Петри, блок-схема алгоритма работы системы управления.

Полученные результаты могут использоваться на предприятиях реального производства пеностекляных блоков.

Ключевые слова: пеностекло, туннельная печь, таймер, датчик, регулятор, исполнительное устройство, программируемый логический контроллер, сети Петри, графический язык программирования.

V.Z. Magergut, D.V. Velichko, A.A. Andreev

Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov,
Belgorod, Russian Federation

AUTOMATIC TRANSFER SYSTEM OF CRUCIBLES IN TWO-TIER KILN FOR FOAMED GLASS BLOCKS PRODUCTION

This paper describes issues related to the technological features of foamed glass production. Particular attention is paid to the automation process of the tunnel kiln designed for heat treatment of foamed glass charge, which consists of powdered glass and blowing agent. Besides, the analysis of different raw mixtures for producing foamed glass blocks was performed. The recommended chemical composition of the glass and the description of the different blowing agents were introduced. Focus on the main factors affecting the final product to be used in the construction industry.

Relevance of the topic is that it is associated with the automation of technological processes, the result of which is to improve the quality of products and reduce its cost, which leads to increased profitability.

Emphasis is placed on single moments relating to the modification of the two-tier tunnel kiln, which promote energy efficiency and uniform distribution of thermal fields in sections of tunnel kiln.

Algorithm for moving the crucible in a tunnel kiln is described by mathematical apparatus of marked Petri nets. Object control is carried out by a programmable logic controller. As a programming language used FBD - one of the graphical programming languages.

In the form of concrete results of the work done in the article is a piping and instrumentation diagram of two-tier kiln, conditions that trigger sensors, initial state parameters, operations graph of the production process, operation's description of the marked Petri net, transition's description of the marked Petri net, a flow diagram of control system algorithm.

The obtained results can be used by enterprises of real foamed glass blocks production.

Keywords: foam glass, tunnel kiln, timer, sensor, regulator, actuating device, programmable logic controller, Petri nets, graphical programming language.

Пеностекло – это неорганический, легкий, прочный, высокопористый материал, представляющий собой застывшую стекольную пену. Применяется пеностекло в строительстве и промышленности для тепло- и звукоизоляции. Основными являются следующие свойства пеностекла: низкая теплопроводность, высокая плотность, экологическая безопасность и относительная долговечность. Существуют различные виды пеностекла: блочное и гранулированное.

В промышленных масштабах пеностекло получают порошковым способом, сущность которого состоит в спекании смеси порошкообразного стекла с газообразователем. Свойства пеностекла, изменяемые в широких пределах, зависят от состава стекла, вида газообразователя и режима тепловой обработки [1–7].

Стекло, применяемое в производстве пеностекла, должно удовлетворять ряду требований, обусловленных технологией производства. Наиболее важными являются следующие: температура размягчения стекла – относительно низкая, снижение вязкости с ростом температуры

– медленное, порошкообразное стекло не должно кристаллизоваться до полного завершения процесса вспенивания. Рекомендуемый химический состав стекла представлен в табл. 1.

Таблица 1

Рекомендуемый химический состав стекла

Содержание окислов, % по массе								
SiO ₂	Al ₂ O ₃	B ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	SO ₃
72	2	–	0,2	6	4	15,5	–	0,3

Основными требованиями, предъявляемыми к газообразователям, являются следующие: температура выделения газа должна быть на 50–70 °С выше температуры размягчения стекольного порошка; равномерное выделение газа, в количестве, обеспечивающем нужное давление; недефицитность, нетоксичность и невысокая стоимость.

Таким условиям отвечают: углеродистые вещества (антрацит, кокс, графит); карбонаты (известняк, мрамор, мел); карбиды кальция и кремния; пиролюзит; селитра. Выбор вида газообразователя зависит от температуры спекания и интервала вязкости стекла, а также от необходимых характеристик пористости и окраски пеностекла (табл. 2).

Таблица 2

Газообразователи, применяемые в производстве пеностекла

Наименование газообразователя	Химическая формула (основной компонент)	Температура спекания, °С	Количество газообразователя, %	Строение пор пеностекла	Цвет пеностекла
Пиролюзит	MnO ₂	680 – 720	3 – 5	Частично замкнутые	Фиолетовый
Азотнокислый натрий	NaNO ₃	720	3 – 5	Сообщающиеся	Белый, серый
Известняк, мрамор	CaCO ₃	760 – 775	0,5 – 1	Преимущественно сообщающиеся	Белый
Карбид кальция	CaC ₂	750 – 760	1 – 1,5	Преимущественно замкнутые	Белый, светло-серый
Антрацит	В основном С	770 – 780	2 – 3	Частично сообщающиеся	Табачно-желтый, темно-серый
Кокс	В основном С	790 – 800	2 – 3	Замкнутые	Коричневый, черный
Графит	С	850 и выше	1 – 2	Замкнутые	Серый, черный
Карбид кремния	SiC	850 и выше	1 – 3	Замкнутые	Серый

