

УДК 631.365.22: 681.5.015.42

## ИДЕНТИФИКАЦИЯ ШАХТНОЙ ЗЕРНОСУШИЛКИ В УСЛОВИЯХ НОРМАЛЬНОЙ РАБОТЫ

<sup>1,2</sup>Андрианов Н.М., <sup>2</sup>Мэй Шуньчи, <sup>2</sup>Сюе Юн

<sup>1</sup>Новгородский государственный университет им. Ярослава Мудрого, Великий Новгород, e-mail: Nikolay.Andrianov@novsu.ru;

<sup>2</sup>Уханьский текстильный университет, Ухань, e-mail: meishunqi@vip.sina.com

На основе экспериментальных данных выполнен анализ динамики рабочего процесса в шахтной сушилке. Подтверждено, что сушилка стохастическая – динамическая система. Колебания начальной влажности зерна вызывают значительные колебания его температуры и влажности в сушилке. Период колебаний сопоставим с экспозицией сушки. Получены кривые изменения влажности, температуры зерна и температуры теплоносителя по высоте сушилки. Показаны оценки неравномерности температуры и влажности зерна в нижнем горизонтальном сечении. Установлено, что они превышают допусаемые значения. Обнаружено закономерное изменение температуры зерна. У стенки отводящей камеры зерно нагревается больше, что объясняется неравномерным распределением газа вдоль коробов. В предлагаемой системе обеспечивается равномерное распределение газа. Установлено, что сушилка способна уменьшать дисперсию колебаний влажности зерна. Связь процессов изменения влажности и температуры зерна подтверждена коэффициентами взаимной корреляции. Они принимают как положительные, так и отрицательные значения в зависимости от влажности зерна. Установлено, что основным возмущающим воздействием процесса сушки являются колебания влажности зерна. Они ведут к низкому качеству процесса сушки. Для лучшей стабилизации режимов предложена система регулирования температуры и влажности зерна. Ее использование обеспечивает более интенсивную сушку.

**Ключевые слова:** зерносушилка шахтная, режимы сушки, регулирование, идентификация, оптимизация

## IDENTIFICATION OF SHAFT DRYER IN THE CONDITIONS OF NORMAL WORK

<sup>1,2</sup>Andrianov N.M., <sup>2</sup>Mei Shunqi, <sup>2</sup>Xue Yong

<sup>1</sup>Novgorod State University, Veliky Novgorod, e-mail: Nikolay.Andrianov@novsu.ru;

<sup>2</sup>Wuhan Textile University, Wuhan, e-mail: meishunqi@vip.sina.com

Based on experimental data the analysis of the dynamics of the workflow in the dryer shaft executed. Confirmed that the dryers is a stochastic dynamic system. The initial fluctuations of grain humidity cause significant fluctuations of temperature and humidity of grain in the dryer. Period of oscillations is comparable with the exposition of drying. The curves changes in moisture content, grain temperature and coolant temperature along the height of the dryer received. Evaluations of non-uniformity of temperature and grain moisture in the lower horizontal section is shown. Established that they exceed the permissible value. Discovered a natural change in the temperature of the grain. At the wall outlet chamber of the grain heated more, due to the uneven distribution of gas along the boxes. The proposed system ensured uniform gas distribution. Established that the dryer can reduce the variance of the fluctuations in the moisture of the grain. The interplay between changes of grain humidity and of grain temperature confirmed the correlation coefficients. They take both positive and negative values, depending on the humidity content of grain. Established that the main perturbing influence of the drying process are fluctuations the moisture content of the grain. They lead to low quality of the drying process. For better stabilization regimes offered system of regulation of temperature and moisture of grain. Its use provides a more intensive drying.

**Keywords:** the dryer shaft, drying regimes, regulation, identification, optimization

Стохастическое изменение характеристик потока зернового вороха, поступающего в сушилку [1, 2], возбуждает колебания переменных состояния ее рабочего процесса, что неизбежно сказывается на качестве его выполнения. Исследования подтверждают, что выполнить процесс сушки в соответствии с агротехническими требованиями [3–7] сложно. Это вызвано не только колебаниями характеристик потока вороха, но и техническими особенностями сушилок, их систем управления и действиями оператора.

Оценка изменчивости переменных состояния рабочего процесса сушилок в условиях производства позволяет получить достоверную информацию о качестве его выполнения, что сложно сделать, применяя

детерминированные методы. Анализ структуры и взаимной связи процессов функционирования сушилки позволяет оценить ее динамические свойства как объекта управления и выработать рекомендации для их оптимизации.

