

## FEATURES OF THE DISTRIBUTION OF THE VAPOR PHASE OF ZINC BY THE VOLUME OF THE CONTAINER

*Fedorov A.L., Safonov M.V.*

**Keyword:** furnace brazing, container, brass, zinc vapor distribution.

**Abstract.** The questions of furnace container brazing with brass when introducing an additional amount of zinc into the volume of the container are considered. The experiments showed an uneven distribution of zinc vapor in the height of the container, which should be taken into account when soldering.

### References

1. Perevezentsev B. N., Krasnopevtsev A. Yu., Fedorov A. L. processes of formation and interaction of vapor-gas media in container soldering // Welding production - 1992. - №4. - P. 36-37.
2. Krasnopevtsev A. Yu., Fedorov A. L. properties and features of compounds in vapor-phase soldering with multicomponent solders of Cu-Zn // Welding production - 1995. - №12. - Pp. 30-32.
3. Perevezentsev B. N., Krasnopevtsev A. Yu., Fedorov A. L. Furnace container soldering in steam and gas media // Science-production. - 2001. - №9. - P. 19.

УДК 519.6

<https://doi.org/10.26160/2618-6810-2019-2-162-166>

## СИНТЕЗ СИСТЕМЫ МОДАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ БЛОКОМ ДОЗИРУЮЩИХ УСТРОЙСТВ

*Федосенков Д.Б.<sup>1</sup>, Симикина А.А.<sup>2</sup>, Федосенков Б.А.<sup>3</sup>*

<sup>1</sup>Сибирская генерирующая компания, г. Москва;

<sup>2</sup>Кемеровский государственный университет, г. Кемерово

<sup>3</sup>Кузбасский государственный технический университет им. Т.Ф. Горбачева, г. Кемерово

**Ключевые слова:** блок дозирующих устройств, модальное управление, обратная связь по состоянию, матрица модального регулятора, формула Аккермана

**Аннотация.** Рассмотрены вопросы синтеза системы модального управления блоком дозирования, состоящим из дозаторов непрерывного и дискретного действия. Для создания стабильного номинального материалопотока на предсмесительной стадии разработана следящая система управления с модальным регулятором в цепи обратной связи по состоянию объекта управления (блока дозирующих устройств - БДУ). Процессы дозирования описаны в терминах материалопотоковых сигналов расхода. В дальнейшем внешняя модель процессов БДУ преобразуется во внутреннюю векторно-матричную модель в пространстве состояний объекта. Описана технология компенсации параметрической нестационарности в БДУ при спорадическом изменении внешних воздействий со стороны загрузочных бункеров - за счет текущего динамического перерасчета параметров модального регулятора (матрицы обратной связи). Представлена методика вычисления параметров регулятора с помощью формулы Аккермана, что позволяет - в рамках автоматизированной системы - поддерживать стабильную структуру материалопотока на предсмесительной стадии и, как следствие, обеспечивать требуемое качество итоговых смесей.

**Введение.** Дозирующие устройства широко используются для изготовления композитных материалов и комплектующих изделий, применяемых в машиностроении и изготавливаемых средствами 3D-печати. 3D-принтинг,

например, используется при изготовлении деталей отделки интерьера автотранспорта с последующей внешней финишной обработкой без нанесения лакокрасочного покрытия. Кроме того, технологии объемной печати применяются в аэрокосмической промышленности для производства фрагментов обшивки летательных аппаратов. При этом дозирование исходных материалов в дисперсном виде (в гранулированном состоянии или в виде порошков) осуществляется с помощью дозирующих устройств (ДУ) непрерывного и дискретного действия (спиральными, шнековыми и порционными дозаторами) с последующим направлением материалопотока в смесительное устройство с целью получения смесевой композиции, обладающей внутренними и внешними характеристиками исходных дозируемых ингредиентов.

В рассматриваемом смесеприготовительном агрегате для сохранения расхода материалов на предсмесительной стадии на номинальном уровне (последнее необходимо для получения смесей требуемого качества) спроектирована следящая система модального регулирования для управления блоком дозирующих устройств (БДУ). Задача синтеза системы модального управления [1] заключается:

1) в определении желаемого положения корней характеристического полинома замкнутой системы автоматического управления (САУ) с обратной связью по состоянию, обеспечивающего требуемые показатели качества переходных процессов;

2) в нахождении коэффициентов  $K_i$ ,  $i = \overline{1, n}$ , модального регулятора, гарантирующих заданное размещение полюсов замкнутой САУ.

