

ИДЕНТИФИКАЦИЯ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ДИНАМИКИ БАРАБАННОЙ СУШИЛЬНОЙ УСТАНОВКИ НА МНОЖЕСТВЕ СОСТОЯНИЙ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ

А. Н. Грибков, И. А. Куркин

ФГБОУ ВПО «Тамбовский государственный технический университет», г. Тамбов

Рецензент д-р техн. наук, профессор М. В. Соколов

Ключевые слова и фразы: идентификация модели; математическая модель; множество состояний функционирования; сушильная установка.

Аннотация: Рассмотрены вопросы структурной и параметрической идентификации математических моделей динамики барабанной сушильной установки с учетом возможных изменений ее состояния функционирования в процессе реальной эксплуатации.

Введение

Актуальной проблемой современной промышленности является снижение энергопотребления и повышение энергетической эффективности применяемых на производстве технологических установок, поэтому значительное внимание уделяется вопросам внедрения современных систем энергосберегающего управления технологическими процессами, среди которых процессы сушки наиболее энергоемкие и широко распространенные на производстве. Важным этапом создания системы энергосберегающего управления является формализация задачи управления и идентификация математических моделей динамики объекта управления с учетом возможных изменений состояния функционирования (СФ) в процессе реальной эксплуатации [1 – 3].

Рассмотрены вопросы структурной и параметрической идентификации математических моделей динамики барабанной сушильной установки на множестве СФ.

Грибков Алексей Николаевич – кандидат технических наук, доцент кафедры «Конструирование радиоэлектронных и микропроцессорных систем», e-mail: GribkovAlexey@yandex.ru; Куркин Илья Александрович – аспирант кафедры «Конструирование радиоэлектронных и микропроцессорных систем», ТамбГТУ, г. Тамбов.

Сушильная установка как объект управления

Рассмотрим в качестве объекта барабанную (кожухотрубную) сушильную установку торговой марки Vetter (Германия), применяемую на ОАО «Талвис» (Россия, Тамбовская область, Тамбовский район, р.п. Новая Ляда), общий вид которой представлен на рисунке.

Конструктивно сушильная установка представляет собой неподвижный корпус, внутри которого расположен вращающийся барабан. Нагрев барабана осуществляется при помощи пара и производится по принципу противотока (направление движения пара в трубах противоположно направлению движения материала в сушильной установке). На внешней окружности барабана расположены подъемные и подающие скребки, которые транспортируют материал, подлежащий сушке, от входа к выходу. Подача пара в сушилку обеспечивается при помощи автоматической уплотнительной паровой головки. Отвод конденсата выполняется с помощью черпаков и еще одной паровой уплотнительной головки.

На рассматриваемом производстве проводится сушка послеспиртовой барды. Массовая доля барды должна составлять $(96 \pm 1) \%$ (воды 3–5%). Температура материала не должна превышать $120 \text{ }^\circ\text{C}$, иначе барда начинает «гореть».

Поддержание технологического процесса сушки проводится за счет контролирования следующих температур: выходного материала – z_1 ; воздуха внутри сушильной установки (конвекционная часть сушки) – z_2 ; отводимого пара (контактная часть сушки) – z_3 . Управление осуществляется при помощи регулировки подачи пара. Температура пара находится в пределах $170 \dots 175 \text{ }^\circ\text{C}$ при давлении 6...8 атм.

Управляющее воздействие определяется формулой

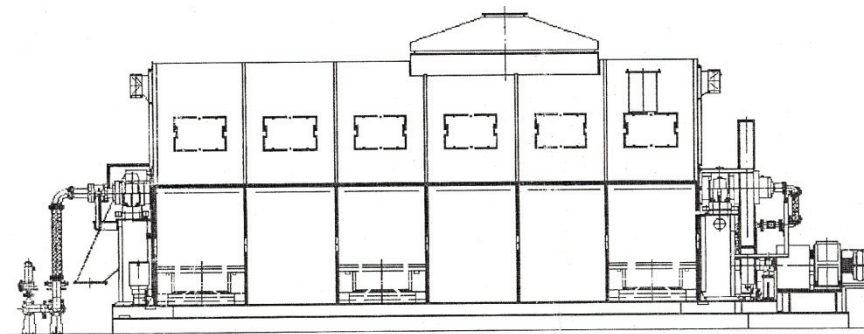
$$u(t) = z_4(t)u_c(t),$$

где $z_4(t)$ – давление пара; $u_c(t)$ – степень открытия парового клапана.