### Цель исследования

Изучение динамики процессов функционирования шахтной зерносушилки и их оптимизация.

### Материалы и методы исследования

Анализ процессов выполнен на основе экспериментальных данных, полученных в результате исследования шахтной сушилки СЗШ-16А в условиях производства, с использованием методов статистической динамики.

### Результаты исследования и их обсуждение

Сушилка как объект управления сложная динамическая система [3–7], входные и выходные переменные которой взаимосвязаны. Состояние процесса определяется температурой  $\vartheta_3(t)$  и влажностью  $W(t)$  зерна, их начальные значения  $\vartheta_{30}(t)$  и  $W_0(t)$  определяют условия сушки, а температура теплоносителя  $\vartheta_1(t)$  и экспозиция  $\omega(t)$  – режим обработки.

Статистические характеристики переменных состояния процесса сушки (табл. 1 и 2) подтверждают, что входные переменные  $\vartheta_{30}(t)$  и  $W_0(t)$  в течение времени изменяются стохастически в широких пределах, что возбуждает колебания выходных переменных  $\vartheta_3(t)$  и  $W(t)$  в интервале, превышающем агротехнический допуск [15].

При изменении температуры теплоносителя  $\vartheta_1(t)$  в диапазоне 57,4...97,4 °С в камере сушки удавалось снизить влажность зерна на 2,1...8,8%, при этом его нагрев оставался ниже предельно допустимого, что свидетельствует о низкой интенсивности применяемых режимов. Средние расходы теплоноси-

теля в опытах поддерживались в диапазоне 9,9...11,8 м<sup>3</sup>/с при среднеквадратических отклонениях  $\sigma = 0,6...2,7$  (м<sup>3</sup>/с)<sup>2</sup>. Влагосодержание теплоносителя на выходе из камеры сушки изменялось в диапазоне 36,0...82,3% при  $\sigma = 4,6...12,5$  (%)<sup>2</sup>.

Температура теплоносителя в подводящих коробах центрального вертикального сечения камеры сушки распределена достаточно равномерно. Её отклонения от среднего по высоте камеры значения укладываются в диапазон 1,0...3,4 °С.

На рис. 1 представлено изменение температуры и влажности зерна по высоте камеры сушки. В ее верхней части характерно интенсивное увеличение температуры зерна, которое продолжается приблизительно до 6-го ряда коробов. В средней части рост температуры замедляется, но возрастает скорость влагоудаления. Начиная приблизительно с 12-го ряда коробов, температура зерна вновь повышается интенсивнее. На уровне последнего ряда температура зерна стабилизируется или даже снижается, что объясняется подсосом атмосферного воздуха через выгрузной аппарат сушилки.

Таблица 1

Статистические характеристики переменных на входе и выходе сушилки

Опыт	Вид зерна	Разводка выгрузного аппарата, град.	Зона контроля в сушилке	Переменная					
				Температура теплоносителя		Влажность зерна		Температура зерна	
				$m_{\vartheta_1}$ , °С	$\sigma_{\vartheta_1}$ , °С <sup>2</sup>	$m_W$ , %	$\sigma_W$ , (% <sup>2</sup> )	$m_{\vartheta_3}$ , °С	$\sigma_{\vartheta_3}$ , °С <sup>2</sup>
1	овес	16,5	на входе	64,6	0,8	33,6	1,7	14,7	2,5
			на выходе	29,9	1,5	25,5	1,2	28,0	1,0
2	овес	16,5	на входе	67,6	0,6	31,3	1,6	18,1	2,5
			на выходе	33,9	1,7	22,7	1,2	30,0	1,1
3	ячмень	22,0	на входе	62,1	0,52	31,1	2,6	10,4	1,0
			на выходе	31,8	3,1	28,8	1,8	26,7	1,7
4	ячмень	15,0	на входе	69,2	0,8	28,4	2,0	9,9	0,4
			на выходе	25,8	2,8	24,1	1,7	25,7	1,8
5	ячмень	15,0	на входе	70,3	0,6	19,8	2,4	11,5	1,0
			на выходе	27,4	2,9	14,5	1,6	31,8	3,6
6	ячмень	21,2	на входе	71,8	1,0	30,5	2,6	13,1	0,8
			на выходе	29,0	1,5	21,7	1,6	27,6	1,8
7	ячмень	17,0	на входе	68,4	1,0	28,3	1,5	12,8	0,8
			на выходе	30,1	1,7	21,0	0,9	25,1	2,7
8	ячмень	19,8	на входе	83,5	0,75	19,8	2,4	10,9	1,6
			на выходе	36,8	2,5	14,5	1,6	26,4	2,3
9	ячмень	22,0	на входе	57,4	0,7	16,4	1,06	12,2	0,7
			на выходе	29,9	3,0	14,3	0,87	24,0	0,8
10	пшеница	30,0	на входе	97,4	0,72	22,3	1,9	16,9	1,6
			на выходе	47,5	2,1	14,3	1,2	37,3	1,7
11	пшеница	25,0	на входе	92,4	0,9	23,8	2,8	20,5	1,2
			на выходе	40,4	2,7	16,9	2,3	41,8	3,4
12	пшеница	22,0	на входе	90,5	0,8	23,3	2,4	18,6	1,1
			на выходе	40,3	2,6	18,6	2,0	36,5	3,1

