

УДК 631.365.22.001.5

ИДЕНТИФИКАЦИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЗЕРНОВЫХ СУШИЛОК

Андреанов Н. М.

Новгородский государственный университет, Великий Новгород

Представлены результаты исследования зерновых сушилок в условиях нормального функционирования, а также оценки их динамических характеристик в виде передаточных функций. Приведены оценки неравномерности поля температуры и влагосодержания зерна, на основании чего делается вывод о необходимости стабилизации количества тепловой энергии подаваемой в сушильную камеру.

Неравномерность сушки и отсутствие надежной системы контроля являются главными причинами неэффективной эксплуатации современных зерновых сушилок. Поэтому, получение достоверных сведений об особенностях функционирования сушилок, их статических и динамических характеристиках являются важным этапом создания высокоэффективных технических средств зерносушения.

Исследования выполнены в зерновых сушилках шахтного типа в хозяйствах Ленинградской и Новгородской областей. Обработке под-

вергался ворох различных зерновых культур, прошедший предварительную очистку. Переменными, определяющими условия функционирования сушилки, рис. 1, выбраны начальное влагосодержание $W_0(t)$, и температура $v_{30}(t)$ вороха. Температура теплоносителя $v_T(t)$ и экспозиция $\omega(t)$ определяют требуемый режим сушки и в процессе экспериментов поддерживались на заданных уровнях при помощи автоматических регуляторов. Качество и интенсивность протекающего процесса оценивались по температуре $v_3(t)$ и влагосодержанию $W(t)$ зерна.

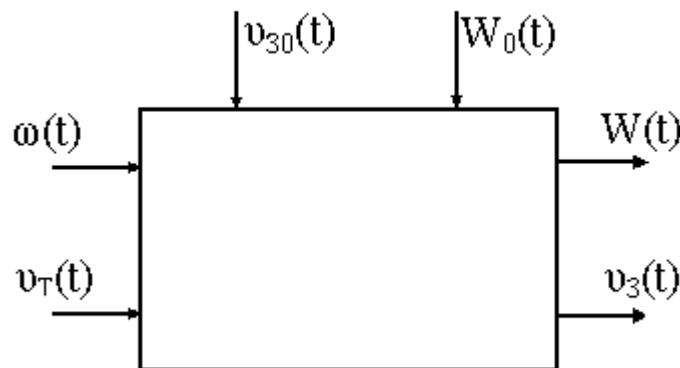


Рис.1. Структурная функциональная схема сушильной камеры

Исследование динамики влагосодержания вороха проводилось с отбором проб из потока с квантованием не по времени (t), а по объёму (v), что позволило получить универсальную модель условий функционирования, пригодную для сушилок любой производительности. Всего получено 37 реализаций влагосодержания с количеством проб от 110 до 332. Установлено, что случайные функции влагосодержания $W_0(v)$ в течение смены в основном нестационарны. Нестационарность наблюдается преимущественно в утренние и вечерние часы, а также в периоды выпадения атмосферных осадков. Изменение

текущего среднего влагосодержания вороха достигало 2...5 %.

Нестационарные реализации перед обработкой на ЭВМ приводились к стационарному виду. Установлено, что большинство функций плотности распределения вероятности случайных функций подчиняются нормальному закону. Результаты обработки выборок представлены в табл. 1: где \bar{X} – выборочные средние; σ – среднеквадратические отклонения; v – коэффициенты вариации; τ – интервалы корреляции случайных функций; f – диапазоны их существенных частот. В качестве примера, в табл. приведены характеристики случайного типового процесса (τ , мин; f ,

c^{-1}), рассчитанные с использованием полученной универсальной модели для зерносушилки с пла-

новой производительностью 10 т/ч.

Таблица 1. Оценки характеристик влагосодержания зернового вороха

\bar{X}	σ	v	τ		f	
%	%	%	m^3	мин	m^{-3}	$c^{-1} \cdot 10^{-3}$
15,2...33,6	0,39...1,70	2,2...10,9	0,60...4,85	2,52...19,53	0...8,32	0...3,5

Для определения статистических оценок функционирования получены реализации процессов на входе сушильной камеры и в шестнадцати точках её нижнего горизонтального сечения. Продолжительность реализаций составляла от 3 до 7 часов, период выборки – 3...5 минут. По реализациям процессов вычислялись:

- оценки функции плотности распределения вероятности, их математических ожиданий, среднеквадратических отклонений и коэффициентов вариации;

- оценки корреляционных функций $\rho_x(\tau)$ и функций спектральной плотности $S_x(f)$;

- оценки взаимных корреляционных функций $\rho_{xy}(\tau)$ и функций спектральной плотности $S_{xy}(f)$ процессов на входе и выходе сушильной камеры.

Оценки характеристик зернового вороха на входе и выходе сушильной камеры представлены в табл. 2.