Процесс производства пеностекла состоит из нескольких этапов: начальную фазу дробления стеклобой проходит в молотковых дробилках, после чего подается на мельницу, где размалывается. Порошок стекла подается в смеситель, куда добавляется газообразователь, после этого перемешанные компоненты отправляются в мельницу для окончательного помола. Размер частиц в готовой стекломассе (шихте) составляет приблизительно 80 мкм. Полученную смесь с помощью дозаторов загружают в тигли, представляющие собой жаростойкие формы с меловой обмазкой, которые отправляются в туннельную печь, где происходит нагрев до температуры вспенивания. В ходе термообработки происходит окислительно-восстановительная реакция между углеродом и сульфатами (окислителями) и/или оксидами стекла. В результате в расплаве стекла образуются газы, которые придают массе пористую структуру, что приводит к образованию материалов с низкой плотностью и теплопроводностью. После секции вспенивания тигли перемещаются в секцию отжига. В процессе перестановки тиглей в результате термоудара пеностекло охлаждается до температуры твердения, а полученная ячеистая структура застывает. Отжиг необходим для снятия механических напряжений и увеличения прочности пеностекла. После термообработки производится механическая обработка блоков пеностекла.

Существуют различные виды туннельных печей. Основное преимущество двухъярусной конструкции перед одноярусной заключается в экономии производственных площадей. Для перемещения тиглей по туннельной печи используется металлическая транспортерная сетка.

В рамках данной работы стояла задача разработки системы автоматического перемещения тиглей в двухъярусной туннельной печи, предназначенной для производства пеностекляных блоков.

В качестве объекта автоматизации рассматривался модифицированный вариант двухъярусной туннельной печи¹, где с целью энергосбережения и для обеспечения равномерного распределения температуры в секциях печи установлены дополнительные задвижки.

Функциональная схема автоматизации туннельной печи, выполненная в соответствии с ГОСТ 21.404-85, приведена на рис. 1.

¹ Туннельная печь-утилизатор: пат. 2146033 Рос. Федерация, МПК F 27 В 9/02, F 27 В 9/06 / В.А. Вольтинский, В.А. Ивахнюк, В.И. Колчунов, В.С. Кононыхин, А.Н. Мальцев, С.Г. Новичков, Ю.Д. Титаренко, В.А. Уваров / заяв. и патент. Белгородская технологическая академия строит. материалов; № 99111279/03; заявл. 31.05.1999; опубл. 27.02.2000. – 6 с.

