

РАСЧЕТ КОЭФФИЦИЕНТА ПЕРЕДАЧИ И ПОСТОЯННЫХ ВРЕМЕНИ ШАХТНОЙ ЗЕРНОСУШИЛКИ ПО ЕЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ АМПЛИТУДНО-ЧАСТОТНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКЕ В MATHCAD

Нестеров С.В., канд. техн. наук, доцент, Нестеров А.В., канд. техн. наук, доцент

ФГБОУ ВО «Кубанский государственный технологический университет»,
г. Краснодар

Аннотация: Приведена методика расчета значений коэффициента передачи и постоянных времени шахтной зерносушилки в системе компьютерной математики Mathcad. Она основана на регрессионном анализе ее амплитудно-частотной характеристики, полученной экспериментально по каналу "расход теплоносителя – температура зернового слоя".

Ключевые слова: шахтная зерносушилка, передаточная функция, амплитудно-частотная характеристика, идентификация, коэффициент передачи, постоянные времени.

Эффективная работа шахтной зерносушилки во многом связана с качеством регулирования температуры находящегося в сушильной камере зерна. В связи с этим оптимальная настройки соответствующей системы автоматического регулирования требует определения передаточной функции зерносушилки по каналу "расход теплоносителя – температура зернового слоя".

Особенности конструкции и технологии сушки зерна наделяют шахтную зерносушилку свойствами инерционного теплотехнического объекта регулирования, обладающего запаздыванием. Теплоинерционными свойствами обладают сушильная камера и заполняющий ее зерновой слой. А воздухопровод, по которому в сушильную камеру поступает горячий воздух из теплогенератора, является источником запаздывания. Поэтому динамическую модель шахтной зерносушилки по указанному каналу регулирования допустимо представить в виде последовательно соединенных апериодического звена второго порядка и звена чистого (транспортного) запаздывания. В этом случае передаточная функция шахтной зерносушилки принимает вид [1]

$$\frac{\vartheta(s)}{Q(s)} = \frac{k}{(T_c s + 1)(T_3 s + 1)} \cdot e^{-\tau s}, \quad (1)$$

где ϑ – температура зернового слоя в сушильной камере; Q – расход теплоносителя; k – коэффициент передачи; T_c ; T_3 – постоянные времени соответственно сушильной камеры и зернового слоя; τ – время запаздывания; s – оператор Лапласа.

На практике оценки параметров подобных теплотехнических объектов регулирования получают обычно по их кривым разгона, как правило, графоаналитическими методами [2, 3], которым свойственна достаточно высокая по-

грешность идентификации. Более точные оценки коэффициентов передаточной функции зерносушилки (1) могут быть получены на основе регрессионного анализа, например, ее кривой разгона, из которой предварительно выделено время запаздывания τ [1], или ее частотных характеристик.

Положительный опыт применения регрессионного анализа для параметрической идентификации теплотехнических объектов регулирования по их экспериментальным частотным характеристикам [4-13] позволяет использовать его для определения коэффициента передачи k и постоянных времени зерносушилки T_c , T_3 . Их значения предлагается рассчитывать по амплитудно-частотной характеристике (АЧХ) зерносушилки, полученной экспериментально по каналу "расход теплоносителя – температура зернового слоя". При этом в качестве регрессионного уравнения для описания этой характеристики допустимо использовать выражение АЧХ типового апериодического звена второго порядка [14] с постоянными времени T_c и T_3 , которое имеет вид

$$\vartheta(\omega) = k[T_c^2 T_3^2 \omega^4 + (T_c^2 + T_3^2) \omega^2 + 1]^{-0.5}, \quad (2)$$

где ω – угловая частота расхода теплоносителя.

Регрессионное уравнение (2) по параметрам T_c и T_3 является нелинейным. Поэтому их расчет осуществляется в системе компьютерной математики Mathcad с помощью встроенной функции *genfit*, которая предназначена для определения параметров нелинейных по параметрам регрессионных моделей [4, 5].

