

Интернет-журнал «Наукоедение» ISSN 2223-5167 <http://naukovedenie.ru/>  
Выпуск 6 (25) 2014 ноябрь – декабрь <http://naukovedenie.ru/index.php?p=issue-6-14>  
URL статьи: <http://naukovedenie.ru/PDF/166TVN614.pdf>  
DOI: 10.15862/166TVN614 (<http://dx.doi.org/10.15862/166TVN614>)

**УДК 681.5:62-5 (691-431)**

**05.13.06 – Автоматизация и управление технологическими процессами  
и производствами (промышленность)**

**Жежера Николай Илларионович**

ФГБОУ Оренбургский государственный университет  
Россия, Оренбург<sup>1</sup>  
Доктор технических наук, профессор  
E-mail: [nik-gegera@mail.ru](mailto:nik-gegera@mail.ru)

**Сабанчин Венер Ришатович**

ФГБОУ Оренбургский государственный университет  
Россия, Оренбург  
Аспирант  
E-mail: [vener\\_1991@mail.ru](mailto:vener_1991@mail.ru)

## **Туннельная печь для обжига керамических изделий как объект автоматического управления по разрежению продуктов горения**

---

<sup>1</sup> 460018, г. Оренбург, просп. Победы, д. 13

**Аннотация.** В статье приводится вывод теоретических положений применительно к туннельной печи для обжига керамических изделий как объекту автоматического управления по разрежению продуктов горения. Составлено дифференциальное уравнение, устанавливающее взаимосвязь между разрежением продуктов горения природного газа в туннельной печи для обжига керамических изделий и массовым расходом и давлением продуктов горения, поступающих в туннельную печь на горение, расходом и давлением продуктов горения топлива, выходящих через регулирующий орган из туннельной печи. Это дифференциальное уравнение нелинейное, поэтому проведена линеаризация его и установлены формульные выражения для его постоянных времени и коэффициентов.

Выполнено преобразование дифференциального уравнения к операторному виду и выделены типовые динамические звенья. На основе установленных типовых динамических звенья, составлена структурная схема туннельной печи для обжига керамических изделий как объекту автоматического управления по разрежению продуктов горения природного газа.

Полученное дифференциальное уравнение и формулы для вычисления коэффициентов уравнения, позволяют разрабатывать и эксплуатировать цифровые системы автоматического управления туннельной печью для обжига керамических изделий как объектом автоматического управления по разрежению продуктов горения.

**Ключевые слова:** природный газ; продукты горения; туннельная печь; керамические изделия; разрежение; расход; типовые динамические звенья; дифференциальное уравнение; объект управления; линеаризация; структурная схема.

**Ссылка для цитирования этой статьи:**

Жежера Н.И., Сабанчин В.Р. Туннельная печь для обжига керамических изделий как объект автоматического управления по разрежению продуктов горения // Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ» 2014. № 6 <http://naukovedenie.ru/PDF/166TVN614.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ. DOI: 10.15862/166TVN614

Известна туннельная печь [1]. На рисунке 1 схематично изображена туннельная печь для обжига керамических стеновых изделий. Туннельная печь содержит рабочий канал 1, условно разделенный на зоны сушки, подготовки, обжига и охлаждения, вентилятор отбора теплоносителя 2, установленный в конце зоны охлаждения, вентилятор 3 подачи атмосферного воздуха в зону охлаждения, отопительную систему 4, вентилятор 5, отбора дымовых газов, размещенный перед зоной сушки, вентилятор отбора горячего воздуха из зоны охлаждения 6, вентиляционную систему 7, включающую определенное количество блоков, последовательно распределенных по зоне сушки, вентилятор 11 для отсоса теплоносителя, установленный в начале зоны сушки. Блоки вентиляционной системы 7 состоят из нагнетающего вентилятора 8, к которому в определенном месте подведен трубопровод 9 для подачи воздуха из зоны охлаждения и трубопровод 10 для подсоса атмосферного воздуха.

Туннельная печь работает следующим образом. В рабочий канал 1 туннельной печи на некотором расстоянии от конца зоны охлаждения подают атмосферный воздух вентилятором 3. Вентилятором 2, установленным в конце зоны охлаждения, отбирают теплоноситель и направляют к вентилятору 3 подачи атмосферного воздуха. За счет создаваемого перепада давлений воздух движется в противотоке с изделиями в сторону зоны обжига и в прямооток к выгрузочному концу, и таким образом создают давление в конце зоны охлаждения, равным давлению в цехе. Это позволяет создать в зоне охлаждения оптимальный аэродинамический режим и отказаться от металлических дверей на выгрузочном конце печи. Системой отопления 4 в зону обжига подают топливо, при сгорании которого нагреваются изделия до оптимальной температуры. Дымовые газы отбирают вентилятором 5, установленным перед зоной сушки, и выбрасывают в атмосферу.