Таблица 2

Статистические характеристики переменных в центральном вертикальном сечении камеры сушки

Ряд отводящих коробов	Переменная							
	Влажность зерна		Температура зерна		Температура теплоносителя в подводящем коробе		Температура теплоносителя в отводящем коробе	
	$m_{п}, \%$	$\sigma_{п}, (\%)^2$	$m_{93}, ^\circ\text{C}$	$\sigma_{93}, ^\circ\text{C}^2$	$m_{910}, ^\circ\text{C}$	$\sigma_{91}, ^\circ\text{C}^2$	$m_{91}, ^\circ\text{C}$	$\sigma_{91}, ^\circ\text{C}^2$
Ячмень «Пиррка». Разводка выгрузного аппарата 15°								
2	19,0	2,4	11,5	1,0	66,9	0,6	16,4	1,2
4	18,8	2,4	18,0	1,7	—	—	—	—
6	18,1	2,1	22,6	2,1	69,1	0,5	26,1	1,9
8	17,1	2,3	24,6	2,3	69,1	0,5	29,4	2,2
9	16,6	2,2	26,6	2,7	—	—	—	—
10	16,1	2,0	28,0	2,6	—	—	—	—
11	15,9	1,9	29,2	2,6	69,4	0,6	34,4	2,4
12	15,6	2,0	30,1	2,8	—	—	—	—
13	15,5	1,8	30,9	2,7	—	—	—	—
14	15,1	1,8	31,8	2,9	69,6	0,6	36,9	2,8
15	14,8	1,7	33,0	3,0	—	—	—	—
16	14,5	1,6	31,8	3,6	70,3	0,6	32,4	2,9

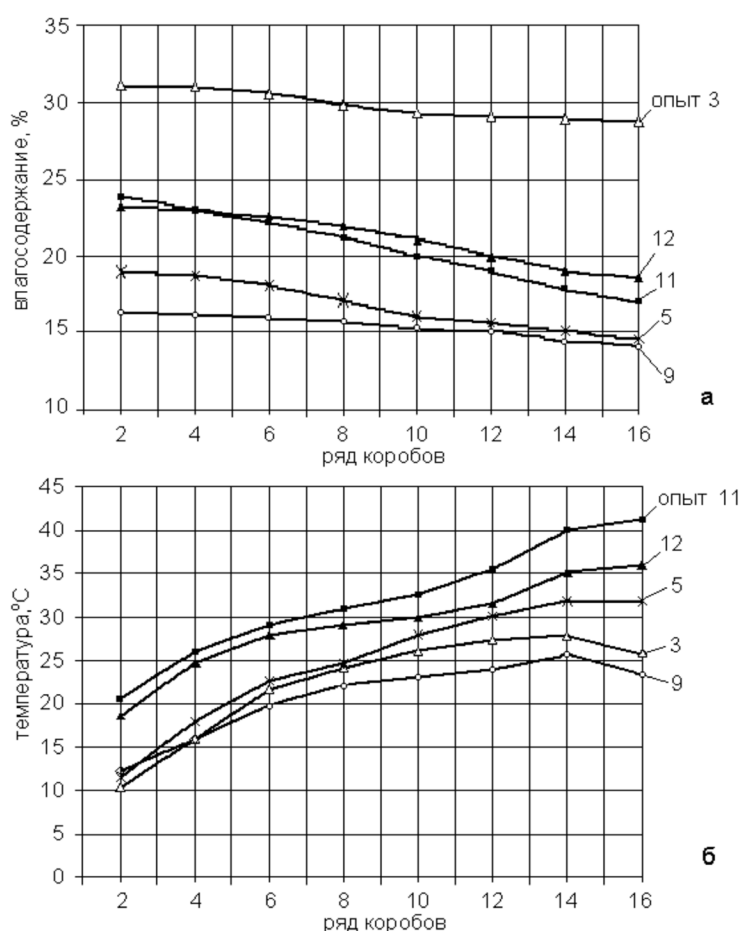


Рис. 1. Изменение влагосодержания (а) и температуры (б) зерна по высоте камеры сушки