Состояния функционирования сушильной установки

В процессе эксплуатации сушильной установки можно выделить три возможных СФ:

I. $z_1 - z_2 < 0$ – объект находится в данном состоянии после внепланового временного прекращения работы установки, на практике – отключение



Конструкция барабанной сушильной установки

электричества на несколько часов: на данном этапе состояние неустойчивое, поэтому рекомендуется не использовать управление для наибольшей экономии топлива, система выйдет из этого состояния, получив максимальное количество тепла из воздуха;

II. $z_1 - z_2 > 0$ и $z_3 - z_1 < 10$ – нормальное состояние для динамического режима работы сушильной установки: воздух холоднее материала и начинает охлаждать его, в процессе прохождения через сушильную установку, практически все лишнее тепло пара передается материалу и установке, разница температур отводимого пара и выходного материала незначительна;

III. $z_1 - z_2 > 0$ и $z_3 - z_1 \in [10; 30]$ – состояние разогретой сушильной установки: воздух охлаждает материал, подается избыточное количество пара, в результате чего температура отводимого пара значительно превосходит температуру материала.

Идентификация математической модели динамики сушильной установки на множестве СФ

В процессе структурной идентификации рассмотрены все линейные модели объекта с максимальной связностью, минимизацией относительной ошибки по каждой из переменных состояния.

В общем виде математическая модель линейной системы с тремя переменными состояния и одним управлением (без учета запаздывания) имеет вид:

$$\begin{cases} \dot{z}_1(t) = a_1 z_1(t) + a_2 z_2(t) + a_3 z_3(t) + b_1 u(t); \\ \dot{z}_2(t) = a_4 z_1(t) + a_5 z_2(t) + a_6 z_3(t) + b_2 u(t); \\ \dot{z}_3(t) = a_7 z_1(t) + a_8 z_2(t) + a_9 z_3(t) + b_3 u(t). \end{cases}$$

В результате решения задачи структурной и параметрической идентификации получены математические модели динамики для различных СФ сушильной установки. Результаты идентификации приведены в таблице.

Модели динамики сушильной установки для различных СФ

СФ	Модель динамики	Параметры модели
I	$\begin{cases} \dot{z}_1(t) = a_1 z_1(t); \\ \dot{z}_2(t) = a_5 z_2(t) + a_6 z_2(t) + b_2 u(t); \\ \dot{z}_3(t) = a_9 z_3(t) + b_3 u(t) \end{cases}$	$\begin{aligned} a_1 &= 1,328 \cdot 10^{-4}; & a_5 &= -2,043 \cdot 10^{-7}; \\ a_6 &= 5,085 \cdot 10^{-6}; & a_9 &= 7,985 \cdot 10^{-5}; \\ b_2 &= 1,533 \cdot 10^{-4}; & b_3 &= 4,033 \cdot 10^{-5} \end{aligned}$
II	$\begin{cases} \dot{z}_1(t) = b_1 u(t); \\ \dot{z}_2(t) = a_5 z_2(t) + a_6 z_3(t); \\ \dot{z}_3(t) = a_9 z_3(t) + b_3 u(t) \end{cases}$	$\begin{aligned} a_5 &= -4,74 \cdot 10^{-3}; & a_6 &= 4,06 \cdot 10^{-3}; \\ a_9 &= -1,5266 \cdot 10^{-4}; & b_1 &= 1,48 \cdot 10^{-4}; \\ b_3 &= 8,106 \cdot 10^{-5} \end{aligned}$
III	$\begin{cases} \dot{z}_1(t) = a_1 z_1(t) + a_2 z_2(t) + b_1 u(t); \\ \dot{z}_2(t) = a_5 z_2(t) + b_2 u(t); \\ \dot{z}_3(t) = a_7 z_1(t) + b_3 u(t) \end{cases}$	$\begin{aligned} a_1 &= -2,164 \cdot 10^{-4}; & a_2 &= -1,424 \cdot 10^{-4}; \\ a_5 &= -2,997 \cdot 10^{-5}; & a_7 &= -4,103 \cdot 10^{-6}; \\ b_1 &= 2,85 \cdot 10^{-4}; & b_2 &= 1,168 \cdot 10^{-6}; \\ b_3 &= 3,075 \cdot 10^{-5} \end{aligned}$

Идентификация моделей динамики осуществлялась с применением программного модуля [4]. Для идентификации 18 параметров моделей использовались 1120 точек траекторий переменных состояния. Максимальные значения относительной ошибки идентификации составили для $z_1(t)$, $z_2(t)$ и $z_3(t)$ 2,72; 4,34 и 0,88 % соответственно.