### **Математическая модель объекта управления (блока дозирующих устройств)**

Представим модель блока дозирующих устройств, состоящего из двух дозаторов (спирального и порционного дискретного; последний формирует материалопоток, задаваемый функцией расхода П-образного вида со скважностью  $\lambda = T/\tau = 2$ , где  $T$  - период дозирования;  $\tau$  - длительность формирования дозы) импульсными переходными функциями:

- для спирального ДУ:  $W(s)_s = L\{x_{os} + x_{ms} \sin \omega_s t\} = x_{os}/s + x_{ms} \omega_s/(s^2 + \omega_s^2)$ , где  $L$  - символ преобразования Лапласа;  $x_{os}$  и  $x_{ms}$  - соответственно величина постоянной и амплитуда переменной составляющих расхода спирального ДУ (СДУ);  $x_{ms} < x_{os}$ ;  $\omega_s$  - угловая частота переменной составляющей расхода СДУ;  $s$  - переменная Лапласа;

- для порционного ДУ:  $W(s)_d = L\{A_0/2 + \sum B_k \sin \omega_k t\} = A_0/2s + B_1 \omega_1/(s^2 + \omega_1^2) + B_3 \omega_3/(s^2 + \omega_3^2) + B_5 \omega_5/(s^2 + \omega_5^2) + B_7 \omega_7/(s^2 + \omega_7^2) + B_9 \omega_9/(s^2 + \omega_9^2)$ . Последнее выражение представлено Фурье-моделью, включающей постоянную компоненту  $A_0/2$  и пять нечетных синусоидальных субгармоник  $\sum B_k \sin \omega_k t$ ,  $k = \overline{1, 10}$ .

В соответствии с этими моделями отобразим в редуцированной форме процесс массопередачи в виде сигнального графа Мейсона (М-графа) [1] (рис. 1).

На рис. 1 обозначены:  $k = 2 \cdot l - 1$ ,  $l = \overline{1, 5}$ ;  $k$  - номер гармонической составляющей аппроксимативной Фурье-модели сигнала расхода на выходе порционного ДУ;  $B_k$  - коэффициент Фурье  $k$ -той синусоидальной субгармоники;

$m = 5,9$  - номер узла в составе дуг графа, формирующих  $k$ -тую составляющую Фурье-модели; ПФУ - передаточно-формирующий узел смесеприготовительного агрегата (последний технологический элемент на предсмесительной стадии агрегата).

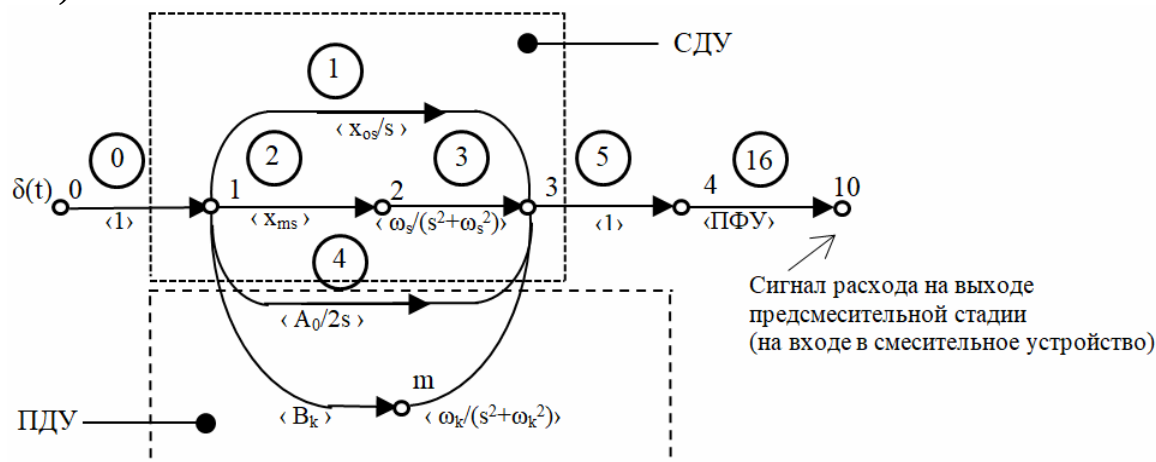


Рис. 1. М-граф блока ДУ в редуцированном виде; в угловых скобках указаны операторы моделей спирального и порционного ДУ; в окружностях - номера дуг графа

Фрагмент М-графа (рис. 1), отображающий распределение переменных состояния в модели объекта управления (БДУ), представлен на рис. 2.

