

УДК 681.51/.54

Ульшин В. А., Горбунов А. И.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА ПРИГОТОВЛЕНИЯ СМЕСИ КОМПОНЕНТОВ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ КЕРАМИЧЕСКОГО КИРПИЧА КАК ОБЪЕКТА АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ

Исследованиями процессов изготовления облицовочного и силикатного кирпича, тротуарной плитки, керамического кирпича и стеновых блоков установлено, что декомпозиция любого из этих технологических процессов позволяет выделить четыре основные самостоятельные технологические операции, отличающиеся используемыми материалами, химико-физическими составами рабочих смесей, способом прессования изделий и видом термообработки [1]. На рис. 1 приведен обобщенный технологический процесс изготовления мелкоштучных строительных изделий, содержащий четыре функционально самостоятельные технологические операции, каждая из которых при изготовлении любого вида изделий выполняет одну и ту же функцию, но с различными материалами и при отличающихся технологических параметрах.

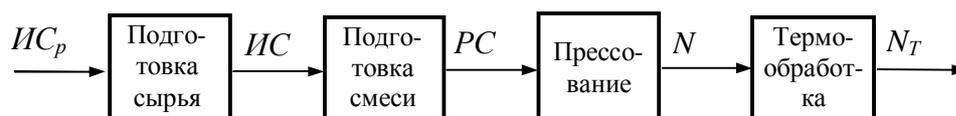


Рис. 1. Последовательность основных технологических операций в обобщенном технологическом процессе по изготовлению мелкоштучных строительных изделий:

$ИС_p$ – рядовое исходное сырье; $ИС$ – подготовленное исходное сырье; $РС$ – рабочая смесь; N – отпрессованные изделия; N_T – термообработанные изделия

В качестве примера рассмотрено производство керамического кирпича, структура оборудования которого приведена на рис. 2.

Качество керамического кирпича зависит от влажности приготовленной смеси, соотношения компонентов, процесса прессования и термообработки [2]. Одним из определяющих качество изделий параметром является влажность подготовленной смеси компонентов, поэтому ниже приводятся результаты исследований этого процесса. Подготовка смеси включает два процесса: дозирование компонентов и собственно приготовление смеси. Дозирующие устройства должны обеспечивать заданное доленое участие каждого из компонентов в смеси, а приготовленная смесь компонентов должна иметь необходимую влажность. Ручное управление этими процессами не может обеспечить необходимую точность указанных показателей, что приводит к снижению качества кирпича.

Целью статьи является разработка метода автоматического управления процессом приготовления смеси компонентов при производстве керамического кирпича и его динамических свойств как объекта автоматического управления.

Анализ литературных источников по проблеме дозирования и смешивания исходных материалов при производстве мелкоштучных строительных изделий [3–5], а также в других отраслях [6] показал, что большинство работ посвящено технологическим аспектам исследования этих процессов. Вопросам автоматизации подготовки смеси заданной влажности уделяется недостаточно внимания. В частности, отсутствуют исследования по разработке принципов автоматического управления, обеспечивающих заданную влажность смеси, недостаточно исследованы динамические свойства и методы синтеза таких систем, обеспечивающих требуемые показатели качества функционирования [7].

Принцип автоматического управления. На рис. 3 приведена функциональная схема системы автоматического управления влажностью смеси, при котором устанавливается суммарное задание производительности установки, задания коэффициентов долевого участия компонентов в смеси и задание влажности смеси, которую необходимо поддерживать по требованиям технологии.