Обычно перед вентилятором 5 отбора дымовых газов установлен регулирующий клапан 12 с редуктором 13 и электрическим двигателем 14, который входит в систему автоматического регулирования разрежения и поддерживает в зоне обжига туннельной печи значение разрежения в пределах 25-40 Па. Отопительная система 4 содержит форсунки, через которые поступает природный газ в зону горения. Для эффективного сжигания природного газа через каналы в форсунках в зону горения природного газа подается воздух из атмосферы.

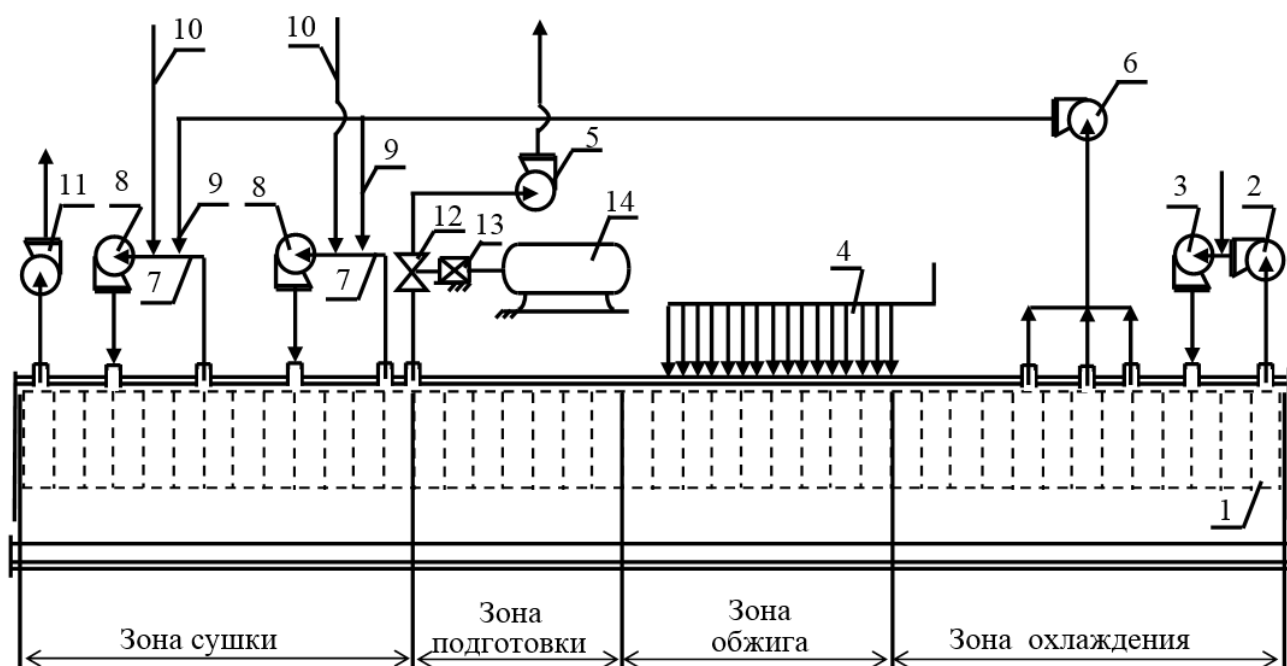
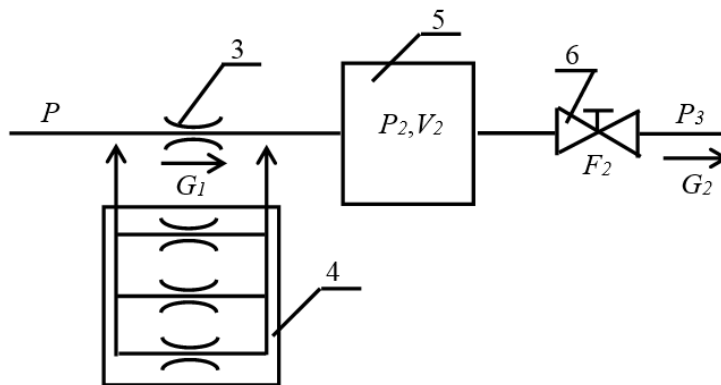