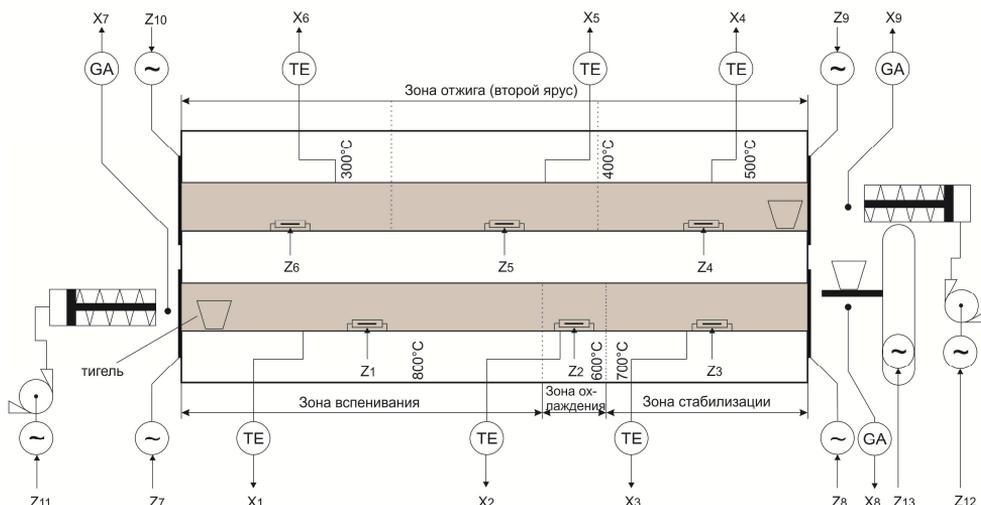


Рис. 1. Функциональная схема автоматизации двухъярусной туннельной печи

Данная система работает следующим образом. Предварительно, по имеющимся данным, производится настройка температурно-временного режима работы туннельной печи на параметры стекломассы, поступающей из помольного участка. Каждая секция печи настраивается регулировкой мощности трубчатых электронагревателей (ТЭН). Стекломассу загружают в тигли. Процесс начинается с появления тигля напротив нижнего яруса печи, что приводит к включению датчика положения (x_7). Перемещение тигля в зону вспенивания производится с помощью гидротолкателя (z_{11}) с предварительным открытием задвижек (z_7, z_8). Дальнейшее перемещение тигля в печи будет происходить аналогичным образом – открытие задвижек, включение гидротолкателя. Закрытие задвижки происходит по таймеру, причём задвижки одного яруса привязаны к одному таймеру. Таким образом, открытие и закрытие происходит одновременно. Нагрев секций печи до необходимой температуры производится с помощью ТЭН на нижнем ярусе (z_1, z_2, z_3) и на верхнем (z_4, z_5, z_6).

Для поддержания температуры на заданном уровне используются двухпозиционные регуляторы [8]. Данные о температуре в секциях печи поступают за счёт датчиков температуры – термопреобразователей сопротивления. Основными достоинствами двухпозиционных регуляторов являются: простота использования и простота настройки регулятора на объекте регулирования; в одном приборе может быть реализовано несколько регуляторов; наличие контроллера позволяет быстро адаптировать регулятор (изменяя его структуру) под конкретный объект управле-

ния с помощью несложных операций конфигурирования. Для регулирования теплообмена поточной части секции с внешней средой в теплоизолирующем кожухе каждой секции вмонтирована щелевая задвижка.

Тигель находится в каждой зоне заданное время. На выходе из зоны стабилизации тигель попадает на подъёмник (z_{13}). Сигнал с датчика положения (x_8) является условием для поднятия тигля на верхний ярус. Достижение тиглем верхнего яруса включит датчик положения (x_9), что является условием для перемещения тигля в начальную зону отжига. Автоматическое перемещение тиглей с нижнего яруса на верхний ярус можно осуществить и с помощью манипуляционного робота. Но так как перемещение происходит в двумерном пространстве, а работа манипуляционного робота требует дополнительного программирования, то его использование в данных условиях является капиталоемким и в целом нецелесообразным.

Перемещение тигля по верхнему ярусу происходит так же, как и по нижнему, с помощью гидротолкателя (z_{12}) с предварительным открытием задвижек (z_9, z_{10}). Цикл повторяется по мере поступления тиглей из нижнего яруса. Данное техническое решение позволяет меньше времени тратить на контроль производственного процесса, уменьшать численность работающего персонала, повышать надежность и долговечность оборудования, дает экономию материалов, улучшает условия труда и повышает безопасность производства, а также приводит к уменьшению психофизических нагрузок и вероятности ошибочных действий оперативного персонала. Кроме того, данной конструкцией легко управлять с помощью логических устройств управления, например программируемых логических контроллеров, что позволит осуществить непрерывное конвейерное производство. Сигналы, отмеченные на функциональной схеме автоматизации, можно подать на соответствующие входы и выходы контроллера.

Приведенную схему автоматизации можно преобразовать в мнемосхему, тем самым реализовав SCADA-систему, предназначенную для управления и визуализации, диагностики и слежения за процессом на централизованном пункте управления. В качестве инструмента для алгоритмизации процесса управления туннельной печью использовались сети Петри – математический аппарат для моделирования динамических дискретных систем [9]. При составлении графа операций задаются условия срабатывания датчиков (табл. 3). На данном этапе производится конкретизация значений температуры в секциях печи, которые могут варьироваться в зависимости от технологии производства пеностекольных блоков [10, 11].