Это подтверждается изменением температуры теплоносителя в отводящих коробах (рис. 2). Для большинства опытов характерно повышение температуры отработанного теплоносителя по мере сушки зерна и уменьшение его температуры на  $2,0...10,9^{\circ}\text{C}$  к последнему ряду коробов. Изменение средних температур теплоносителя по высоте камеры составило  $7,3...20,4^{\circ}\text{C}$ .

Среднеквадратические отклонения колебаний влажности зерна к выходу из сушильной камеры понижаются (табл. 1 и 2), что свидетельствует о её способности сглаживать их амплитуду, а температуры зерна и теплоносителя, наоборот, повышаются. Отношение дисперсии колебаний влажности зерна на выходе камеры к дисперсии колебаний влажности на её входе укладывается в диапазон  $0,61...0,85$ .

Разброс средних температур теплоносителя в горизонтальном сечении камеры сушки достигает  $1,0...8,9^{\circ}\text{C}$ , разброс влажностей зерна составляет  $1,4...12,9\%$ , а разброс тем-

ператур зерна –  $5,4...25,2^{\circ}\text{C}$  для 14-го ряда. Это значительно превышает задаваемую агротехническими требованиями [15] неравномерность выполнения процесса сушки.

Какой-либо устойчивой закономерности в распределении полей температуры и влажности зерна по ширине камеры не обнаружено. Однако обнаружена закономерность изменения температуры зерна вдоль коробов. Во всех опытах (рис. 3) наблюдались более высокие температуры зерна вблизи отводящего диффузора. Это является следствием неравномерного распределения теплоносителя вдоль коробов [8–9]. В конце коробов у стенки отводящего диффузора подача теплоносителя больше, чем в их средней части, что определяет больший подвод тепловой энергии к зерну. Изменение температуры зерна вдоль короба достигает  $4,9...25,2^{\circ}\text{C}$ . Для эффективного перераспределения потоков газа вдоль коробов могут быть использованы мероприятия, предложенные в [8–11].