Рис. 1. Туннельная печь для обжига керамических стеновых изделий

В конце зоны сушки расположен первый блок вентиляционной системы 7. Вентилятором 8 отбирают теплоноситель, движущийся в прямом направлении с изделиями, смешивают с атмосферным воздухом, поступающим через трубопровод 10, и с горячим воздухом, который по трубопроводу 9 отбирают вентилятором 6 из зоны охлаждения и нагнетают в зону сушки против хода изделий. Использование предложенной вентиляционной системы позволяет в зоне сушки создать циркуляцию теплоносителя в противотоке и прямом направлении с движением изделий. Теплоноситель, движущийся от первого блока 7 в противотоке, поступает ко второму блоку 7, где вентилятором 8 отбирают теплоноситель из зоны сушки, смешивают через трубопровод 10 с атмосферным воздухом и трубопровод 9 с горячим воздухом из зоны охлаждения и нагнетают в рабочий канал так же против хода изделий. Число блоков 7 вентиляционной системы по длине зоны сушки и их габариты определяются сушильными свойствами, используемых глин и производительностью печи. После последнего блока вентиляционной системы теплоноситель отбирают вентилятором 11 и выбрасывают в атмосферу.

Математические основы описания устройств и технологических процессов как объектов систем автоматического управления рассмотрены применительно к испытаниям изделий на герметичность [2], производству сорбента из углеродного остатка пиролиза изношенных шин [3; 4; 5] и разделению нефтегазовой смеси на компоненты (природный газ, нефть и воду) [6; 7].

На рисунке 2 приведена схема модели туннельной печи по разрежению продуктов горения, которая состоит из пневматического сопротивления 3, эквивалентного сопротивлению 4, расположенного на входе продуктов горения в туннельную печь, емкости 5 (зон подготовки и обжига в туннельной печи, отмеченных на рисунке 1) и регулирующего клапана 6, расположенного на выходе продуктов горения из туннельной печи по разрежению. Пневматическими сопротивлениями 4 (рисунок 2) моделируются форсунки, через которые подается природный газ и воздух на горение в отопительную систему 4 (рисунок 1).



**Рис. 2.** Схема модели туннельной печи по разрежению продуктов горения

Динамику устройства, состоящего из емкости, пневматического сопротивления и регулирующего клапана (рисунок 2) представим в следующем виде

$$V_2 \frac{dp}{dt} = G_1 - G_2, \quad (1)$$

где  $V_2$  - объем продуктов горения в емкости 5 (зонах подготовки и обжига туннельной печи),  $m^3$ ;  $\rho$  - плотность продуктов горения в емкости 5,  $kg/m^3$ ;  $t$  - время, с;  $G_1$  и  $G_2$  - массовый расход продуктов горения в емкость 5 и из этой емкости,  $kg/s$ .

Для газовых сред известно [8] уравнение  $P/\rho = RT$ . Если взять производные в этом уравнении по давлению и плотности среды, тогда  $dP_2 = RTd\rho$  или  $dP_2/dt = RT d\rho/dt$ . Подставив это выражение в уравнение (1), получим

$$\frac{V_2}{RT} \frac{dP_2}{dt} = G_1 - G_2. \quad (2)$$

Скорость движения продуктов горения из туннельной печи через клапан 6 (рисунок 2) принимаем докритической. При докритическом течении газа массовый расход через регулирующий клапан  $G_2$  определяется по формуле [9]

$$G_2 = \mu_2 F_2 K_a \sqrt{\frac{P_2(P_2 - P_3)}{RT}}, \quad (3)$$

где  $\mu_2$  – коэффициент, характеризующий расход продуктов горения через регулирующий клапан;  $F_2$  – площадь сечения регулирующего клапана, через которое проходят продукты горения, м<sup>2</sup>;  $K_a$  – коэффициент, определяемый по коэффициенту адиабаты продуктов горения [8];  $P_2, P_3$  – давление продуктов горения в емкости 5 и после регулирующего клапана 6, Па.

Для определения расхода продуктов горения через одно из пневматических сопротивлений 4 (форсунку для прохождения природного газа и воздуха) используем формулу для определения расхода газа через щели [10], которая применительно к обозначениям на рисунке 2 принимает вид

$$Q_\phi = \phi \frac{\pi d_\phi^2}{4} \sqrt{\frac{2}{\rho_2} (P - P_2)},$$

где  $Q_\phi$  – объемный расход продуктов горения через одно пневматическое сопротивление 4, м<sup>3</sup>/с;  $d_\phi$  – диаметр пневматического сопротивления, м;  $P$  и  $P_2$  – давление продуктов горения, Па;  $\rho_2$  – плотность продуктов горения, протекающих через пневматическое сопротивление, кг/м<sup>3</sup>;  $\phi$  – коэффициент расхода продуктов горения через пневматическое сопротивление (принимается  $\phi = 0,75$ ).