Таблица 3

Условия срабатывания датчиков

Сигнал с датчика	Условие срабатывания («1» – логическая единица, «0» – логический ноль)
x_1^0	$\begin{cases} 1, \text{ если температура } \geq 790 \text{ }^\circ\text{C}, \\ 0, \text{ если иначе} \end{cases}$
x_1^1	$\begin{cases} 1, \text{ если температура } \geq 810 \text{ }^\circ\text{C}, \\ 0, \text{ если иначе} \end{cases}$
x_2^0	$\begin{cases} 1, \text{ если температура } \geq 590 \text{ }^\circ\text{C}, \\ 0, \text{ если иначе} \end{cases}$
x_2^1	$\begin{cases} 1, \text{ если температура } \geq 610 \text{ }^\circ\text{C}, \\ 0, \text{ если иначе} \end{cases}$
x_3^0	$\begin{cases} 1, \text{ если температура } \geq 690 \text{ }^\circ\text{C}, \\ 0, \text{ если иначе} \end{cases}$
x_3^1	$\begin{cases} 1, \text{ если температура } \geq 710 \text{ }^\circ\text{C}, \\ 0, \text{ если иначе} \end{cases}$
x_4^0	$\begin{cases} 1, \text{ если температура } \geq 490 \text{ }^\circ\text{C}, \\ 0, \text{ если иначе} \end{cases}$
x_4^1	$\begin{cases} 1, \text{ если температура } \geq 510 \text{ }^\circ\text{C}, \\ 0, \text{ если иначе} \end{cases}$
x_5^0	$\begin{cases} 1, \text{ если температура } \geq 390 \text{ }^\circ\text{C}, \\ 0, \text{ если иначе} \end{cases}$
x_5^1	$\begin{cases} 1, \text{ если температура } \geq 410 \text{ }^\circ\text{C}, \\ 0, \text{ если иначе} \end{cases}$
x_6^0	$\begin{cases} 1, \text{ если температура } \geq 290 \text{ }^\circ\text{C}, \\ 0, \text{ если иначе.} \end{cases}$
x_6^1	$\begin{cases} 1, \text{ если температура } \geq 310 \text{ }^\circ\text{C}, \\ 0, \text{ если иначе} \end{cases}$
x_7	$\begin{cases} 1, \text{ если есть объект в заданной области пространства,} \\ 0, \text{ если иначе} \end{cases}$
x_8	$\begin{cases} 1, \text{ если есть объект в заданной области пространства,} \\ 0, \text{ если иначе} \end{cases}$
x_9	$\begin{cases} 1, \text{ если есть объект в заданной области пространства,} \\ 0, \text{ если иначе} \end{cases}$

Кроме этого производится определение параметров начального состояния (табл. 4), где α_1 – сигнал с органа управления (тумблера), $x_i (i=1,2,\dots,6)$ – сигналы с датчиков температуры (термоэлектрических преобразователей), $x_i (i=7,8,9)$ – сигналы с датчиков положения (рефлекторных оптических), $z_i (i=1,2,\dots,6)$ – сигналы управления, подаваемые на ТЭН, $z_i (i=7,8,\dots,10)$ – сигналы управления, подаваемые на электроприводы шибберных задвижек, $z_i (i=11,12)$ – сигналы управления, подаваемые на двигатели гидротолкателей, $z_i (i=13)$ – сигнал управления, подаваемый на двигатель подъёмника, $u_i (i=1,2,\dots,8)$ – сигналы управления включением таймеров, $\tau_n (n=1,2,\dots,8)$ – сигналы с таймеров.

Таблица 4

Параметры начального состояния

Органы управления α, β, γ	Датчики x, τ	Исполнительные устройства		Таймеры u	Органы индикации v, w
		НЗ (ВО)	НО (ВЗ)		
$\bar{\alpha}_1$	\bar{x}_1	\bar{z}_1	нет	\bar{u}_1	нет
	\bar{x}_2	\bar{z}_2		\bar{u}_2	
	\bar{x}_3	\bar{z}_3		\bar{u}_3	
	\bar{x}_4	\bar{z}_4		\bar{u}_4	
	\bar{x}_5	\bar{z}_5		\bar{u}_5	
	\bar{x}_6	\bar{z}_6		\bar{u}_6	
	\bar{x}_7	\bar{z}_7		\bar{u}_7	
	\bar{x}_8	\bar{z}_8		\bar{u}_8	
	\bar{x}_9	\bar{z}_9			
	$\bar{\tau}_1$	\bar{z}_{10}			
	$\bar{\tau}_2$	\bar{z}_{11}			
	$\bar{\tau}_3$	\bar{z}_{12}			
	$\bar{\tau}_4$	\bar{z}_{13}			
	$\bar{\tau}_5$				
	$\bar{\tau}_6$				
	$\bar{\tau}_7$				
	$\bar{\tau}_8$				
Пометки перехода		Пометки позиций			

После этого строится алгоритм работы объекта управления в виде помеченной сети Петри с начальной маркировкой в позиции P_0 (рис. 2).