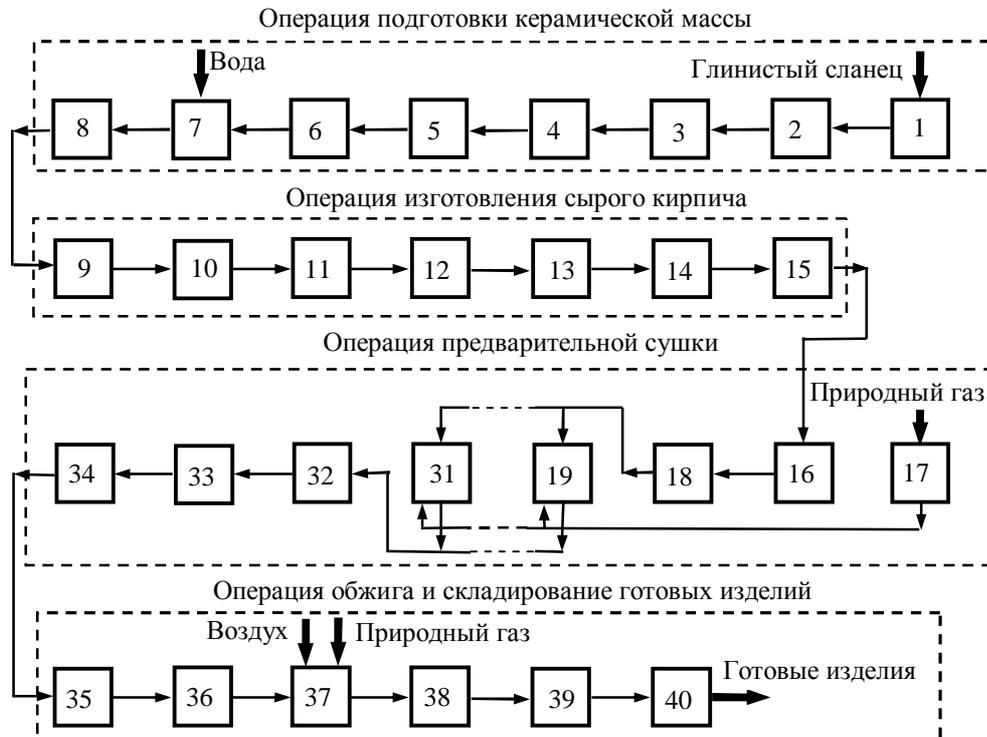


Рис. 2. Структура технологического оборудования для производства керамического кирпича на ООО СП «Цегельний завод», г. Зимогорье:

1 – питатель приемного бункера; 2 – ленточный конвейер; 3 – камневыделительные вальцы; 4 – валковая дробилка; 5 – конвейер; 6 – питатель бункера измельченной глины; 7 – глиномешальная машина; 8 – устройство подачи глины в пресс; 9 – пресс пластического формования; 10 – роликовый конвейер; 11 – узел порезки мерного бруса; 12 – конвейер; 13 – узел струнной порезки мерного бруса; 14 – автомат-укладчик сырого кирпича; 15 – поворотный круг; 16 – транспортная тележка; 17 – калорифер; 18 – передвижной винтовой толкатель; 19–31 – противоточные туннельные сушилки; 32 – транспортная тележка; 33 – ленточный конвейер; 34 – узел погрузки на вагонетки; 35 – поворотный круг; 36 – винтовой толкатель; 37 – обжигочная печь; 38 – транспортная платформа; 39 – узел разгрузки вагонеток; 40 – склад готовой продукции

Задачей системы автоматического управления подготовкой многокомпонентной смеси при производстве керамического кирпича является обеспечение заданной влажности w^* смеси на выходе смесителя при заданном соотношении k_i^* ($i = 1, 2, \dots, n$) сыпучих компонентов (n – количество смешиваемых материалов). При этом следует рассматривать общий случай многокомпонентной смеси, содержащей n исходных материалов.

Реализация взаимодействия датчиков соотношений компонентов смеси выполнена путем задания общего расхода устройству формирования заданий всем дозаторам, выходы которого управляют датчиками всех дозаторов.

Задания отдельным дозаторам выдается автоматически с выхода устройства расчета установок: $Q_i^* = Q^* \cdot k_i^*$, где Q^* – суммарная заданная производительность дозаторов; Q_i – заданная производительность i -го дозатора. При этом вводятся коэффициенты соотношений k_i^* производительностей каждого дозатора относительно суммарной производительности Q всех дозаторов. Тогда $Q = Q^* = \sum_{i=1}^n k_i^* \cdot Q_i^*$, $\sum_{i=1}^n k_i^* = 1$.

