

О регулировании температуры сушильной камеры аппарата для пропитки тканей периодического действия

Е.А. Рыжкова, Ю.С. Комбаров

Российский государственный университет им. А.Н. Косыгина

Аннотация: Статья посвящена вопросам учета различных производственных возмущений, влияющих на температурное поле в сушильной камере. Природа и характер возмущений, влияющих на изменение температуры камеры, учитывается с использованием статистических методов обработки кривых температуры во времени.

Ключевые слова: температура, статистические методы, сушильная камера, автокорреляционная функция, спектральная плотность, амплитудно-фазовая характеристика.

При технологическом процессе сушки для обеспечения требуемых свойств, придаваемых материалу в процессе пропитки, температура во всех точках сушильной камеры должна оставаться постоянной и одинаковой, поэтому при проектировании системы управления процессом сушки необходимо учитывать не только динамические свойства самой сушильной камеры, но и изучить характер производственных возмущений, влияющих на изменение температуры [1-3].

Благодаря проведённым экспериментам, было выяснено, что в разных точках сушильной камеры температурное поле неравномерно.

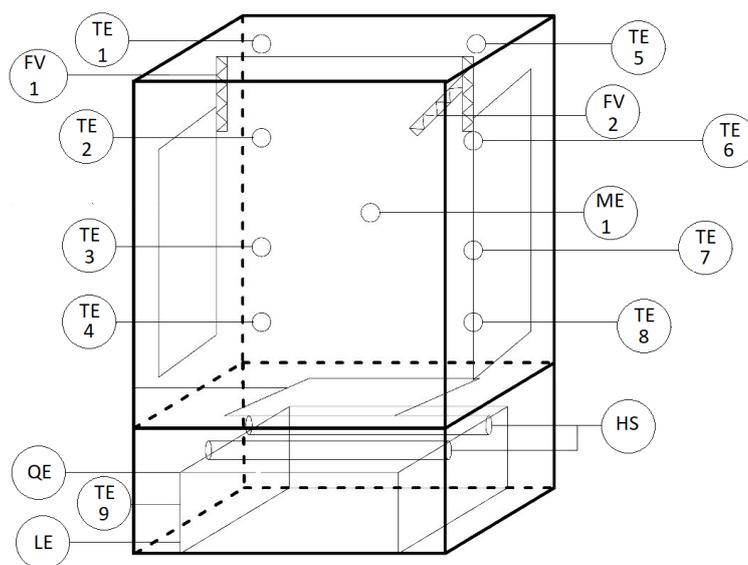


Рис.1. Схема сушильной камеры

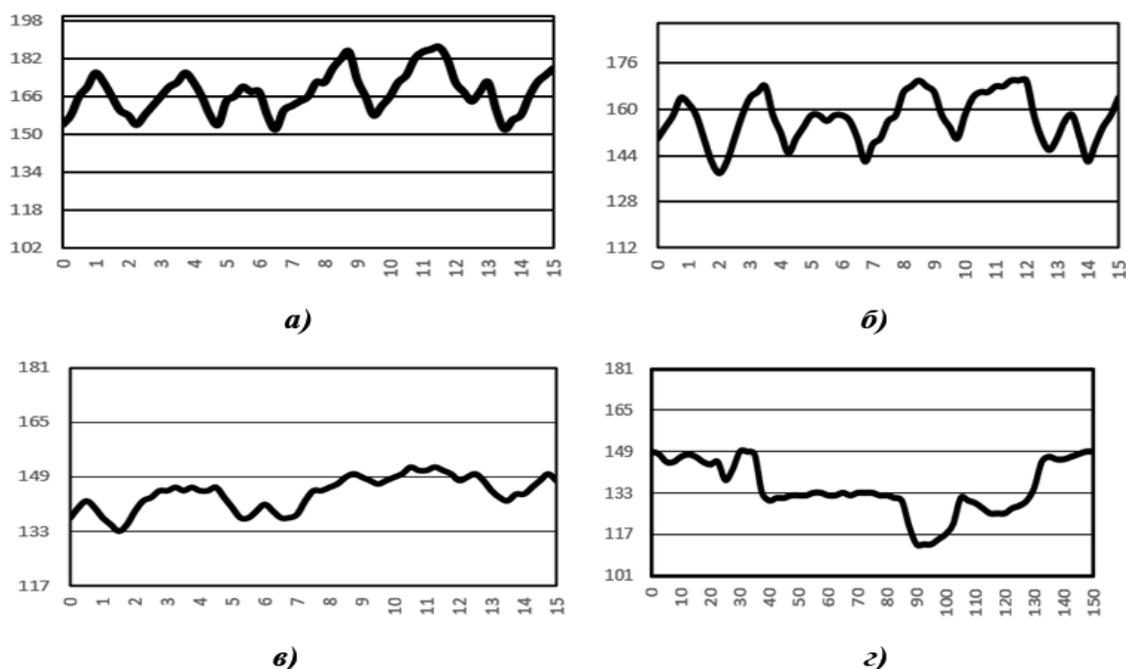


Рис.2. Графики изменения температуры в сушильной камере а) - температура в точке 1, б) – температура в точке 4, в) – температура в точке 8, г) – средняя температура в точке 4.