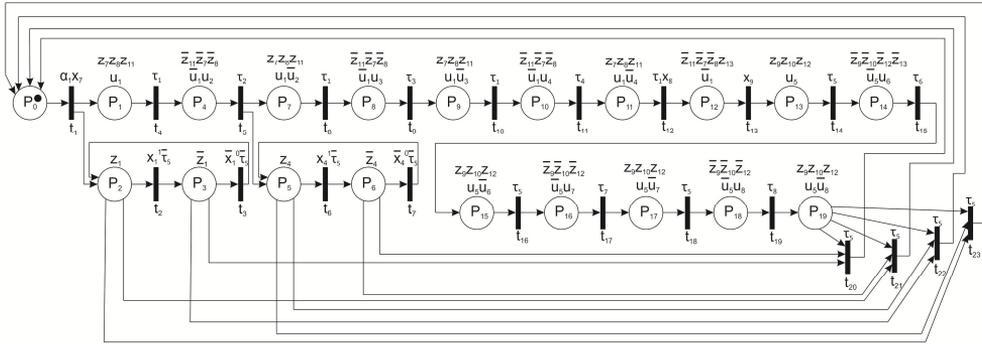


Рис. 2. Граф операций производственного процесса

На графе операций производственного процесса в целях упрощения не указано регулирование в зоне охлаждения и в зоне стабилизации (нижний ярус), а также в зоне отжига 2 и в зоне отжига 3 (верхний ярус). Данные операции происходят аналогично указанным операциям регулирования в зоне вспенивания и зоне отжига 1.

Каждая позиция помеченной сети Петри соответствует определённой операции (табл. 5).

Таблица 5

Описание операций помеченной сети Петри

Обозначение позиции	Содержание операции	Нагружаемые переменные
P_0	Ожидание тигля	$\bar{z}_1 \dots \bar{z}_{13} \bar{u}_1 \dots \bar{u}_8$
P_1	Перемещение тигля в зону вспенивания	$z_7 z_8 z_{11} u_1$
P_2	Включение нагрева до 810 °С в зоне вспенивания	z_1
P_3	Выключение нагрева в зоне вспенивания	\bar{z}_1
P_4	Возвращение гидротолкателя и задвижек в исходное состояние. Включение таймера в зоне вспенивания	$\bar{z}_{11} \bar{z}_7 \bar{z}_8 \bar{u}_1 \bar{u}_2$
P_5	Включение нагрева до 510 °С в зоне отжига 1	z_4
P_6	Выключение нагрева в зоне отжига 1	\bar{z}_4
P_7	Перемещение тигля в зону охлаждения	$z_7 z_8 z_{11} u_1 \bar{u}_2$

Окончание табл. 5

Обозначение позиции	Содержание операции	Нагружаемые переменные
P ₈	Возвращение гидротолкателя и задвижек в исходное состояние. Включение таймера в зоне охлаждения	$\bar{z}_{11} \bar{z}_7 \bar{z}_8 \bar{u}_1 u_3$
P ₉	Перемещение тигля в зону стабилизации	$z_7 z_8 z_{11} u_1 \bar{u}_3$
P ₁₀	Возвращение гидротолкателя и задвижек в исходное состояние. Включение таймера в зоне стабилизации	$\bar{z}_{11} \bar{z}_7 \bar{z}_8 \bar{u}_1 u_4$
P ₁₁	Перемещение тигля из нижнего яруса на подъёмник	$z_7 z_8 z_{11} u_1 \bar{u}_4$
P ₁₂	Поднятие тигля на верхний ярус	$\bar{z}_{11} \bar{z}_7 \bar{z}_8 z_{13} \bar{u}_1$
P ₁₃	Перемещение тигля в зону отжига 1	$z_9 z_{10} z_{12} u_5$
P ₁₄	Возвращение гидротолкателя, подъёмника и задвижек в исходное состояние. Включение таймера в зоне отжига 1	$\bar{z}_9 \bar{z}_{10} \bar{z}_{12} \bar{z}_{13} \bar{u}_5 u_6$
P ₁₅	Перемещение тигля в зону отжига 2	$z_9 z_{10} z_{12} u_5 \bar{u}_6$
P ₁₆	Возвращение гидротолкателя и задвижек в исходное состояние. Включение таймера в зоне отжига 2	$\bar{z}_9 \bar{z}_{10} \bar{z}_{12} \bar{u}_5 u_7$
P ₁₇	Перемещение тигля в зону отжига 3	$z_9 z_{10} z_{12} u_5 \bar{u}_7$
P ₁₈	Возвращение гидротолкателя и задвижек в исходное состояние. Включение таймера в зоне отжига 3	$\bar{z}_9 \bar{z}_{10} \bar{z}_{12} \bar{u}_5 u_8$
P ₁₉	Перемещение тигля из верхнего яруса	$z_9 z_{10} z_{12} u_5 \bar{u}_8$

Описание переходов помеченной сети Петри, а также условия их срабатывания представлены в табл. 6.