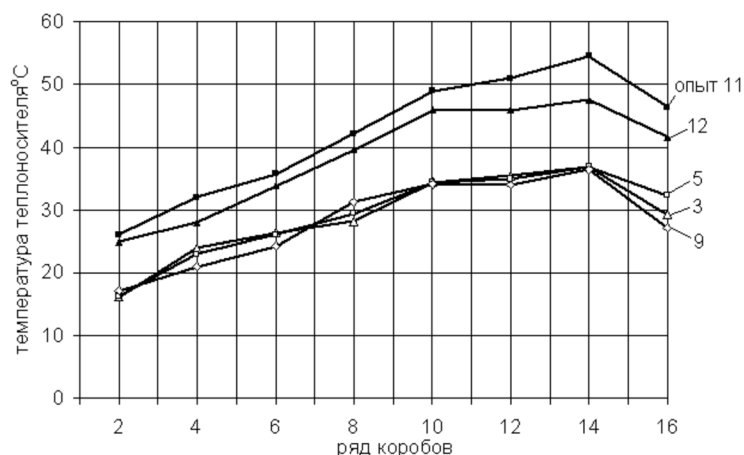


Рис. 2. Изменение температуры теплоносителя по высоте камеры сушки

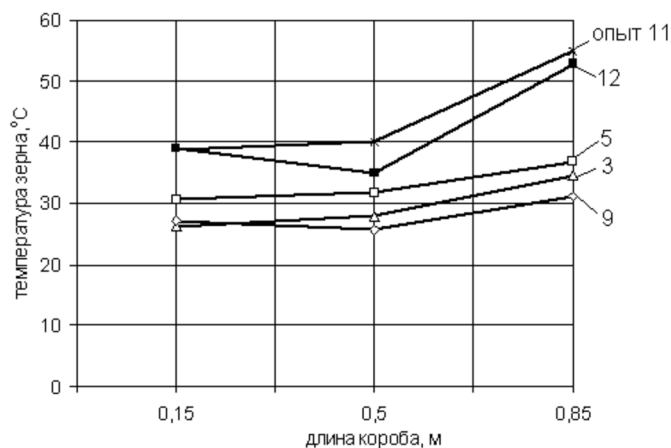


Рис. 3. Изменение температуры зерна вдоль коробов 14-го ряда

**Таблица 3**  
Динамические характеристики процессов на входе и выходе камеры сушки

Процесс	$\rho$ , мин	$f$ , $c^{-1} \cdot 10^{-3}$
$W_0(t)$	15...60	6,0...13,0
$\vartheta_{30}(t)$	18...67	5,5...15,0
$W(t)$	27...63	6,3...13,8
$\vartheta_3(t)$	15...46	7,0...13,5

По реализациям случайных процессов вычислены оценки нормированных корреляционных функций и функций спектральной плотности (табл. 3 и 4). Анализ типичных сглаженных оценок нормированных корреляционных функций (рис. 4) позволяет сделать вывод об их эргодических свойствах. Период колебаний существенных частот оказался сопоставим с экспозицией сушки.

Интервалы корреляции  $\rho$  и граничные частоты  $f$  процесса изменения влажности зерна  $W(t)$  по высоте камеры сушки (табл. 4) практически не изменяются. Это подтверждает, что сушилка как динамическое звено не ме-

няет структуру (частотный состав) процесса  $W(t)$ . Стабильным по высоте камеры сохраняется также частотный состав процесса изменения температуры теплоносителя  $\vartheta_1(t)$ .

Меняются по высоте камеры показатели процесса изменения температуры зерна  $\vartheta_3(t)$ . По мере его нагрева и обезвоживания интервалы корреляции и граничные частоты постепенно приближаются к аналогичным показателям процесса  $W(t)$ . Это подтверждает связь между ними.

Взаимные корреляционные функции процессов по каналам преобразования возмущающих воздействий подтверждают существование между ними тесной корреляционной связи, сдвиг максимума которой практически равен экспозиции. Коэффициенты взаимной корреляции процессов  $W_0(t) - \vartheta_3(t)$  и  $\vartheta_3(t) - \vartheta_3(t)$  в зависимости от режима сушки переменны и принимают как положительные, так и отрицательные значения (табл. 5). При низких влажностях зерна ( $W_0 < 20\%$ ) коэффициенты отрицательны, а при высоких – положительные.

**Таблица 4**  
Динамические характеристики процессов внутри камеры сушки

Ряд коробов	Процессы					
	$W(t)$		$\vartheta_3(t)$		$\vartheta_T(t)$	
	$\rho_{W^2}$ мин	$f_{W^2}$ $c^{-1} \cdot 10^{-3}$	$\rho_{\vartheta_3^2}$ мин	$f_{\vartheta_3^2}$ $c^{-1} \cdot 10^{-3}$	$\rho_{\vartheta_T^2}$ мин	$f_{\vartheta_T^2}$ $c^{-1} \cdot 10^{-3}$
2	27,0...43,0	9,0...10,5	12,0...30,0	6,0...16,5	12,0...51,0	7,0...22,5
6	23,0...43,0	9,0...10,5	12,0...36,0	7,5...16,5	12,0...33,0	6,0...16,5
8	25,0...33,0	7,5...10,5	12,0...36,0	7,5...16,5	15,0...39,0	6,0...16,5
11	20,0...25,0	7,5...9,0	12,0...35,0	10,5...18,5	15,0...35,0	7,5...18,0
14	25,0...30,0	6,0...7,5	13,5...39,0	7,5...24,0	10,0...35,0	6,0...16,5
15	20,0...40,0	6,0...10,5	15,0...40,0	7,5...12,0	12,0...42,0	6,0...18,0