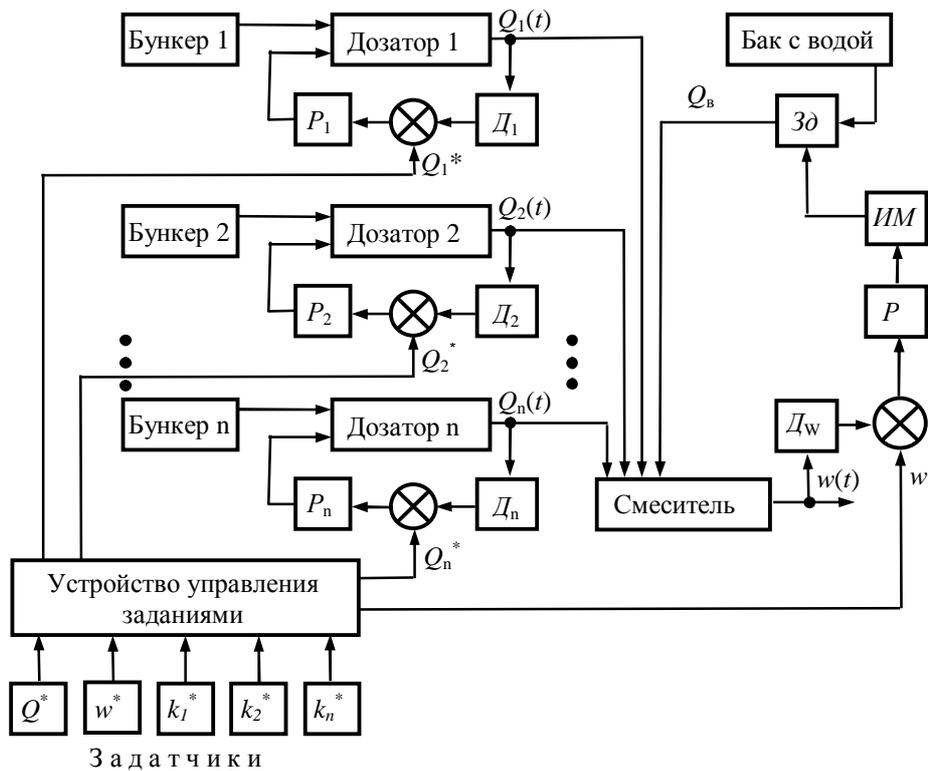


Рис. 3. Функциональная схема системы автоматического управления подготовкой многокомпонентной смеси заданной влажности:

D_1-D_n – датчики производительности дозаторов; P_1-P_n – регуляторы производительности дозаторов; P – регулятор влажности смеси; $ИМ$ – исполнительный механизм дозирования воды в смеситель; w – датчик влажности; $Зд$ – задвижка воды

Вычислительное устройство должно функционировать в соответствии со следующими равенствами: $Q_i^* = k_i^* Q$, $\sum_{i=1}^n k_i^* = 1$. Тогда суммарная производительность установки по компонентам:

$$Q = \sum_{i=1}^n Q_i^* = \sum_{i=1}^n k_i^* \cdot Q = Q \cdot \sum_{i=1}^n k_i^* = Q.$$

Модель динамики. Обобщенная модель процесса непрерывного дозирования как объекта автоматического управления может быть представлена уравнением:

$$Q_i(t) = L\{U_i(t), F_i(t), X_i(t)\},$$

где $Q_i(t)$ – производительность i -го дозатора ($i=1, 2, \dots, n$); L – оператор преобразования; $F_i(t)$ – вектор возмущающих воздействий i -го дозатора; $X_i(t)$ – вектор фазовых координат i -го дозатора; n – количество дозаторов.

Вектор возмущающих воздействий:

$$F_i(t) = \{w_{um}(t), d_{um}(t), r_{um}(t)\}, m = 1, 2, \dots, l,$$

где $w_{um}(t)$ – влажность исходного m -го компонента; l – количество компонентов в смеси; $d_{um}(t)$ – гранулометрический состав m -го компонента; $r_{um}(t)$ – фракционный состав m -го компонента.

При использовании в качестве дозатора ленточного питателя, на платформу которого из бункера поступает материал через регулируемый проем отверстия, управляющее воздействие представляет собой изменение сечение проема отверстия, размер которого определяется положением h шибера. Исполнительный механизм входит в состав объекта управления. Для этого обычно используют электродвигатель постоянного или переменного тока с винтовой парой, которая перемещает шибера, изменяя сечение выпускного проема отверстия (окна). Учитывая, что электромеханическая постоянная времени электродвигателя значительно больше электромагнитной постоянной, последнюю можно не учитывать. Тогда передаточная функция этого звена представляет собой последовательно включенные аperiodическое звено первого порядка и интегрирующее звено:

$$W_{um}(s) = \frac{L\{j(t)\}}{L\{u_p(t)\}} = \frac{k_{um}}{s(T_{um}s + 1)}, \quad (1)$$

где L – символ преобразования Лапласа; $\{j(t)\}$ – выходная координата – угол поворота винта, приводимого в действие электродвигателем; $u_p(t)$ – входной сигнал – управляющий сигнал с выхода регулятора (электрическое напряжение); k_{um} – коэффициент усиления, T_{um} – постоянная времени ИМ.

Передаточную функцию шибера можно аппроксимировать безинерционным звеном:

$$W_{ui}(s) = \frac{L\{h(t)\}}{L\{j(t)\}} = k_{ui}, \quad (2)$$

где $h(t)$ – перемещение шибера, k_{ui} – коэффициент передачи (усиления).