Для проверки правильности графа операций производилось построение дерева достижимых маркировок производственного процесса и выполнялся анализ его на соблюдение условий безопасности и живости сети. Поскольку символы P_i в вершинах графа не накапливались, то условие безопасности выполнено. Условие живости сети выполняется, так как, во-первых, отсутствуют тупики и, во-вторых, соблюдается живость переходов (любая операция должна быть обязательно когда-нибудь выполнена).

Таблица 6

Описание переходов помеченной сети Петри

Обозначение перехода	Наименование условия	Условие срабатывания перехода
t_1	Появление тигля напротив нижнего яруса	$\alpha_1 x_7$
t_2	Температура в зоне вспенивания больше 810 °С	$x_1^1 \bar{\tau}_5$
t_3	Температура в зоне вспенивания меньше 790 °С	$x_1^0 \bar{\tau}_5$
t_4	Условие на возвращение гидротолкателя и задвижек в исходное состояние	τ_1
t_5	Процесс вспенивания прошёл	τ_2
t_6	Температура в зоне отжига 1 больше 510 °С	$x_4^1 \bar{\tau}_5$
t_7	Температура в зоне отжига 1 меньше 490 °С	$x_4^0 \bar{\tau}_5$
t_8	Условие на возвращение гидротолкателя и задвижек в исходное состояние	τ_1
t_9	Процесс охлаждения прошёл	τ_3
t_{10}	Условие на возвращение гидротолкателя и задвижек в исходное состояние	τ_1
t_{11}	Процесс стабилизации прошёл	τ_4
t_{12}	Тигель находится на подъёмнике на уровне нижнего яруса	$\tau_1 x_8$
t_{13}	Тигель находится на подъёмнике на уровне верхнего яруса	x_9
t_{14}	Условие на возвращение гидротолкателя и задвижек в исходное состояние	τ_5
t_{15}	Процесс отжига 1 прошёл	τ_6
t_{16}	Условие на возвращение гидротолкателя и задвижек в исходное состояние	τ_5
t_{17}	Процесс отжига 2 прошёл	τ_7
t_{18}	Условие на возвращение гидротолкателя и задвижек в исходное состояние	τ_5
t_{19}	Процесс отжига 3 прошёл	τ_8
t_{20}	Условие на возвращение всех датчиков и исполнительных устройств в исходное состояние	τ_5
t_{21}	Условие на возвращение всех датчиков и исполнительных устройств в исходное состояние	τ_5
t_{22}	Условие на возвращение всех датчиков и исполнительных устройств в исходное состояние	τ_5
t_{23}	Условие на возвращение всех датчиков и исполнительных устройств в исходное состояние	τ_5

Алгоритм работы системы управления (рис. 3) можно реализовать на различных языках программирования, в частности, на FBD (Function Block Diagram) – графический язык программирования, поддерживаемый стандартом МЭК 61131-3.