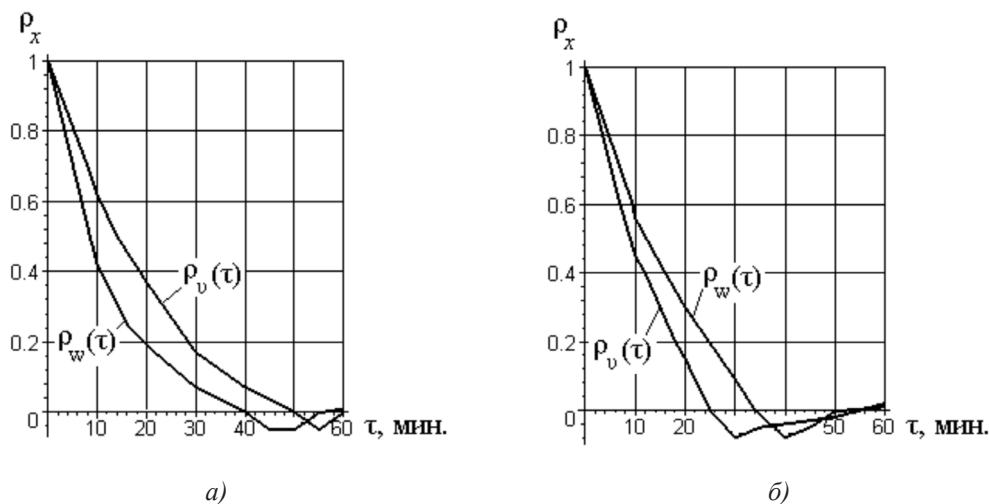


Рис. 4. Нормированные корреляционные функции процессов изменения  $\vartheta_3(t)$  и  $W(t)$  зерна на входе (а) и на выходе (б) из сушилки

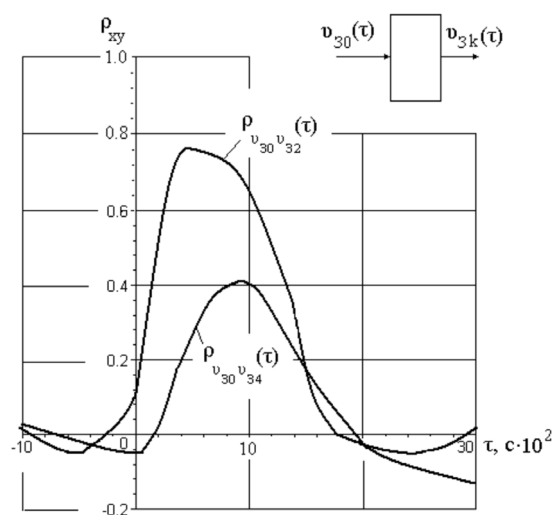


**Таблица 5**  
Коэффициенты взаимной  
корреляции процессов

Процессы	Значения
$W_0(t) - \vartheta_3(t)$	$-0,48 \dots 0,32$
$W_0(t) - W(t)$	$0,37 \dots 0,61$
$W(t) - \vartheta_3(t)$	$-0,77 \dots 0,39$

Наибольшие значения коэффициента корреляции процессов  $W(t) - \vartheta_3(t)$  соответствуют зерновому слою с низкой влажностью ( $W < 16\%$ ), что подтверждает возможность косвенной оценки его влажности по температуре нагрева. Это можно использовать в системах для принятия оперативного решения об окончании сушки.

Положительная корреляционная связь процессов  $\vartheta_{30}(t) - \vartheta_3(t)$  обнаружена в верхней части камеры сушки. Однако по мере удаления зоны сушки от начала камеры коэффициент взаимной корреляции процессов интенсивно убывает (рис. 5), сдвиг максимума корреляционной связи обусловлен транспортным запаздыванием. В зонах, расположенных ниже шестого ряда коробов (1/3 часть высоты камеры), корреляционной связи процессов  $\vartheta_{30}(t) - \vartheta_3(t)$  не обнаружено, но обнаружена тесная связь процессов  $W_0(t) - \vartheta_3(t)$ , чем подтверждается, что основным возмущающим воздействием сушки являются колебания  $W_0(t)$ .



*Рис. 5. Нормированные взаимные корреляционные функции процессов  $\vartheta_{30}(t) - \vartheta_3(t)$  на уровне второго и четвертого ряда отводящих коробов*

Принимая гипотезу о нормальном законе распределения случайной функции изменения влажности зерна на выходе камеры сушки, определена вероятность её

пребывания в заданном агротехническими требованиями [15] симметричном допуске ( $\Delta_W = \pm 1,5\%$ ), которая при среднеквадратических отклонениях, укладываемых в диапазон  $\sigma_W = 0,9 \dots 2,3(\%)^2$ , составляет  $P_\Delta = 0,48 \dots 0,90$ . Это подтверждает низкое качество выполнения рабочего процесса в сушилках и обуславливает необходимость разработки мероприятий, уменьшающих дисперсию колебаний влажности зерна в процессе сушки. Эффективное решение такой задачи может быть достигнуто применением системы управления, предложенной в [12–14].