Массовый расход продуктов горения через одну форсунку  $G_\phi$ , кг/с, определяется выражением  $G_\phi = Q_\phi \cdot \rho_2$ , тогда  $G_\phi = \phi \frac{\pi d_\phi^2}{4} \sqrt{2\rho_2 \cdot (P - P_2)}$ .

Так как продукты горения проходят через несколько параллельных форсунок  $n$  (параллельно соединенных дросселей 4), тогда расход продуктов горения  $G_1$ , м<sup>3</sup>/с

$$G_1 = n \cdot \phi \frac{\pi d_\phi^2}{4} \sqrt{2\rho_2 \cdot (P - P_2)} \quad \text{или} \quad G_1 = \phi \cdot F_2 \cdot \sqrt{2\rho_2 \cdot (P - P_2)}, \quad (4)$$

где  $F_2 = n \cdot \pi d_\phi^2 / 4$  – площадь проходного сечения обобщенного пневматического сопротивления всех параллельно расположенных форсунок, через которые проходит природный газ и воздух.

Подставив соотношения (3) и (4) в уравнение (2), получим

$$\frac{V_2}{RT} \frac{dP_2}{dt} = \phi \cdot F_1 \cdot \sqrt{2\rho_2 \cdot (P - P_2)} - \mu_2 F_2 K_a \sqrt{\frac{P_2(P_2 - P_3)}{RT}}. \quad (5)$$

Уравнение (5) является нелинейным и его необходимо линеаризовать. Принимая в качестве переменных величин в уравнении (5)  $F_1, F_2, P, P_2$  и  $P_3$ , установившиеся значения этих переменных величин принимают вид:

$$F_1 \rightarrow F_{10}; F_2 \rightarrow F_{20}; P_2 \rightarrow P_{20}; P \rightarrow P_0; P_3 \rightarrow P_{30}. \quad (6)$$

Переменные величины, выраженные через установившиеся значения и приращения, имеют вид:

$$F_1 = F_{10} + \Delta F_1; F_2 = F_{20} + \Delta F_2; P = P_0 + \Delta P; P_2 = P_{20} + \Delta P_2; P_3 = P_{30} + \Delta P_3. \quad (7)$$

Обозначим правую часть соотношения (5) как функцию  $M(F_1, F_2, P, P_2, P_3 \dots)$  и разложим ее в ряд Тейлора, не учитывая при этом производные второго и выше порядков, по переменным  $F_1, F_2, P, P_2$  и  $P_3$ :

$$\begin{aligned} M(F_1, F_2, P, P_2, P_3) = & M(F_{10}, F_{20}, P_0, P_{20}, P_{30}) + \left( \frac{\partial M}{\partial F_1} \right)_0 \Delta F_1 + \\ & + \left( \frac{\partial M}{\partial F_2} \right)_0 \Delta F_2 + \left( \frac{\partial M}{\partial P} \right)_0 \Delta P + \left( \frac{\partial M}{\partial P_2} \right)_0 \Delta P_2 + \left( \frac{\partial M}{\partial P_3} \right)_0 \Delta P_3. \end{aligned} \quad (8)$$

Выполним запись правой части формулы (5) согласно соотношению (8).

$$\begin{aligned} \frac{V_2}{RT} \frac{dP_2}{dt} = & \left( \varphi \cdot F_1 \cdot \sqrt{2\rho_z \cdot (P - P_2)} \right)_0 + \left( \frac{\partial [\varphi \cdot F_1 \cdot \sqrt{2\rho_z \cdot (P - P_2)}]}{\partial F_1} \right)_0 \Delta F_1 + \\ & + \left( \frac{\partial [\varphi \cdot F_1 \cdot \sqrt{2\rho_z \cdot (P - P_2)}]}{\partial P} \right)_0 \Delta P + \left( \frac{\partial [\varphi \cdot F_1 \cdot \sqrt{2\rho_z \cdot (P - P_2)}]}{\partial P_2} \right)_0 \Delta P_2 - \\ & - \left( \mu_2 F_2 K_a \sqrt{\frac{P_2(P_2 - P_3)}{RT}} \right)_0 - \left( \frac{\partial [\mu_2 F_2 K_a \sqrt{\frac{P_2(P_2 - P_3)}{RT}}]}{\partial F_2} \right)_0 \Delta F_2 - \\ & - \left( \frac{\partial [\mu_2 F_2 K_a \sqrt{\frac{P_2(P_2 - P_3)}{RT}}]}{\partial P_2} \right)_0 \Delta P_2 - \left( \frac{\partial [\mu_2 F_2 K_a \sqrt{\frac{P_2(P_2 - P_3)}{RT}}]}{\partial P_3} \right)_0 \Delta P_3. \end{aligned} \quad (9)$$