В данном случае функция *genfit*($\omega, \vartheta, \mathbf{B}, F$) возвращает значения коэффициента передачи k и постоянных времени зерносушилки T_c , T_3

$$\mathbf{D} = \text{genfit}(\omega, \vartheta, \mathbf{B}, F);$$

$$\mathbf{D}^T = \begin{vmatrix} k & T_c & T_3 \end{vmatrix}.$$

В функции *genfit*($\omega, \vartheta, \mathbf{B}, F$) экспериментальная АЧХ зерносушилки $\vartheta(\omega)$ представлена координатами n своих точек (ω_i, ϑ_i) в векторах ω и ϑ соответственно:

$$\omega^T = \begin{vmatrix} \omega_1 & \omega_2 & \dots & \omega_i & \dots & \omega_n \end{vmatrix};$$

$$\vartheta^T = \begin{vmatrix} \vartheta_1 & \vartheta_2 & \dots & \vartheta_i & \dots & \vartheta_n \end{vmatrix}.$$

Вектор $\mathbf{B}$ функции *genfit*($\omega, \vartheta, \mathbf{B}, F$) содержит начальные значения коэффициента передачи k и постоянных времени T_c , T_3

$$\mathbf{B}^T = \begin{vmatrix} k_0 & T_{c0} & T_{30} \end{vmatrix},$$

необходимые для итерационного решения системы нелинейных уравнений регрессии, которая содержит аналитические выражения соответственно АЧХ зерносушилки (2) и ее частных производных по коэффициенту передачи k и по-

стоянным времени T_c , T_3 . Названные выражения являются символьными элементами вектора $F(\omega, k, T_c, T_3)$ функции $genfit(\omega, \vartheta, B, F)$

$$F(\omega, k, T_c, T_3) = \begin{pmatrix} k[T_c^2 T_3^2 \omega^4 + (T_c^2 + T_3^2) \omega^2 + 1]^{-0,5} \\ [T_c^2 T_3^2 \omega^4 + (T_c^2 + T_3^2) \omega^2 + 1]^{-0,5} \\ -k T_c \omega^2 (T_3^2 \omega^2 + 1) [T_c^2 T_3^2 \omega^4 + (T_c^2 + T_3^2) \omega^2 + 1]^{-1,5} \\ -k T_3 \omega^2 (T_c^2 \omega^2 + 1) [T_c^2 T_3^2 \omega^4 + (T_c^2 + T_3^2) \omega^2 + 1]^{-1,5} \end{pmatrix}.$$

Рассчитанные значения коэффициента передачи k и постоянных времени T_c , T_3 шахтной зерносушилки обеспечивают минимальную среднеквадратичную погрешность описания выражением (2) ее экспериментальной АЧХ по каналу "расход теплоносителя – температура зернового слоя".

Время запаздывания τ зерносушилки определяется по кривой ее разгона традиционным способом [2, 3] или на основе регрессионного анализа ее фазо-частотной характеристики [13].

Описанная методика параметрической идентификации шахтной зерносушилки реализуется в виде документа системы Mathcad. Расчет осуществляется по координатам точек (ω_i, ϑ_i) экспериментальной АЧХ зерносушилки, импортируемым в табличном виде, и сопровождается статистическим оцениванием полученных результатов.

Данная методика может быть применена для оценки параметров и иных технологических объектов регулирования, используемых для производства сельскохозяйственной и пищевой продукции и обладающих такими же динамическими свойствами, как и шахтная зерносушилка.