### Заключение

Полученная информация характеризует сушилку как стохастическую, распределённую, многосвязную динамическую систему, обладающую транспортным запаздыванием и нелинейными (а по ряду каналов экстремальными) связями между основными переменными состояния её рабочего процесса. Колебания начальной влажности зерна вызывают значительные колебания его температуры и влажности в сушилке, период которых сопоставим с экспозицией сушки. Сушилка способна уменьшать дисперсию колебаний влажности зерна, тем не менее, неравномерность нагрева и сушки зерна во времени и пространстве её рабочей камеры превышает агротехнические допуски, что подтверждает низкое качество выполнения рабочего процесса. Установлено, что у стенки отводящей камеры зерно нагревается больше, чем в центральной части распределительных коробов, что объясняется неравномерным распределением газа вдоль них. Для повышения качества и интенсивности сушки предложены усовершенствованные системы распределения газа и управления рабочим процессом.

### Список литературы

1. Андрианов Н.М. Оценка статистических характеристик потока зернового вороха, поступающего в сушилку / Н.М. Андрианов, С.К. Манасян и др. // Тракторы и сельхозмашины. – 2015. – № 2. – С. 20–22.
2. Андрианов Н.М. Задание начальных условий и стохастической составляющей математической модели процесса сушки зерновых сушилок / Н.М. Андрианов, Шуньчи Мэй и др. // Ползуновский альманах. – 2014. – № 2. – С. 30–35.
3. Андрианов Н.М. Регулирование тепловых режимов в сушилках с гравитационным движущимся слоем / Н.М. Андрианов, А.Д. Галкин и др. // Тракторы и сельхозмашины. – 2014. – № 4. – С. 30–33.
4. Андрианов Н.М. Тепловые режимы в шахтных зерносушилках / Н.М. Андрианов, А.Д. Галкин и др. // Сельский механизатор. – 2014. – № 9. – С. 12–13.
5. Андрианов Н.М. Обоснование системы стабилизации потока теплоты для зерносушилок шахтного типа / Н.М. Андрианов, Шуньчи Мэй // Фундаментальные исследования. – 2014. – № 8 (часть 7). – С. 1518–1523.

6. Андрианов Н.М. Контроль и регулирование температуры зерна в шахтных сушилках / Н.М. Андрианов, Шунчи Мэй // *Тракторы и сельхозмашины*. – 2014. – № 8. – С. 9–13.

7. Андрианов Н.М. Обоснование системы регулирования температуры зерна для сушилок шахтного типа / Н.М. Андрианов, Шунчи Мэй // *Фундаментальные исследования*. – 2014. – № 11 (часть 2). – С. 259–265.

8. Андрианов Н.М. Совершенствование системы распределения теплоносителя шахтных зерносушилок / Н.М. Андрианов, А.В. Николаенко // *Вестник Новгородского государственного университета им. Ярослава Мудрого*. – 2013. – Т. 2, № 71. – С. 4–7.

9. Андрианов Н.М. Оптимизация системы распределения газа шахтных зерносушилок / Н.М. Андрианов // *Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета*. – 2008. – № 10. – С. 160–164.

10. Андрианов Н.М. Устройство распределения газа в шахтной зерносушилке / Н.М. Андрианов // *Патент RU 2269079*. 2006, Бюл. № 07.

11. Андрианов Н.М. Способ распределения газа в шахтной зерносушилке и устройство для его осуществления / Н.М. Андрианов, М.А. Иванов // *Патент RU 2538185*. 2015, Бюл. № 01.

12. Андрианов Н.М. Способ автоматического регулирования процесса сушки зерна и устройство для его осуществления / Н.М. Андрианов, Л.В. Колесов и др. // *Патент RU 2157958*. 2000, Бюл. № 29.

13. Андрианов Н.М. Способ автоматического регулирования процесса сушки зерна в шахтной зерносушилке и устройство для его осуществления / Н.М. Андрианов, Л.В. Колесов и др. // *Патент RU 2018076*. 1994, Бюл. № 15.

14. Андрианов Н.М. Способ автоматического регулирования процесса сушки зерна и устройство для его осуществления / Н.М. Андрианов // *Патент RU 2135917*. 1999, Бюл. № 24.

15. Чижиков А.Г. Операционная технология послеуборочной обработки и хранения зерна (в Нечерноземной зоне). – М.: Россельхозиздат, 1981. – 191 с.