В соотношении (9) вначале берутся производные, а потом вместо переменных параметров осуществляется подстановка их установившихся значений из выражений (6).

$$\begin{aligned} \frac{V_2}{RT} \frac{dP_2}{dt} = & \varphi \cdot F_{10} \cdot \sqrt{2\rho_z \cdot (P_0 - P_{20})} + \varphi \cdot \sqrt{2\rho_z \cdot (P_0 - P_{20})} \Delta F_1 + \\ & + \varphi \cdot F_{10} \cdot \frac{\rho_z}{\sqrt{2\rho_z \cdot (P_0 - P_{20})}} \Delta P + \varphi \cdot F_{10} \cdot \frac{-\rho_z}{\sqrt{2\rho_z \cdot (P_0 - P_{20})}} \Delta P_2 - \\ & - \mu_2 F_{20} K_a \sqrt{\frac{P_{20}(P_{20} - P_{30})}{RT}} - \mu_2 K_a \sqrt{\frac{P_{20}(P_{20} - P_{30})}{RT}} \Delta F_2 - \end{aligned}$$

$$-\mu_2 F_{20} K_a \frac{(2P_{20} - P_{30})}{2RT \sqrt{\frac{P_{20}(P_{20} - P_{30})}{RT}}} \Delta P_2 + \mu_2 F_{20} K_a \frac{P_{20}}{2RT \sqrt{\frac{P_{20}(P_{20} - P_{30})}{RT}}} \Delta P_3. \quad (10)$$

Рассматривая установившееся движение продуктов горения из туннельной печи, уравнение (5) принимает вид при значениях соотношений (6)

$$\frac{V_2}{RT} \frac{dP_{20}}{dt} = \varphi \cdot F_{10} \cdot \sqrt{2\rho_2 \cdot (P_0 - P_{20})} - \mu_2 F_{20} K_a \sqrt{\frac{P_{20}(P_{20} - P_{30})}{RT}} = 0. \quad (11)$$

Выражение (11) равно нулю, так как производная от постоянной величины  $dP_{20}/dt$  равна нулю. Уравнение (11) определяет установившийся расход продуктов горения через оба сужающих устройства, приведенного на рисунке 2, а именно

$$G_0 = \varphi \cdot F_{10} \cdot \sqrt{2\rho_2 \cdot (P_0 - P_{20})} = \mu_2 F_{20} K_a \sqrt{\frac{P_{20}(P_{20} - P_{30})}{RT}}. \quad (12)$$

Из уравнения (10) вычитаем уравнение (11), делим обе части полученного выражения на установившийся расход  $G_0$  и в результате получим

$$\begin{aligned} \frac{V_2}{G_0 RT} \frac{dP_2}{dt} = & \frac{\Delta F_1}{F_{10}} + \frac{1}{2 \cdot (P_0 - P_{20})} \Delta P - \frac{1}{2 \cdot (P_0 - P_{20})} \Delta P_2 - \frac{\Delta F_2}{F_{20}} - \\ & - \frac{(2P_{20} - P_{30})}{2P_{20}(P_{20} - P_{30})} \Delta P_2 + \frac{P_{20}}{2P_{20}(P_{20} - P_{30})} \Delta P_3. \end{aligned} \quad (13)$$

После упрощения (13) получим

$$\begin{aligned} \frac{V_2}{G_0 RT} \frac{dP_2}{dt} = & \frac{\Delta F_1}{F_{10}} + \frac{1}{2 \cdot (P_0 - P_{20})} \Delta P - \frac{\Delta F_2}{F_{20}} - \frac{1}{2} \left[ \frac{P_{20}(P_0 - P_{20}) + P_{30}P_0}{(P_0 - P_{20})P_{20}(P_{20} - P_{30})} \right] \Delta P_2 \\ & + \frac{P_{20}}{2P_{20}(P_{20} - P_{30})} \Delta P_3 \\ \text{или} \quad & \frac{V_2}{G_0 RT} \frac{dP_2}{dt} + \frac{P_{20}(P_0 - P_{20}) + P_{30}P_0}{2(P_0 - P_{20})P_{20}(P_{20} - P_{30})} \Delta P_2 = \frac{\Delta F_1}{F_{10}} - \frac{\Delta F_2}{F_{20}} + \\ & + \frac{1}{2 \cdot (P_0 - P_{20})} \Delta P + \frac{P_{20}}{2P_{20}(P_{20} - P_{30})} \Delta P_3. \end{aligned} \quad (14)$$