Литература

1. Нестеров А.В., Нестеров С.В. Оценка инерционных свойств шахтной зерносушилки по ее экспериментальной кривой разгона в Mathcad // Перспективные технологии производства продукции из сырья животного и растительного происхождения: Матер. междунар. науч.-техн. Интернет-конф. – Краснодар: ФГБОУ ВПО "КубГТУ", 2013. – С. 167-169.
2. Стефании К.П. Основы расчета настройки регуляторов теплоэнергетических процессов. -Изд. 2-е, перераб. и доп. – М.: Энергия, 1972. – 376 с.
3. Балакирев В.С., Дудников Е.Г., Цирлин А.М. Экспериментальное определение динамических характеристик промышленных объектов управления. – М.: Энергия, 1967. – 232 с.
4. Нестеров С.В., Нестеров А.В. Методика идентификации объектов второго порядка на основе регрессионного анализа // Электромеханические преобразователи энергии. – Краснодар: КВАИ, 2003. – С. 272-273.
5. Нестеров С.В. Определение динамических характеристик паровых котлов тепловых электрических станций: монография. – Краснодар: Изд. КубГТУ, 2007. – 58 с.

6. Нестеров С.В. Идентификация пароперегревателя барабанного котла по его амплитудно-частотной характеристике / Кубан. гос. технол. ун-т. – Краснодар, 2007. – 8 с. – Деп. в ВИНТИ 21.08.2007, № 821-B2007.
7. Нестеров С.В. Определение передаточной функции конвективного пароперегревателя прямоточного котла по его фазово-частотной характеристике / Кубан. гос. технол. ун-т. – Краснодар, 2007. – 6 с. – Деп. в ВИНТИ 21.08.2007, № 825-B2007.
8. Нестеров С.В., Нестеров А.В. Определение динамических характеристик хлебопекарной печи ФТЛ-2 по каналу "расход топлива – температура основной зоны выпечки" по ее экспериментальной амплитудно-частотной характеристике // Инновации в индустрии питания и сервисе: Электронный сб. матер. I Междунар. науч.-практ. конф., посвященной 30-летию кафедры технологии и организации питания. – Краснодар: Изд. КубГТУ, 2014. – С. 186-187.
9. Нестеров С.В., Нестеров А.В. Определение динамических характеристик хлебопекарной печи ФТЛ-2 по каналу "расход пара – относительная влажность в зоне увлажнения" по ее экспериментальной амплитудно-частотной характеристике // Новое в технологии и технике функциональных продуктов питания на основе медико-биологических воззрений: Матер. IV Междунар. науч.-техн. конф. / Воронеж. гос. ун-т инж. технол. – Воронеж: ВГУИТ, 2014. – С. 756-759.
10. Нестеров С.В., Нестеров А.В. Идентификация теплоэнергетических объектов третьего порядка по их экспериментальным амплитудно-частотным характеристикам в среде Mathcad // Научный потенциал вуза – производству и образованию: Сб. трудов по материалам региональной научно-практ. конф., посвященной 170-летию г. Армавира и 50-летию АМТИ. Т. 5. – Армавир: Изд-во АМТИ, 2009. – С. 122-125.
11. Нестеров А.А., Нестеров А.В., Нестеров С.В. Определение коэффициентов передаточной функции конвективного пароперегревателя прямоточного котла по его амплитудно-частотной характеристике // Матер. XIX Междунар. Интернет-ориентированной конф. молодых ученых и студентов по проблемам машиноведения. – М.: Изд-во ИМАШ РАН, 2007. – С. 124.
12. Нестеров А.А., Нестеров А.В., Нестеров С.В. Расчет коэффициентов передаточной функции пароперегревателя барабанного котла по его фазо-частотной характеристике в среде Mathcad // Матер. юбилейной XX Междунар. Интернет-ориентированной конф. молодых ученых и студентов по современным проблемам машиноведения. – М.: Изд-во ИМАШ РАН, 2008. – С. 101.
13. Нестеров С.В., Нестеров А.В. Идентификация теплоэнергетических объектов третьего порядка с запаздыванием по их экспериментальным фазо-частотным характеристикам в среде Mathcad // Научный потенциал вуза – производству и образованию: Сб. тр. по матер. межвуз/ науч.-практ. конф. Т. 6. – Армавир: Изд-во АМТИ, 2010. – С. 132-135.

14. Нестеров А.В., Нестеров С.В. Теория автоматического управления: Учеб. пособие / Кубан. гос. технол. ун-т. – Краснодар: Изд. ГОУВПО "КубГТУ", 2006. – 191 с.