Заключение

Полученные в результате идентификации математические модели динамики сушильной установки удовлетворяют требованиям точности и адекватности, а также являются пригодными для оперативного решения задач анализа и синтеза ресурсосберегающего управления и реализации в системе энергосберегающего управления сушильной установкой.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, проекты 14-08-00489-а, 14-08-00198-а, 12-08-00352-а.

Список литературы

1. Муромцев, Ю. Л. Моделирование и оптимизация технических систем при изменении состояний функционирования / Ю. Л. Муромцев, Л. Н. Ляпин, О. В. Попова. – Воронеж : Изд-во Воронеж. гос. ун-та, 1992. – 164 с.
2. Муромцев, Д. Ю. Особенности создания систем энергосберегающего управления на множестве состояний функционирования / Д. Ю. Муромцев, Н. Г. Чернышов // Автоматика и вычисл. техника. – 2008. – № 3. – С. 74 – 82.
3. Артемова, С. В. Математическая модель многосекционной сушильной установки на множестве состояний функционирования / С. В. Артемова, А. Н. Грибков // Вестн. Тамб. гос. техн. ун-та. – 2006. – Т.12, № 4А. – С. 969 – 974.
4. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ 2014611295. Программный модуль параметрической идентификации математических моделей динамики многосвязных объектов на множестве состояний функционирования / Д. Ю. Муромцев, А. Н. Грибков, И. А. Куркин ; правообладатель ФГБОУ ВПО «Тамб. гос. техн. ун-т». – № 2013661659 ; заявл. 16.12.2013 ; опубл. 20.02.2014. – 1 с.

References

1. Muromtsev Yu.L., Lyapin L.N., Popova O.V. *Modelirovanie i optimizatsiya tekhnicheskikh sistem pri izmenenii sostoyanii funktsionirovaniya* (Simulation and optimization of technical systems when changing states of functioning), Voronezh: Izdatel'stvo Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta, 1992, 164 p.
2. Muromtsev D.Yu. Chernyshov N.G. *Automatic Control and Computer Sciences*, 2008, vol. 42, issue 3, pp. 163-168.
3. Artemova S.V., Gribkov A.N. *Transactions of the Tambov State Technical University*, vol.12, no. 4A, pp. 969-974.
4. Muromtsev D.Yu., Gribkov A.N., Kurkin I.A., Tambov State Technical University, *Programmnyi modul' parametricheskoi identifikatsii matematicheskikh modelei dinamiki mnogovyaznykh ob"ektov na mnozhestve sostoyanii funktsionirovaniya* (A software module parametric identification of mathematical models of the dynamics of multiply connected objects on the set of states of operation), Russian Federation, 2014, Certificate of state registration of computer programs № 2014611295.

Identification of Dynamic Mathematical Models for Tumble Dryer on a Set of Operation States

A. N. Gribkov, I. A. Kurkin

Tambov State Technical University, Tambov

Key words and phrases: drying plant; mathematical model; model identification; the set of operation states.

Abstract: An important step in building energy-efficient control systems is a formalization of the optimal control problem, identification of dynamic models for control object, taking into account possible changes in functional states. This article discusses problems of structural and parametric identification of dynamic mathematical models for tumble dryer, taking into account possible changes in status of the unit functioning in actual operation. A description of the drying apparatus as a control object and a diagram of its construction are presented. Also, technological constraints of the process are presented, state variables are introduced, and general description of the technological regime are given. After that, we make separation of the state space into a set of functional states, depending on the relative position of state variables. For each functional state, was carried out structural dynamics model identification for the object (by method of least squares) with criterion of minimum deviation between actual trajectories and values obtained with the model. After determining structures of dynamic mathematical models for the object, we held parametric identification, with criterion of minimum deviation between actual trajectories and values obtained with the model. At the end of the article, we presented in a tabular form the results of structural and parametric identification, as well as received values of maximum deviations between trajectories and models, and sample size used for identify.

© А. Н. Грибков, И. А. Куркин, 2014