Уравнение (14) перепишем таким образом, чтобы в нём присутствовали отношения  $\Delta P/P_0$ ;  $\Delta P_2/P_{20}$  и  $\Delta P_3/P_{30}$

$$\begin{aligned} \frac{V_2 \cdot P_{20}}{G_0 RT} \frac{d\left(\frac{\Delta P_2}{P_{20}}\right)}{dt} + \frac{P_{20}(P_0 - P_{20}) + P_{30}P_0}{2(P_0 - P_{20})(P_{20} - P_{30})} \frac{\Delta P_2}{P_{20}} = & \frac{\Delta F_1}{F_{10}} - \frac{\Delta F_2}{F_{20}} + \\ & + \frac{P_0}{2 \cdot (P_0 - P_{20})} \frac{\Delta P}{P_0} + \frac{P_{20}P_{30}}{2P_{20}(P_{20} - P_{30})} \frac{\Delta P_3}{P_{30}}. \end{aligned} \quad (15)$$

Вводим обозначения:  $\frac{V_2 P_{20}}{G_0 RT} = T_b$ ;  $\frac{\Delta P}{P_0} = x(t)$ ;  $\frac{\Delta F_1}{F_{10}} = b(t)$ ;  $\frac{\Delta P_2}{P_{20}} = y(t)$ ;

$$\frac{\Delta F_2}{F_{20}} = m(t); \quad \frac{\Delta P_3}{P_{30}} = n(t); \quad \frac{P_{20}(P_0 - P_{20}) + P_{30}P_0}{2(P_0 - P_{20})(P_{20} - P_{30})} = \kappa_1;$$

$$\frac{P_0}{2 \cdot (P_0 - P_{20})} = \kappa_2; \quad \frac{P_{20}P_{30}}{2P_{20}(P_{20} - P_{30})} = \kappa_3. \quad (16)$$

Уравнение (15) с учетом соотношений (16) принимает вид

$$T_b \frac{dy}{dt} + k_4 y(t) = b(t) - m(t) + k_5 x(t) + k_6 n(t). \quad (17)$$

Если выражение (17) преобразовать по Лапласу, тогда

$$(T_b s + k_1) y(s) = b(s) - m(s) + k_2 x(s) + k_3 n(s), \quad (18)$$

где s-оператор Лапласа.

Структурная схема модели туннельной печи по разрежению продуктов горения, состоящая из обобщенного пневматического сопротивления, расположенного на входе продуктов горения в туннельную печь, емкости и регулирующего клапана, расположенного на выходе продуктов горения из туннельной печи, построенная по выражению (18), представлена на рисунке 3.

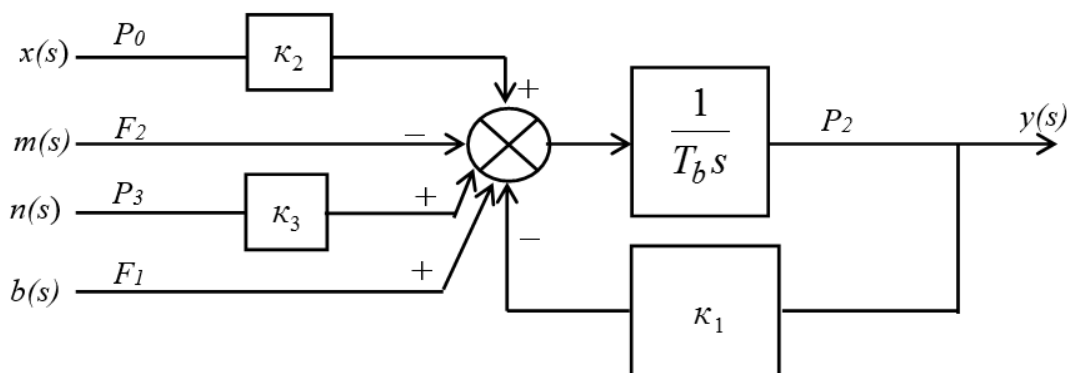


Рис. 3. Структурная схема модели туннельной печи по разрежению продуктов горения

По каждому входному параметру в соответствии со структурной схемой (рисунок 3) можно определить передаточную функцию. Например, передаточная функция изменения разрежения  $P_2$  в туннельной печи по отношению к площади проходного сечения регулирующего клапана, изменяющего отвод продуктов горения из туннельной печи в атмосферу, имеет вид  $W_{P_2/F_1}(s) = y(s)/m(s) = 1/(T_b s + k_1)$ .