Таблица 2. Характеристики зернового вороха на входе и выходе сушильной камеры

Характеристики вороха	\bar{X}	σ	$v, \%$	$\tau, \text{мин}$	$f, c^{-1} \cdot 10^{-3}$
Влагосодержание					
на входе, %	15,2...33,6	0,7...1,7	2,2...10,9	15...60	0...3,8
на выходе, %	13,5...29,8	0,14...2,6	0,5...12,1	15...68	0...3,9
Температура					
на входе, °C	9,9...18,1	0,4...2,5	3,6...17,1	15...40	0...4,9
на выходе, °C	21,1...31,0	0,23...5,30	1,0...18,1	10...60	0...3,6

Неравномерность поля характеристик вороха в нижнем горизонтальном сечении сушильной камеры оценивалась по отклонениям его влагосодержания W_i и температуры v_{3i} в отдельных точках сечения от средних значений в сечении. Установлено, что отклонения влагосодержания в отдельных точках могут достигать $\pm 2,5 \%$, а температуры – $\pm 7 \text{ }^\circ\text{C}$. Это превышает допуски, задаваемые агротехническими требованиями.

Результаты оценки связей процессов на входе и выходе сушильной камеры представлены в табл. 3. Установлено, что отсутствует корреля-

ционная связь процессов изменения температуры $v_{30}(t)$ и влагосодержания $W_0(t)$ вороха на входе сушилки. Не обнаружено также связи процессов $v_{30}(t) - v_3(t)$ и $v_{30}(t) - W(t)$, что позволяет сделать вывод о том, что начальная температура вороха не оказывает существенного влияния на характеристики вороха внутри сушильной камеры.

Особенностью сушильной камеры является то, что коэффициенты взаимной корреляции процессов $W_0(t)$ и $v_3(t)$, а также $W(t)$ и $v_3(t)$ являются знакопеременными. Это свидетельствует о существовании нелинейной связи процессов.

Таблица 3. Диапазоны изменения коэффициентов взаимной корреляции процессов на входе и выходе сушилки

Процесс	Диапазон изменения
$W_0(t) - v_3(t)$	-0,48...0,32
$W_0(t) - W(t)$	0,39...0,60
$W(t) - v_3(t)$	-0,76...0,38

Динамические характеристики сушильной камеры определялись как в лабораторных, так и производственных условиях. По каналам $W_0(t) - W(t)$ и $W_0(t) - v_3(t)$ динамические характеристики

оценивались путем сравнения функций спектральной плотности процессов на входе и выходе сушильной камеры. Установлено, что спектральный состав сигнала при прохождении через су-

шилку практически не меняется. Это позволяет использовать для аппроксимации динамических свойств сушильной камеры по указанным каналам модель усилительного звена с транспортным запаздыванием (τ_T), табл. 4.

Динамические свойства по каналам передачи управляющих сигналов определены для зерносушилки СЗШ-8 [1] методом типовых воздействий. Результаты идентификации характеристик представлены в табл. 4, а диапазоны изменения постоянных времени передаточных функций и значения статических коэффициентов передачи – в табл. 5 и 6.

Структура передаточных функций и значения их коэффициентов свидетельствуют о сложности процессов протекающих в сушильной камере. Для примера на рис. 2 представлены реакции температуры зерна $\nu_3(t)$ на скачкообразное увеличение производительности $\omega(t)$ её выгрузного аппарата при стабилизированной температуре теплоносителя. Характерным является крат-

ковременное увеличение температуры зерна в начальном периоде процесса. Объясняется это изменением аэродинамических характеристик подвижного зернового слоя в сушилке. Так увеличение скорости перемещения зерна ведет к разуплотнению слоя и снижению его аэродинамического сопротивления. Это вызывает увеличение подачи теплоносителя в сушильную камеру и, при постоянстве его температуры, ведет к увеличению количества теплоты, подводимой к зерну. Вследствие этого увеличивается температура зерна. Превышения температуры $\Delta\nu_3$ для практически встречающихся режимов сушки могут достигать 2...8 °С и – стать опасными для семенных и продовольственных качеств зерна. На втором этапе развития переходного процесса более заметную роль оказывают инерционные процессы тепловлагообмена. С увеличением влагосодержания зерна его температура постепенно понижается.

Таблица 4. Передаточные функции сушильной камеры

Канал передачи сигнала	Передаточная функция
Температура ν_T теплоносителя – температура ν_3 зерна	$\frac{K_{J_T J_3} \cdot e^{-t_0 \cdot p}}{T_2^2 \cdot p^2 + T_1 \cdot p + 1}$
Частота ω колебаний выпускного аппарата – влагосодержание W зерна	$\frac{K_{wW} \cdot e^{-t_0 \cdot p}}{T_2^2 \cdot p^2 + T_1 \cdot p + 1}$
Температура ν_T теплоносителя – влагосодержание W зерна	$\frac{K_{J_T W} \cdot e^{-t_0 \cdot p}}{T_2^2 \cdot p^2 + T_1 \cdot p + 1}$
Частота ω колебаний выпускного аппарата – температура ν_3 зерна	$\frac{K_{wJ_3} (T'' \cdot p^2 + T' \cdot p + 1)}{T_3^3 \cdot p^3 + T_2^2 \cdot p^2 + T_1 \cdot p + 1}$
Влагосодержание W_0 зерна на входе - температура ν_3 зерна на выходе	$K_{W_0 J_3} \cdot e^{-t_T \cdot p}$
Влагосодержание W_0 зерна на входе – влагосодержание W зерна на выходе	$K_{W_0 W} \cdot e^{-t_T \cdot p}$