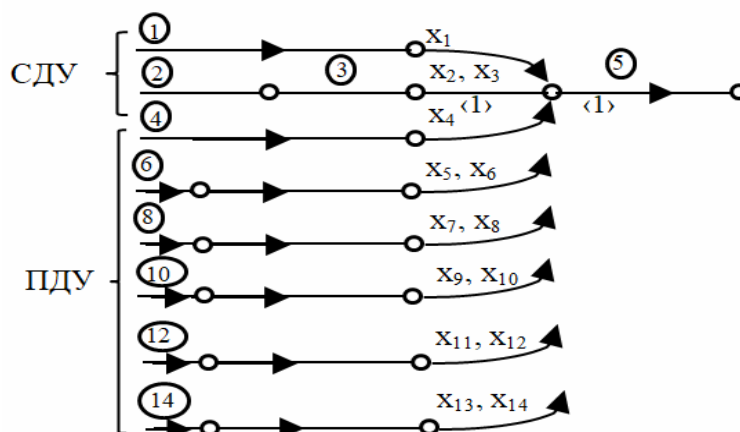


Рис. 2. Распределение переменных состояния по фрагменту М-графа БДУ

Таким образом, с точки зрения метода пространства состояний объект управления содержит 14 переменных состояния (ПС), из них три ПС ( $x_1, x_2, x_3$ ) формируются структурой спирального ДУ, а остальные одиннадцать - порционным ДУ. При этом ПС  $x_1$  и  $x_2$  спирального ДУ являются реальными скалярными сигналами,  $x_3 = \dot{x}_2$ . Переменные состояния порционного ДУ  $x_4$  и  $x_r$  (где  $r = 2q - 1$ ) - реальные сигналы ( $q = \overline{3,7}$ ), а ПС  $x_r$  ( $r = 2v$ ) - виртуальные,  $v = \overline{3,7}$ .

### Определение параметров модального регулятора

Вход объекта управления  $u(t)$  является функцией переменных состояния, то есть закон управления:  $u(t) = f[x(t)]$ .

При синтезе системы управления путем принудительной локализации полюсов закон управления имеет вид сигнала обратной связи по состоянию:

$$u(t) = -K \cdot x(t),$$

где  $K$  - матрица структуры модального регулятора размерности  $(1 \times n)$ . Данный закон управления дает возможность задать все полюсы управляемой и наблюдаемой [2] замкнутой САУ (ЗСАУ) в любых точках  $s$ -плоскости.

Следовательно, векторно-матричное уравнение состояния стационарной ЗСАУ с объектом в виде БДУ запишется так:

$$\dot{x}(t) = Ax(t) + Bu(t)|_{u=-Kx} = Ax(t) - BKx(t) = (A - BK)x(t) = A_f x(t),$$

где  $A_f$  - матрица состояния ЗСАУ.

При этом характеристический полином (ХП) ЗСАУ рассчитывается как определитель характеристической матрицы  $\det(sI - A_f)$ .

Отметим, что для устойчивости БДУ с обратной связью по состоянию, а также с учетом требований качества переходных процессов, все полюсы размещаются в левой полуплоскости  $s$ -плоскости, образуя определенное "созвездие" полюсов  $\lambda_k$ ,  $k = \overline{1, n}$ .

Тогда желаемый ХП ЗСАУ в мультипликативной форме будет иметь вид:

$$D(s)_f = (s - \lambda_1)(s - \lambda_2) \cdot \dots \cdot (s - \lambda_n),$$

а в аддитивно-степенной форме:

$$D(s)_f = s^n + d_{n-1} s^{n-1} + \dots + d_1 s + d_0.$$

В соответствии с процедурой синтеза путем принудительного размещения полюсов необходимо найти такую матрицу  $K$ , чтобы выражения для ХП  $\det(sI - A_f)$  и  $D(s)_f$  были эквивалентны, то есть:

$$\det(sI - A + BK) = D(s)_f.$$

Для определения элементов матрицы  $K$  в системах высокого порядка, к каким относится система модального управления БДУ, и для которой векторно-матричная модель записана в форме, отличной от канонической формы управляемости (формы Фробениуса) [1, 3, 4], процедура вычисления матрицы  $K$  модального регулятора реализуется с помощью формулы Аккермана [1]:

$$K = [0 \ 0 \ | \ \dots \ 0 \ 1] \cdot [B \ AB \ | \ \dots \ A^{n-1}B]^{-1} \cdot D(A)_f,$$

где блочная матрица - обратная матрица управляемости [1] объекта (БДУ);  $D(A)_f$  - матричный полином, сформированный с использованием коэффициентов желаемого ХП  $D(s)_f$ , в котором переменная Лапласа заменена по теореме Кейли-Хэμιльтона [4] на матрицу состояния  $A$  модели БДУ:

$$D(A)_f = A^n + d_{n-1} A^{n-1} + \dots + d_1 A + d_0 I.$$

Выражения для расчета элементов матрицы  $K$  модального регулятора удобно использовать в режиме реального времени для определения в динамике нестационарных параметров следящей системы модального управления процессами дозирования. Заметим, что подобную процедуру целесообразно применять не только в скалярных системах, но и в многомерно-точечных [5], например, в системах, использующих вейвлет-среду как средство эффективного отображения одномерных сигналов.