Таким образом, установлены теоретические положения применительно к туннельной печи для обжига керамических изделий как объекту автоматического управления по разрежению продуктов горения. Составлено дифференциальное уравнение, устанавливающее взаимосвязь между разрежением продуктов горения природного газа в туннельной печи для обжига керамических изделий и массовым расходом и давлением продуктов горения, поступающих в туннельную печь на горение, расходом и давлением продуктов горения топлива, выходящих через регулирующий орган из туннельной печи. Это дифференциальное уравнение нелинейное, поэтому проведена линеаризация его и установлены формульные выражения для его постоянных времени и коэффициентов.

Выполнено преобразование дифференциального уравнения к операторному виду и выделены типовые динамические звенья. На основе установленных типовых динамических



звенья, составлена структурная схема туннельной печи для обжига керамических изделий как объекту автоматического управления по разрежению продуктов горения природного газа.

Полученное дифференциальное уравнение и формулы для вычисления коэффициентов уравнения, позволяют разрабатывать и эксплуатировать цифровые системы автоматического управления туннельной печью для обжига керамических изделий как объектом автоматического управления по разрежению продуктов горения.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Лапин Ю. А., Дуденкова Г. Я., Гудков Ю. В., Шельганова Р. Н. Туннельная печь-сушилка: пат. №2187771 Российская Федерация. 2002. Бюл. № 12. 2 с.
2. Жежера Н. И. Развитие теории и совершенствование автоматизированных систем испытаний изделий на герметичность: специальность: 05.13.06 дис. д-ра техн. наук /Оренбургский государственный университет. Оренбург, 2004. 441 с.
3. Жежера Н. И., Самойлов Н. Г. Реактор производства сорбента из углеродного остатка пиролиза изношенных шин как объект автоматического управления по давлению и температуре газов // Интернет-журнал «Наукоеведение», 2013 №1 (14) [Электронный ресурс] - М.: Наукоеведение, 2013. - Режим доступа: <http://naukovedenie.ru/PDF/04tvn113.pdf>, свободный. – Загл. с экрана. - Яз. рус., англ.
4. Жежера Н. И., Тямкин С. А., Сайденкова Г. А. Математическое описание реактора пиролиза изношенных шин как объекта автоматического управления по давлению газов // Автоматизация и современные технологии. - М.: 2010. №12. С. 33-36.
5. Жежера Н. И., Самойлов Н. Г. Автоматизация производства сорбента из углеродного остатка пиролиза изношенных шин при периодических изменениях давления водяного пара в реакторе // Интернет-журнал «Наукоеведение», 2013 №2 (15) [Электронный ресурс] - М.: Наукоеведение, 2013. - Режим доступа: <http://naukovedenie.ru/PDF/01tvn213.pdf>, свободный. – Загл. с экрана. - Яз. рус., англ.
6. Жежера Н. И. Установка разделения нефтеводогазовой смеси на компоненты как объект управления по уровню жидкости // Интернет-журнал «Наукоеведение», 2014 №2 (21) [Электронный ресурс] - М.: Наукоеведение, 2014. - Режим доступа: <http://naukovedenie.ru/PDF/31TVN214.pdf>, свободный. – Загл. с экрана. - Яз. рус., англ.
7. Жежера Н. И. Установка разделения нефтеводогазовой смеси на компоненты как объект управления по давлению газа // Интернет-журнал «Наукоеведение», 2014 №2 (21) [Электронный ресурс]-М.: Наукоеведение, 2014. - Режим доступа: <http://naukovedenie.ru/PDF/32TVN214.pdf>, свободный. – Загл. с экрана. - Яз. рус., англ.
8. Емцев Б. Т. Техническая гидромеханика: учебник для вузов. 2-е изд. перераб. и доп. М.: Машиностроение, 1987. 440 с.
9. Иващенко Н. Н. Автоматическое регулирование. Теория и элементы систем: учеб. пособие для вузов. 4-е изд перераб. и доп. М.: Машиностроение, 1978. 736 с.
10. Нагорный В. С., Денисов А. А. Устройства автоматики гидро- и пневмосистем. М. : Высшая школа, 1991. 367 с.

**Рецензент:** Султанов Наиль Закиевич, заведующий кафедрой систем автоматизации производства Аэрокосмического института ФГБОУ Оренбургский государственный университет, доктор технических наук.

**Zhezhera Nikolay Illarionovich**

Orenburg State University  
Russia, Orenburg  
E-mail: [nik-gegera@mail.ru](mailto:nik-gegera@mail.ru)

**Sabancin Vener Salimov**

Orenburg State University  
Russia, Orenburg  
E-mail: [vener\\_1991@mail.ru](mailto:vener_1991@mail.ru)

## **Tunnel Furnace for sintering of ceramics as an automatic control to avoid combustion products**

**Abstract.** The article concludes theoretical positions in relation to a tunnel kiln for firing ceramic products as an object of automatic control of the pressure of combustion products. Differential equation, which establishes the relationship between the pressure of the products of combustion of natural gas in a tunnel kiln for firing ceramic products and mass flow and pressure of combustion products flowing in a tunnel furnace for combustion, flow and pressure products of combustion escaping from the regulatory authority of the tunnel kiln. This differential equation is nonlinear, so held linearization and his established formula expression for its time constants and coefficients.