### References

1. Andrianov N.M. Ocenka statisticheskikh karakteristik potoka zernovogo voroha, postupajushhego v sushilku / N.M. Andrianov, S.K. Manasjan i dr. // *Traktory i selhozmashiny*. 2015. no. 2. pp. 20–22.

2. Andrianov N.M. Zadanie nachalnykh uslovij i stohasticheskoj sostavljajushhej matema-ticheskoj modeli processa sushki zernovyh sushilok / N.M. Andrianov, Shunchi Mjej i dr. // *Polzovskij almanah*. 2014. no. 2. pp. 30–35.

3. Andrianov N.M. Regulirovanie teplovyh rezhimov v sushilках s gravitacionnym dvizhushhimsja sloem / N.M. Andrianov, A.D. Galkin i dr. // *Traktory i selhozmashiny*. 2014. no. 4. pp. 30–33.

4. Andrianov N.M. Teplovye rezhimy v shahtnyh zernosushilках / N.M. Andrianov, A.D. Galkin i dr. // *Selskij mehanizator*. 2014. no. 9. pp. 12–13.

5. Andrianov N.M. Obosnovanie sistemy stabilizacii potoka teploty dlja zernosushi-lok shahtnogo tipa / N.M. Andrianov, Shunchi Mjej // *Fundamentalnye issledovanija*. 2014. no. 8 (chast 7). pp. 1518–1523.

6. Andrianov N.M. Kontrol i regulirovanie temperatury zerna v shahtnyh sushilках / N.M. Andrianov, Shunchi Mjej // *Traktory i selhozmashiny*. 2014. no. 8. pp. 9–13.

7. Andrianov N.M. Obosnovanie sistemy regulirovanija temperatury zerna dlja sushilok shahtnogo tipa / N.M. Andrianov, Shunchi Mjej // *Fundamentalnye issledovanija*. 2014. no. 11 (chast 2). pp. 259–265.

8. Andrianov N.M. Sovershenstvovanie sistemy raspredelenija gaza shahtnyh zernosushilok / N.M. Andrianov, A.V. Nikolaenok // *Vestnik Novgorodskogo gosudarstvennogo uni-versiteta im. Jaroslava Mudrogo*. 2013. T. 2, no. 71. pp. 4–7.

9. Andrianov N.M. Optimizacija sistemy raspredelenija teplonositelja shahtnyh zerno-sushilok / N.M. Andrianov // *Izvestija Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo uni-versiteta*. 2008. no. 10. pp. 160–164.

10. Andrianov N.M. Ustrojstvo raspredelenija gaza v shahtnoj zernosushilке / N.M. Andrianov // *Patent RU 2269079*. 2006, Bjul. no. 07.

11. Andrianov N.M. Sposob raspredelenija gaza v shahtnoj zernosushilке i ustrojstvo dlja ego osushhestvlenija / N.M. Andrianov, M.A. Ivanov // *Patent RU 2538185*. 2015, Bjul. no. 01.

12. Andrianov N.M. Sposob avtomaticheskogo regulirovanija processa sushki zerna i ustrojstvo dlja ego osushhestvlenija / N.M. Andrianov, L.V. Kolesov i dr. // *Patent RU 2157958*. 2000, Bjul. no. 29.

13. Andrianov N.M. Sposob avtomaticheskogo regulirovanija processa sushki zerna v shahtnoj zernosushilке i ustrojstvo dlja ego osushhestvlenija / N.M. Andrianov, L.V. Kolesov i dr. // *Patent RU 2018076*. 1994, Bjul. no. 15.

14. Andrianov N.M. Sposob avtomaticheskogo regulirovanija processa sushki zerna i ustrojstvo dlja ego osushhestvlenija / N.M. Andrianov // *Patent RU 2135917*. 1999, Bjul. no. 24.

15. Chizhikov A.G. Operacionnaja tehnologija posleuborochnoj obrabotki i hranenija zerna (v Nechernozemnoj zone). M.: Rossel'hozizdat, 1981. 191 p.

### Рецензенты:

Волхонов М.С., д.т.н., профессор, проректор по учебной работе Костромской государственной сельскохозяйственной академии, Костромская область, п. Караваяво;

Швецов И.В., д.т.н., профессор, заведующий кафедрой промышленной энергетики Новгородского государственного университета им. Ярослава Мудрого, г. Великий Новгород.

Работа поступила в редакцию 15.04.2015.