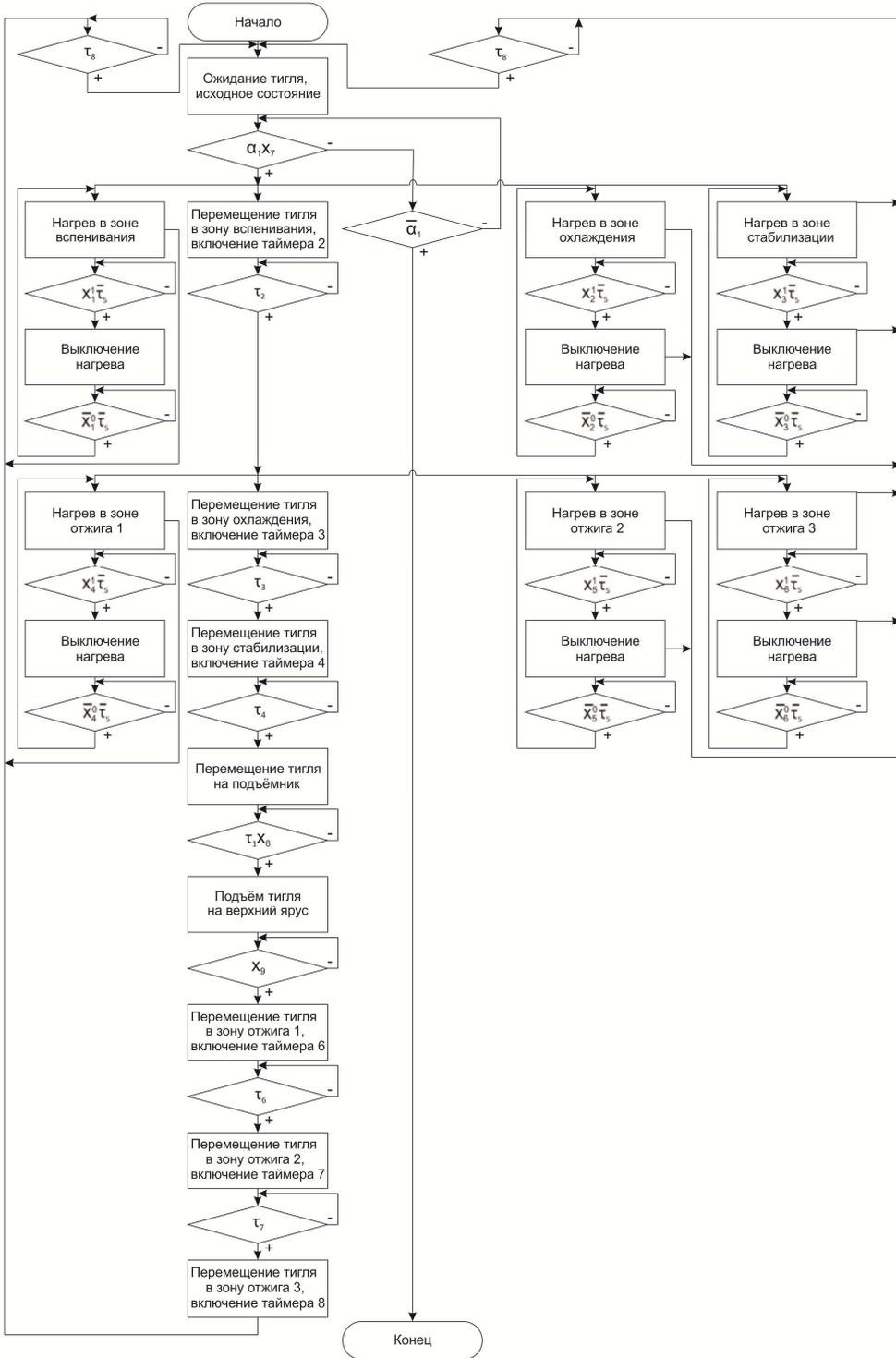


Рис. 3. Блок-схема алгоритма работы системы управления

При программировании на этом языке используются функциональные блоки, имеющие графическое изображение и осуществляющие определённые единичные операции над входными переменными. В данном языке применяется символика булевой алгебры. Основными его достоинствами являются простота, наглядность и лёгкость при использовании программируемых логических контроллеров.

Библиографический список

1. Химическая технология стекла и ситаллов / под ред. Н.М. Павлушкина. – М.: Стройиздат, 1983. – 432 с.
2. Демидович Б.К. Пеностекло. – Минск: Наука и техника, 1975. – 248 с.
3. Шилл Ф. Пеностекло (производство и применение): пер. с чешск. – М.: Стройиздат, 1965. – 308 с.
4. Китайгородский И.И., Кешишян Т.Н. Пеностекло. – М.: Промстройиздат, 1953. – 80 с.
5. Горлов Ю.П., Меркин А.П., Устенко А.А. Технология теплоизоляционных материалов. – М.: Стройиздат, 1980. – 399 с.
6. Пеностекло – современный эффективный неорганический теплоизоляционный материал / Н.И. Минько, О.В. Пучка, Е.И. Евтушенко, В.М. Нарцев, С.В. Сергеев // *Фундаментальные исследования. Технические науки.* – 2013. – №6. – С.849–854.
7. Севостьянов В.С., Кононыхин В.С., Зубаков А.П. Техника и безотходная технология производства пеностекла // *Строительство.* – 2000. – № 10. – С.74–79.
8. Автоматизированная система управления производством пеностекляных теплоизолирующих облицовочных блоков / В.Г. Рубанов, А.С. Кижук, О.В. Луценко, А.А. Кузенко // *Строительство.* – 2000. – № 10. – С.93–97.
9. Юдицкий С.А., Магергут В.З. Логическое управление дискретными процессами. – М.: Машиностроение, 1987. – 176 с.
10. Величко Д.В., Магергут В.З. Построение детерминированной и стохастической динамических моделей процесса нагрева пеностекляной шихты // *Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова.* – 2015. – № 2.
11. Величко Д.В., Рубанов В.Г., Магергут В.З. Об одном подходе к построению математической модели процессов тепловлагоденоса при нагреве пеностекляной шихты // *Научно-технические инновации: сб. докл. XXI Междунар. науч.-практ. конф.* – Белгород: Изд-во БГТУ, 2014. – Ч.6. – С.133–137.