Таблица 5. Постоянные времени передаточных функций

Постоянная времени	Пределы изменения по каналам передачи, мин			
	($\nu_T - W$)	($\nu_T - \nu_3$)	($\omega - W$)	($\omega - \nu_3$)
T_1	14,38...32,32	10,06...19,53	15,19...31,93	-25,83...-14,24
T_2	6,66...15,36	4,49...9,23	6,76...15,56	7,69...14,39
T_3	–	–	–	-7,98...-4,61
T'	–	–	–	-2,19...68,21
T''	–	–	–	69,14...46,12
τ_0	11,3...12,9	3,7...5,1	6,7...16,7	–

Таблица 6. Статические коэффициенты передачи

Канал передачи	Единица измерения	Пределы изменения
$v_T - v_3$	$^{\circ}\text{C}/^{\circ}\text{C}$	0,035...0,351
$\omega - W$	$\%/ \text{мин}^{-1}$	- 0,034...0,349
$v_T - W$	$\%/^{\circ}\text{C}$	0,007...0,05
$\omega - v_3$	$^{\circ}\text{C}/ \text{мин}^{-1}$	- 1,13...0,785
$W_0 - v_3$	$^{\circ}\text{C}/\%$	- 1,769...1,009
$W_0 - W$	$\%/\%$	0,507...0,932

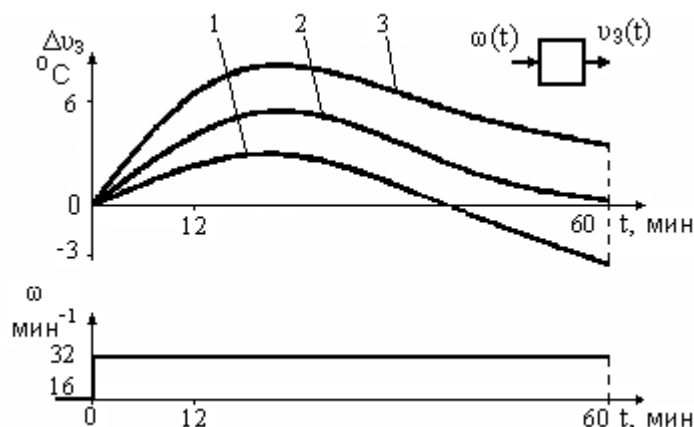


Рис. 2. Переходные процессы на выходе сушильной камеры по каналу $\omega - v_3$ при $v_T = 100^{\circ}\text{C}$:
 1 – $W_0 = 18\%$; 2 – $W_0 = 22\%$; 3 – $W_0 = 26\%$

Установлено, что в результате варьирования начального влагосодержания зерна W_0 в пределах 18...26 %, а частоты ω колебаний каретки выгрузного аппарата от 24 мин⁻¹ до 32 мин⁻¹ установившаяся температура зерна может отклоняться на 15,4...19,6 °С от начального значения. Это подтверждает то, что стабилизация температуры теплоносителя на входе сушильной камеры не обеспечивает стабилизацию температуры зерна при изменениях W_0 и ω . Поэтому, современные сушилки для более качественного выполнения рабочего процесса должны оснащаться системами автоматического контроля и регулирования температуры зерна.

На основании полученных результатов разработана система регулирования процесса сушки зерна, реализующая принцип стабилизации количества теплоты подаваемой в сушильную ка-

меру [2]. Её использование позволяет с меньшей погрешностью осуществлять регулирование тепловых режимов в сушилке и достигнуть лучшего качества выполнения процесса.

Литература

1. Колесов Л. В., Андрианов Н. М. Экспериментальное обоснование совершенствования процесса сушки в шахтных зерносушилках // Сб. науч. тр. ЛСХИ «Методы и средства интенсификации технологических процессов на базе микроэлектроники». – Л., 1990. - С. 69.
2. Патент РФ № 2135917. Способ автоматического регулирования процесса сушки зерна и устройство для его осуществления // Андрианов Н. М. и др. – Бюл. изобретений. - 1999. - № 24.

The identification of the dynamic characteristics of the grain-dryers

Andrianov N. M.

Novgorod state university, Grait Novgorod

The results of the researching the grain-dryers in normal conditions and appreciations of their dynamic characteristics in the form of transmission functions are given. The appreciations of the irregularity of the temperature and humidity of the grain are given, that's why it is necessary to stabilize the quantity of the heat energy which is given in the drying chamber.