Передаточная функция ленточного питателя:

$$W_{ln}(s) = \frac{L\{Q(t-t)\}}{L\{h(t)\}} = k_{ln} \cdot e^{-ts}, \quad (3)$$

где $t = \frac{l_{ln}}{v_l}$ – время транспортного запаздывания при движении материала от точки загрузки до точки взвешивания; l_{ln} – длина транспортирования материала по ленте; v_l – скорость движения ленты.

В качестве датчика веса используются устройства с тензометрическим элементом, поэтому передаточная функция датчика – безинерционное звено:

$$W(s) = \frac{L\{u_d(t)\}}{L\{Q(t)\}} = k_d, \quad (4)$$

где $u_d(t)$ – электрическое напряжение на выходе датчика веса; k_d – коэффициент усиления.

Передаточная функция разомкнутой системы:

$$W_p(s) = \frac{W\{u_d(t)\}}{W\{u_p(t)\}} = W_{um}(s) \cdot W_{ui}(s) \cdot W_{ln}(s) \cdot W_d(s) = \frac{k_{um} \cdot k_{ui} \cdot k_{ln} \cdot k_d}{s(Ts + 1)} e^{-ts} = \frac{k_o \cdot e^{-ts}}{s(Ts + 1)}, \quad (5)$$

где k_o – коэффициент передачи объекта управления.

Дифференциальное уравнение процесса непрерывного дозирования сухих компонентов имеет вид:

$$\frac{d^2 u_o(t-t)}{dt^2} + a_1 \frac{du_o(t-t)}{dt} = b u_p(t), \quad (6)$$

где $a_1 = \frac{1}{T}$, $b = \frac{k_o}{T}$.

Процесс приготовления смеси компонентов. Модель непрерывного смешивания компонентов смеси может быть представлена в обобщенном виде следующим образом:

$$w(t) = L\{U_c(t), F_c(t), X(t)\},$$

где $w(t)$ – влажность смеси компонентов; $U_c(t) = Q_c(t)$ – вектор управления – расход воды, подаваемой в смеситель для получения заданной влажности w^* ; $F_c(t)$ – вектор возмущений, представляющих собой изменения производительности дозаторов $\Delta Q_i(t)$ ($i = 1, 2, \dots, l$) компонентов, а также их влажность $w_i(t)$ ($i = 1, 2, \dots, l$). При стабилизации производительностей дозаторов эти возмущения не будут значительными, и наибольшее влияние на функционирование системы будут оказывать изменения влажности компонентов. Однако долевое участие компонентов в смеси может изменяться, поэтому в общем случае вектор возмущений может быть представлен в виде:

$$F_c(t) = \{Q_i(t), w_i(t), (i = 1, 2, \dots, l)\}.$$

В качестве исполнительного механизма используется электродвигатель, передаточная функция которого совпадает с (1). Коэффициент усиления и постоянная времени ИМ – $k_{имс}$ и $T_{имс}$. Задвижка является усилительным звеном с коэффициентом передачи k_3 .

Смеситель для непрерывного смешивания является наиболее сложным звеном объекта управления. Используя модель идеального вытеснения, передаточную функцию можно аппроксимировать аperiодическим звеном первого порядка с чистым запаздыванием:

$$W_c(s) = \frac{L\{w(t)\}}{L\{Q_c(t)\}} = \frac{k_c \exp(-t_c s)}{T_c s + 1}, \quad (7)$$

где k_c – коэффициент передачи; $t_c = \frac{l_c}{v_c}$ – время чистого запаздывания сигнала о влажности смеси; l_c – длина смесителя; v_c – средняя скорость прохождения материала в смесителе; $T_c = \frac{V_c}{Q_c}$ – постоянная времени смесителя; V_c – объем камеры смесителя; Q_c – суммарная производительность сухих компонентов на входе смесителя.

Из формулы (7) следует, что время чистого запаздывания и постоянная времени смесителя являются нестационарными, так как зависят от производительности установки. Скорость прохождения материала от места загрузки до выхода его из смесителя пропорциональна суммарной производительности по сухим компонентам, поэтому время запаздывания изменяется в обратной пропорции. В такой же пропорции изменяется и постоянная времени смесителя от суммарной производительности.