Природу и характер возмущений, влияющих на изменение температуры камеры, можно выяснить, используя статистические методы обработки кривых температуры во времени. Как известно, наиболее полно стационарный случайный процесс характеризует функция автокорреляции. Она позволяет выделить регулярные составляющие процесса и получить спектральную плотность случайных составляющих [4,5]. Вычисление автокорреляционной функции экспериментальной кривой $\theta(t)$ производится по формуле (1):

$$R_0(\mu) = \frac{1}{N-\mu} \sum_{v=0}^{N-\mu} \theta_v * \theta_{v+\mu}; \mu \geq 0, N = \frac{T}{\Delta}; t = v * \Delta; \quad (1)$$

$$v=1, 2, 3 \dots; \mu=0, 1, 2 \dots,$$

где T – выбранный интервал времени протекания случайного процесса; Δ – интервал разбиения; N – число разбиений.

На рис.3 в качестве примера, приводится график автокорреляционной функции, полученной на основании определения 40 точек кривой изменения температуры в точке 3 (рис.3), $\Delta=10$ сек.

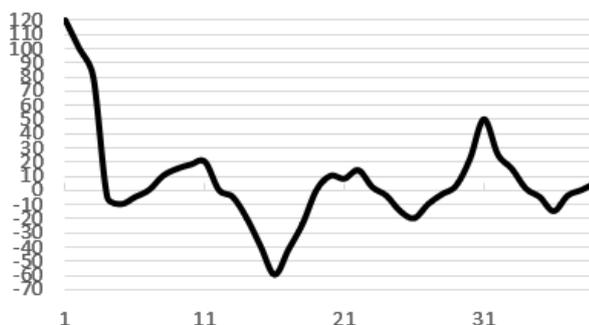


Рис.3. Автокорреляционная функция случайного процесса изменения температуры в точке 4

Зависимость колебания температуры сушильной камеры в отдельных точках от изменения напряжения питания [6,7] может быть установлена на основании следующей формулы (2):

$$S_{\theta}(\omega) = S_{\mu}(\omega)|W(i\omega)|^2 \quad (2)$$

где $S_{\theta}(\omega)$ и $S_{\mu}(\omega)$ – спектральные плотности случайного процесса изменения среднего значения температуры камеры и колебания напряжения питания; $W(i\omega)$ – амплитудно-фазовая характеристика сушильной камеры.

Экспериментально установлено, что амплитудно-фазовая характеристика сушильной камеры может быть описана следующим уравнением(3):

$$W(i\omega) = \frac{K}{T_{i\omega} + 1} e^{-i\omega t_1} \quad (3)$$

где T – постоянная времени; K – коэффициент усиления; t_1 – время чистого запаздывания.