Completed conversion of differential equations by operator type and the selected model dynamic links. Based on the established model of dynamic links, a block diagram of a tunnel kiln for firing ceramic products as an object of automatic control of the pressure of combustion products of natural gas.

The differential equation and the formula for calculating the coefficients of the equation, you will develop and operate digital automatic control system for tunnel kiln for firing ceramic products as an object of automatic control of the pressure of combustion products.

**Keywords:** natural gas; combustion products; tunnel oven; ceramic products; pressure; flow rate; typical dynamic links; differential equation; the control object; linearization; structural scheme.

## REFERENCES

1. Lapin Yu. A., Dudenkova G. Ya., Gudkov Yu. V., Shelyganova R. N. Tunnel'naya pech'-sushilka: pat. №2187771 Rossiyskaya Federatsiya. 2002. Byul. № 12. 2 s.
2. Zhezhera N. I. Razvitie teorii i sovershenstvovanie avtomatizirovannykh sistem ispytaniy izdeliy na germetichnost': spetsial'nost': 05.13.06 dis. d-ra tekhn. nauk /Orenburgskiy gosudarstvennyy universitet. Orenburg, 2004. 441 s.
3. Zhezhera N. I., Samoylov N. G. Reaktor proizvodstva sorbenta iz uglerodnogo ostatka piroliza iznoshennykh shin kak ob"ekt avtomaticheskogo upravleniya po davleniyu i temperature gazov // Internet-zhurnal «Naukovedenie», 2013 №1 (14) [Elektronnyy resurs] - M.: Naukovedenie, 2013. - Rezhim dostupa: <http://naukovedenie.ru/PDF/04tvn113.pdf>, svobodnyy. – Zagl. s ekrana. - Yaz. rus., angl.
4. Zhezhera N. I., Tyamkin S. A., Saydenova G. A. Matematicheskoe opisanie reaktora piroliza iznoshennykh shin kak ob"ekta avtomaticheskogo upravleniya po davleniyu gazov // Avtomatizatsiya i sovremennye tekhnologii. - M.: 2010. №12. S. 33-36.
5. Zhezhera N. I., Samoylov N. G. Avtomatizatsiya proizvodstva sorbenta iz uglerodnogo ostatka piroliza iznoshennykh shin pri periodicheskikh izmeneniyakh davleniya vodyanogo para v reaktore // Internet-zhurnal «Naukovedenie», 2013 №2 (15) [Elektronnyy resurs] - M.: Naukovedenie, 2013. - Rezhim dostupa: <http://naukovedenie.ru/PDF/01tvn213.pdf>, svobodnyy. – Zagl. s ekrana. - Yaz. rus., angl.
6. Zhezhera N. I. Ustanovka razdeleniya neftevodogazovoy smesi na komponenty kak ob"ekt upravleniya po urovnyu zhidkosti // Internet-zhurnal «Naukovedenie», 2014 №2 (21) [Elektronnyy resurs] - M.: Naukovedenie, 2014. - Rezhim dostupa: <http://naukovedenie.ru/PDF/31TVN214.pdf>, svobodnyy. – Zagl. s ekrana. - Yaz. rus., angl.
7. Zhezhera N. I. Ustanovka razdeleniya neftevodogazovoy smesi na komponenty kak ob"ekt upravleniya po davleniyu gaza // Internet-zhurnal «Naukovedenie», 2014 №2 (21) [Elektronnyy resurs]-M.: Naukovedenie, 2014. - Rezhim dostupa: <http://naukovedenie.ru/PDF/32TVN214.pdf>, svobodnyy. – Zagl. s ekrana. - Yaz. rus., angl.
8. Emtsev B. T. Tekhnicheskaya gidromekhanika: uchebnyy dlya vuzov. 2-e izd. pererab. i dop. M.: Mashinostroenie, 1987. 440 s.
9. Ivashchenko N. N. Avtomaticheskoe regulirovanie. Teoriya i elementy sistem: ucheb. posobie dlya vuzov. 4-e izd pererab. i dop. M.: Mashinostroenie, 1978. 736 s.
10. Nagornyy V. S., Denisov A. A. Ustroystva avtomatiki gidro- i pnevmosistem. M. : Vysshaya shkola, 1991. 367 s.