References

1. Pavlushkina N.M. Khimicheskaya tekhnologiya stekla i sitallov [Chemical technology of glass and pyroceramics]. Moscow: Stroiizdat, 1983. 432 p.
2. Demidovich B.K. Penosteklo [Foam glass]. Minsk: Nauka i tekhnika, 1975. 248 p.
3. Shill F. Penosteklo (proizvodstvo i primeneniye) [Foam glass (production and use)]. Moscow: Stroyizdat, 1965. 308 p.
4. Kitaygorodskiy I.I., Keshishyan T.N. Penosteklo [Foam glass]. Moscow: Promstroyizdat, 1953. 80 p.
5. Gorlov Yu.P., Merkin A.P., Ustenko A.A. Tekhnologiya teploizolyatsionnykh materialov [Technology of heat-insulation and acoustic materials]. Moscow: Stroiizdat, 1980. 399 p.
6. Minko N.I., Puchka O.V., Evtushenko E.I., Nartsev V.M., Sergeev S.V. Penosteklo – sovremennyy effektivnyy neorganicheskiy teploizolyatsionnyy material [Foam glass – an advanced efficient inorganic heat-insulating material]. *Fundamentalnye issledovaniya. Tekhnicheskie nauki*, 2013, no. 6, pp. 849-854.
7. Sevostyanov V.S., Kononykhin V.S., Zubakov A.P. Tekhnika i bezotkhodnaya tekhnologiya proizvodstva penostekla [Technique and non-waste technology of foam glass production]. *Stroitelstvo*, 2000, no. 10, pp. 74-79.
8. Rubanov V.G., Kizhuk A.S., Lutsenko O.V., Kuzenko A.A. Avtomatizirovannaya sistema upravleniya proizvodstvom penostekolnykh teploizoliruyushchikh oblitsovochnykh blokov [Automated control system of foam glass heat-insulating cladding blocks production]. *Stroitelstvo*, 2000, no. 10, pp. 93-97.
9. Yuditskiy S.A., Magergut V.Z., Logicheskoe upravlenie diskretnymi protsessami [Logical control of discrete processes]. Moscow: Mashinostroenie, 1987. 176 p.
10. Velichko D.V., Magergut V.Z., Postroyeniye determinirovannoy i stokhasticheskoy dinamicheskikh modeley protsessa nagreva penostekolnoy shikhty [Building determinate and stochastic dynamic models of foam glass charge heating process]. *Vestnik Belgorodskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta imeni V.G. Shukhova*, 2015, no. 2.
11. Velichko D.V., Rubanov V.G., Magergut V.Z. Ob odnom podkhode k postroyeniyu matematicheskoy modeli protsessov teplovlagoperenosa pri nagreve penostekolnoy shikhty [About approach to the building of mathemati-

cal model of heat and moisture process during foam glass charge heating]. *Sbornik dokladov XXI Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii "Naukoyomkiye tekhnologii i innovatsii"*. Belgorodskii gosudarstvennyi tekhnologicheskii universitet imeni V.G. Shukhova, 2014, part. 6, pp. 133-137.

Сведения об авторах

Магергут Валерий Залманович (Белгород, Россия) – доктор технических наук, профессор кафедры технической кибернетики Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова (308012, г. Белгород, ул. Костюкова, 46; e-mail: valerymag@nm.ru).

Величко Дмитрий Валерьевич (Белгород, Россия) – доцент кафедры технической кибернетики Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова (308012, г. Белгород, ул. Костюкова, 46; e-mail: tk210@mail.ru).

Андреев Алексей Алексеевич (Белгород, Россия) – студент Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова (308012, г. Белгород, ул. Костюкова, 46; e-mail: dredd92@yandex.ru).

About the authors

Magergut Valeriy Zalmanovich (Belgorod, Russian Federation)) – Ph.D. of Engineering Sciences, Professor, Department of Engineering Cybernetics, Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov (Kostyukova st., 46, Belgorod, 308012, e-mail: valerymag@nm.ru).

Velichko Dmitriy Valeryevich (Belgorod, Russian Federation) – Associate Professor, Department of Engineering Cybernetics, Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov (Kostyukova st., 46, Belgorod, 308012, e-mail: tk210@mail.ru).

Andreev Aleksey Alekseevich (Belgorod, Russian Federation) – Student, Department of Engineering Cybernetics, Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov (Kostyukova st., 46, Belgorod, 308012, e-mail: dredd92@yandex.ru).

Получено 15.04.2015