На основании общих законов теплопередачи можно записать:

$$S_{\theta}(\omega) = S_u(\omega) \frac{K^2}{\omega^2 T^2 + 1}$$

Равномерность температурного поля сушильной камеры определяется характером нагревательных элементов и конструкцией самой камеры [8].

В общем виде температурное поле камеры может быть описано уравнением Фурье:

$$\frac{\partial^2 \theta}{\partial x_{\theta}^2} + \frac{\partial^2 \theta}{\partial y_{\theta}^2} = C_{\theta_0} R_{\theta_0} \frac{\partial \theta}{\partial t_{\theta}},$$

где C_{θ_0} – удельная теплопроводность; R_{θ_0} – удельное тепловое сопротивление; θ – температура; t_{θ} – время. Тогда, с точки зрения электрических сигналов модель будет иметь вид:

$$\frac{\partial^2 U}{\partial x_U^2} + \frac{\partial^2 U}{\partial y_U^2} = C_0 R_0 \frac{\partial U}{\partial t_U}, \quad (6)$$

где C_0 и R_0 – удельные параметры.

Константами подобия (6) и (7) служат выражения:

$$\frac{\theta}{U} = N_0; \frac{x_{\theta}}{x_U} = N_x; \frac{y_{\theta}}{y_U} = N_y; \frac{C_{\theta}}{C_0} = N_c; \frac{R_{\theta}}{R_0} = N_r; \frac{t_{\theta}}{t_U} = N_t \quad (7)$$

Подставив значения параметров модели, выраженные через параметры природы и константы подобия, получим:

$$\frac{N_x^2}{N_{\theta}} \frac{\partial^2 \theta}{\partial x_{\theta}^2} + \frac{N_y^2}{N_{\theta}} \frac{\partial^2 \theta}{\partial y_{\theta}^2} = C_{\theta_0} R_{\theta_0} \frac{\partial \theta}{\partial t_{\theta}} \frac{N_t}{N_c N_r N_{\theta}} \quad (8)$$

Чтобы выражения (6) и (8) были тождественны, необходимо, чтобы группы констант подобия были равны между собой:

$$\frac{N_x^2}{N_{\theta}} = \frac{N_y^2}{N_{\theta}} = \frac{N_t}{N_c N_r N_{\theta}}$$

Обозначим:

$$N_x = N_y = N_l \text{ и } N_l = \frac{l_{\theta}}{l_U}$$

Тогда:

$$\frac{N_{xl}^2}{N_{\theta}} = \frac{N_t}{N_C N_R N_{\theta}} \quad \text{и} \quad \frac{N_{xl}^2 N_C N_R}{N_t} = 1. \quad (10)$$

Подставив в (10) значения констант подобия, получим:

$$\frac{N_{xl}^2 N_C N_R}{N_t} = \frac{l_{\theta}^2 C_{\theta 0} R_{\theta 0}}{l_u^2 C_0 R_0 t_0} = 1 \quad (11)$$

Таким образом, при моделировании температурного поля сушильной камеры должен быть удовлетворен критерий подобия вида [9]:

$$\Pi = \frac{l_{\theta}^2 C_{\theta 0} R_{\theta 0}}{t_0} = \frac{l_u^2 C_0 R_0}{t_u} = \text{idem} \quad (12)$$

Выводы: было рассмотрено температурное поле в плоскости установки датчиков, но выражение (12) можно распространить и на трехмерное температурное поле, необходимо только учесть наличие константы подобия N_z . Равенство $N_x = N_y = N_z = N_l$ остается в силе.

Практически электрическую модель температурного поля сушильной камеры можно представить в виде трехмерной сетки [10], а о характере температурного поля можно судить по распределению потенциалов на соответствующих узлах сетки. Меняя параметры сетки, можно определять соответствующие температурные режимы для разных материалов и типов пропиток.