#### Список литературы

1. Федосенков, Б.А. Теория автоматического управления. Современные разделы: уч. пос. – Кемерово: КемГУ, 2018. - 154 с.
2. Стрейц В. Метод пространства состояний в теории дискретных линейных систем управления / Пер. с англ. под ред. Я.З. Цыпкина. - М.: Наука. Главн. ред. физ.-мат. литературы, 1985. - 296 с.

3. Филлипс Ч.Л. Системы управления с обратной связью / Ч.Л. Филлипс, Р.Д. Харбор. - М.: Лаборатория Базовых Знаний, 2001. - 616 с.
4. Ким Д.П. Теория автоматического управления. Т. 2. Многомерные, нелинейные, оптимальные и адаптивные системы: уч. пос. - М.: Физматлит, 2004. - 464 с.
5. Федосенков Д.Б. Исследование многомерных систем управления в пространстве состояний и вейвлет-среде / Д.Б. Федосенков, А.А. Симикина, Б.А. Федосенков // Системы автоматизации в образовании, науке и производстве: Труды XI Всероссийской научно-практической конференции. - Новокузнецк: Изд. центр СибГИУ, 2017. - С. 19-24.

#### Сведения об авторах:

*Федосенков Денис Борисович* – к.т.н., доцент, начальник отдела управления активами, СГК, г.Москва;

*Симикина Анна Алексеевна* – аспирант кафедры "Автоматизация производственных процессов и автоматизированные системы управления", КемГУ, г.Кемерово;

*Федосенков Борис Андреевич* – д.т.н., профессор, профессор кафедры "Информационные и автоматизированные производственные системы", КузГТУ, г.Кемерово.

### THE SYNTHESIS OF THE MODAL SYSTEM FOR CONTROLLING THE FEEDING DEVICES UNIT

*Fedosencov D.B., Simikova A.A., Fedosencov B.A.*

**Keywords:** feeding devices unit, modal control, state feedback, modal controller matrix, Ackermann formula.

**Abstract.** The problems of synthesis of the modal control system of the feeding unit, consisting of continuous and discrete feeding devices, are considered. To create a stable nominal material flow at the pre-mixing stage, a tracking control system was developed with a modal controller in the feedback circuit over the state of the control plant (feeding devices unit - FDU). Feeding processes are described in terms of flow material flow signals. Subsequently, the external model of the FDU processes is transformed into an internal vector-matrix model in the plant state space. The technology of non-stationary parameters compensation in the FDU with a sporadic change of external influences from the loading bunkers is described, which is due to the current dynamic recalculation of the modal controller parameters (feedback matrix). A method for calculating controller parameters using the Ackermann formula is presented, which allows - within the computer-aided system - to maintain a stable structure of the material flow at the pre-mixing stage and, as a result, to ensure the required quality of final mixtures.

#### **References**

1. Fedosencov B.A. Theory of automatic control. Contemporary topics: academic village – Kemerovo: Kemerovo state university, 2018. - 154 P.
2. Strejc V. State space method in the theory of discrete linear control systems / Per. with English. ed. by Ya.Z. Tsympkin. - M.: Science. Main ed. Fiz.-Mat. literature, 1985. - 296 P.
3. Phillips Ch.L. Feedback control systems / Ch.L. Fillips, R.D. Harbor. - M.: Laboratory Of Basic Knowledge, 2001. - 616 P.
4. Kim D.P. Theory of automatic control. Vol.2. Multidimensional, nonlinear, optimal and adaptive systems: Uch. POS. - M.: Fizmatlit, 2004. - 464 P.
5. Fedosencov D.B. Study of multidimensional control systems in state space and wavelet-environment / D.B. Fedosencov, A.A. Simikova, B.A. Fedosencov // automation Systems in education, science and manufacture: proceedings of the XI all-Russian scientific-practical conference. - Novokuznetsk: Publ. SibSIU center, 2017, 2017. - P. 19-24.