В качестве датчика влажности используются обычно влагомеры достаточно сложной конструкции, в которых происходит обработка информации в основном для получения оценки математического ожидания. Поэтому передаточная функция этого звена описывается аperiодическим звеном первого порядка с коэффициентом усиления $k_{об}$ и постоянной времени $T_{об}$:

$$W_{\partial\theta}(s) = \frac{k_{\partial\theta}}{T_{\partial\theta}s + 1}. \quad (8)$$

Передаточная функция объекта управления с исполнительным механизмом и датчиком влажности смеси имеет вид:

$$W_c(s) = \frac{L\{u_{\text{вл}}(t)\}}{L\{u_p(t)\}} = \frac{k_{\text{умс}} \cdot k_z \cdot k_c \cdot k_{\partial\theta} \cdot \exp(-t_c s)}{s(T_{\text{умс}}s + 1)(T_c s + 1)(T_{\partial\theta} s + 1)} =$$

$$= \frac{k_{oc} \cdot \exp(-t_c s)}{s[T_{\text{умс}}T_c T_{\partial\theta} s^3 + (T_{\text{умс}}T_c + T_c T_{\partial\theta} + T_{\text{умс}}T_{\partial\theta})s^2 + (T_{\text{умс}} + T_c + T_{\partial\theta})s + 1]}, \quad (9)$$

где k_{oc} – коэффициент передачи объекта управления.

Дифференциальное уравнение процесса непрерывного приготовления смеси как объекта автоматического управления

$$\frac{d^4 u_{\text{вл}}(t - t_c)}{dt^4} + a_{3c} \frac{d^3 u_{\text{вл}}(t - t_c)}{dt^3} + a_{2c} \frac{d^2 u_{\text{вл}}(t - t_c)}{dt^2} + a_{1c} \frac{du_{\text{вл}}(t - t_c)}{dt} = b_c u_p(t), \quad (10)$$

$$\text{где } a_{1c} = \frac{1}{T_{\text{умс}}T_c T_{\partial\theta}}, a_{2c} = \frac{T_{\text{умс}} + T_c + T_{\partial\theta}}{T_{\text{умс}}T_c T_{\partial\theta}}, a_{3c} = \frac{T_{\text{умс}}T_c + T_{\text{умс}}T_{\partial\theta} + T_c T_{\partial\theta}}{T_{\text{умс}}T_c T_{\partial\theta}}, b_c = \frac{k_{oc}}{T_{\text{умс}}T_c T_{\partial\theta}}.$$

ВЫВОДЫ

1. Предложен принцип автоматического управления процессом непрерывного приготовления многокомпонентной смеси заданной влажности, в соответствии с которым управляющее устройство получает задание на требуемое количество, влажность готовой смеси, коэффициенты долевого участия сухих компонентов и автоматически регулирует подачу воды в смеситель.

2. Разработана математическая модель процесса непрерывного дозирования с нечеткой входной информацией и транспортным запаздыванием, учитывающая воздействие на процесс многофакторных стохастических возмущений и описывающая его дифференциальным уравнением второго порядка.

3. Процесс непрерывного смешивания компонентов описывается дифференциальным уравнением четвертого порядка с нестационарными параметрами, нечеткой входной информацией, большим запаздыванием информации о влажности смеси на выходе смесителя.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ульшин В. А. Анализ производства мелкоштучных строительных изделий с целью разработки концепции системной автоматизации / В. А. Ульшин, А. И. Горбунов // Вісник СНУ ім. В. Даля. – № 9 (127). – 2008. – С. 201–209.
2. Горбунов А. И. Анализ технологических процессов производства керамического кирпича как объектов автоматизации / А. И. Горбунов, В. А. Ульшин // Вісник СНУ ім. В. Даля. – 2008. – № 5 (123). – Часть 2. – С. 131–139.
3. Видинеев Ю. Д. Дозаторы непрерывного действия / Ю. Д. Видинеев. – М. : Энергия, 1978. – 184 с.
4. Яковис Л. М. Многокомпонентные смеси для строительства : расчетные методы оптимизации состава / Л. М. Яковис. – Л. : Стройиздат. Ленингр. отд-ние, 1988. – 296 с.
5. Макаров Ю. И. Аппараты для смешивания сыпучих материалов / Ю. И. Макаров. – М. : Машиностроение, 1973. – 216 с.
6. Дозирование литейных материалов [Врублевский В. И., Богдан К. С., Горбенко В. Н., Денисенко В. М., Каширин Ю. П.]. – Киев : Наук. думка, 1973. – 182 с.
7. Гинзбург И. Б. Автоматическое регулирование и регуляторы в промышленности строительных материалов : учебник для техникумов / И. Б. Гинзбург ; изд. 3-е, перераб. и доп. – Л. : Стройиздат. Ленингр. отд-ние, 1985. – 256 с.