Литература

1. Тимохин А.Н., Румянцев Ю.Д. Моделирование систем управления с применением Matlab. ИНФРА-М, М., 2016, с.256.
2. Савенков Д.Н., Щербаков А.А., Мехралиев Р.Э., Сердюк В.А. Инженерный вестник Дона, 2021, №11. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n11y2021/7282

3. Ольшанский А.И. Исследование процесса сушки плоских влажных материалов методом обобщенных переменных // Инженерно-физический журнал. – 2013. Т.86. №2. С. 66-76
4. Никулин Е.А. Основы теории автоматического управления. Частотные методы анализа и синтеза систем. – СПб: БХВ-Петербург, 2004. – 640 с.
5. Иванов В.А., Медведев В.С., Чемоданов Б.К., Ющенко А.С. Математические основы теории автоматического управления. В 3 томах. Том 3. – М.: МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2009. – 352 с.
6. Naghi A.K., Thomas S., Pothan L.A. Heat and Mass transfer in Fibrous Materials: Theory and Applications. New Delhi: Publisher&Distributors. LTD., 2009. 244 с.
7. Ковшевый А.А., Лисиенко В.Г. Математическое моделирование объекта управления для систем контроля температуры. Инженерный вестник Дона, 2021, №11. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n8y2020/6581
8. Kudra T; Mujumdar A.S. Advanced Drying Technologies. Marcel Dekker: New York, 2007. – 448 p.
9. Поляков А.Е., Рыжкова Е.А., Иванов М.С., Осина А.М. Применение современных интеллектуальных технологий для исследования сложных многомерных динамических объектов технологического оборудования // Материалы и технологии. – 2019, № 1 (3). С. 59-63.
10. Шандров Б.В., Чудаков А.Д. Технические средства автоматизации. – М.: Академия, 2010. – 368 с.

References

1. Timoxin A.N., Romyancev Yu.D. Modelirovanie sistem upravleniya s primeneniem Matlab. [Modeling control systems using Matlab]. INFRA-M, M., 2016, p.256.
-



2. Savenkov D.N., Shherbakov A.A., Mexraliev R.E, Serdyuk V.A. Inzhenernyj vestnik Dona, 2021, №11. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n11y2021/7282
 3. Ol`shanskij A.I. Inzhenerno-fizicheskij zhurnal. 2013. T.86. №2. pp. 66-76.
 4. Nikulin E.A. Osnovy` teorii avtomaticheskogo upravleniya. Chastotny`e metody` analiza i sinteza sistem. [Fundamentals of automatic control theory. Frequency methods of analysis and synthesis of systems]. SPb.: BXV-Peterburg, 2004. 640 p.
 5. Ivanov V.A., Medvedev B.C., Chemodanov B.K., Yushhenko A.S. Matematicheskie osnovy teorii avtomaticheskogo upravleniya. [Mathematical foundations of automatic control theory]. V 3 tomax. Tom 3. M.: MGTU im. N. E` . Baumana, 2009. 352 p.
 6. Haghi A.K., Thomas S., Pothan L.A. Heat and Masstransfer in Fibrous Materials: Theory and Applications. New Deli: Publisher&Distrbutors.LTD., 2009. 244p.
 7. Kovshevny`j A.A., Lisienko V.G. Inzhenernyj vestnik Dona, 2021, №11. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n8y2020/6581
 8. Kudra T; Mujumdar A.S. Advanced Drying Technologies. Marcel Dekker: New York, 2007. 448 p.
 9. Polyakov A.E., Ryzhkova E.A., Ivanov M.S., Osina A.M. Materialy i texnologii. 2019, № 1 (3). pp. 59-63.
 10. Shandrov B.V., Chudakov A.D. Texnicheskie sredstva avtomatizacii [Technical means of automation]. M.: Akademiya, 2010. 368 p.
-