

УДК 631.365.22: 664.723

ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ПРОЦЕССА СУШКИ В БАРАБАННЫХ ЗЕРНОСУШИЛКАХ

^{1,2}Андрианов Н.М., ²Мэй Шуньчи, ²Сюе Юн

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

²Уханьский текстильный университет, Ухань, Китай, e-mail: meishunqi@vip.sina.com

Цель исследования – совершенствование технологических режимов барабанных зерносушилок и их системы контроля. В работе приведены результаты экспериментальных исследований сушилки в условиях производства и результаты математического моделирования ее рациональных режимов. Полученная информация характеризует сушилку как стохастическую, распределённую, многосвязную динамическую систему, обладающую транспортным запаздыванием и нелинейными связями между основными переменными состояния её рабочего процесса. Колебания начальной температуры и 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 ее рабочей камеры превышает агротехнические допуски. Установлено, что температура зерна достигает максимального значения в средней части рабочей камеры, а на выходе из неё понижается на 1,2...15,0 градусов. Значения максимальной температуры и скорости влагоудаления здесь очень близки к предельно допустимым, что может являться причиной ухудшения качественных показателей зерна. Следовательно, контроль интенсивности сушки необходимо осуществлять не на выходе из рабочей камеры, а в зоне с максимальным нагревом зерна. Возможно увеличение интенсивности сушки в 1,3–1,5 раза за счет предварительного нагрева зерна. Однако температура предварительного нагрева зерна ограничена достигаемой интенсивностью процесса внутри рабочей камеры. В сушильной линии из нескольких барабанных сушилок возможно реализовать распределенное управление режимами сушки.

Ключевые слова: сушилка барабанная, режимы сушки, моделирование, интенсификация

INTENSIFICATION OF THE DRYING PROCESS IN THE DRUM GRAIN DRYERS

^{1,2}Andrianov N.M., ²Mei Shunqi, ²Xue Yong

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

²Wuhan Textile University, Wuhan, China, e-mail: meishunqi@vip.sina.com

Research objective – improvement of technological modes of drum grain dryers and their control systems. The paper presents the results of experimental study of dryer in production conditions and the results of mathematical modeling of its rational modes. The information obtained characterizes the dryer as stochastic, distributed, interconnected dynamic system with transportation lag and non-linear relationships between the key variables of the condition of her working process. Fluctuations of the initial temperature and humidity of grain cause significant fluctuations of the temperature and humidity of grain in the dryer, the period of which is comparable to the exposition of drying. The dryer is able to reduce the variance of the fluctuations of the grain humidity, however, the uneven heating and drying of grain in time and space of the working chamber exceeds the agro technical limits. Found that the temperature of the grain reaches a maximum in the middle part of the working chamber, and on the exit from it drops on 1,2...15,0 degrees. The value maximum of temperature and rate of drying of grain here very close to maximum permissible, which may cause deterioration of grain quality indicators. Consequently, controlling of the intensity of drying need always perform not at the outlet of the working chamber and in the zone of maximum heating of the grain. Possible increase intensity of drying in 1,3–1,5 times due to the preliminary of heating of the grain. However, the temperature of the preliminary of heating of the grain is limited to the attainable intensity of the process inside the working chamber. In the line drying from several the drum dryers possible to implement the distributed control of modes of drying.

Keywords: the dryer drum, drying regimes, modeling, intensification

Зерно, обработанное в барабанных сушилках, часто теряет свои технологические свойства, по этой причине у сушильщиков возникают затруднения с выбором оптимальных режимов его обработки [1–4, 13, 14]. Это объясняется тем, что рабочая камера сушилки является сложным и недостаточно изученным объектом управления, а ее система контроля над протеканием процесса недостаточно надежна. В связи с этим возникла необходимость дополнительного изучения рабочего процесса сушилок.

Цель исследования – совершенствование технологических режимов барабанных зерносушилок и системы контроля над их протеканием.

Материалы и методы исследования

В работе приведены результаты экспериментальных исследований сушилки СЗСБ-4 в условиях производства, а также результаты математического моделирования ее рациональных режимов.

Решалась задача определения взаимных связей между входными и выходными переменными процесса сушки (рис. 1), состояние которого определяется

температурой теплоносителя $\vartheta_T(t)$, 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 $\vartheta_{T0}(t)$ и экспозиция $G(t)$ – режим обработки.

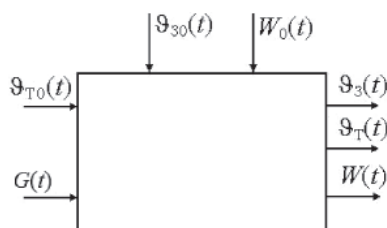


Рис. 1. Модель рабочего процесса барабанной сушилки

При исследовании экспозицию сушки $G(t)$ и температуру теплоносителя $\vartheta_{T0}(t)$ на входе в рабочую камеру стабилизировали автоматически. Значение экспозиции задавали изменением подачи зернового вороха. Температуру и влажность зерна фиксировали на входе и выходе, а также в различных точках по длине рабочей камеры. Температуру теплоносителя фиксировали на ее выходе.

Измерение температуры и влажности зерна в камере осуществляли методом отбора проб. Для этого в стенке камеры выполнили отверстия, снабженные за-

движками с электромагнитным приводом. Устройство позволило осуществить периодический отбор проб без остановки вращения рабочей камеры. Каждая проба автоматически ссыпалась в термос, где измерялись ее температура и влажность. Расположение мест отбора проб относительно начала камеры показано в табл. 2.

Обрабатывали культуру рожь «Вятка» семенного, продовольственного и фуражного назначения. Подачу вороха $G(t)$ в опытах поддерживали в интервале 1,4...4,4 т/ч, температуру теплоносителя $\vartheta_{T0}(t)$ – в интервале 100...250°C. Продолжительность опытов в разные дни составила 4...6 часов. Это позволило на входе и выходе камеры получать 60...100 измерений при интервале фиксации процессов 3 минуты, а внутри камеры – 24...36 измерений при интервале фиксации 10 минут. Всего получено 24 стационарных реализации. Полученные результаты обработаны статистическими методами.

Результаты исследования и их обсуждение

Статистические характеристики переменных состояния процесса сушки (табл. 1) 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 [5–8, 15].

Таблица 1

Статистические характеристики переменных на входе и выходе сушилки

Номер опыта	На входе						На выходе					
	G , т/ч	ϑ_{T0} , °C	W_0 , %	$\sigma_{W_0}^2$ (% ²)	ϑ_{30} , °C	$\sigma_{\vartheta_{30}}^2$, °C ²	W , %	σ_W^2 (% ²)	ϑ_3 , °C	$\sigma_{\vartheta_3}^2$, °C ²	ϑ_T , °C	$\sigma_{\vartheta_T}^2$, °C ²
1	2,4	150	26,6	0,55	22,5	0,60	19,5	0,49	40,0	0,56	56,0	0,64
2	4,4	150	25,4	0,51	22,0	0,35	21,5	0,46	38,0	0,81	49,0	1,02
3	4,4	200	25,4	1,84	22,0	0,38	20,3	1,62	45,0	1,29	57,0	1,53
4	4,4	100	25,4	2,11	22,0	0,76	23,0	2,05	32,5	2,16	41,0	2,09
5	3,4	150	27,9	1,64	11,5	1,11	23,5	1,32	31,5	1,56	50,0	1,69
6	3,4	250	26,5	1,92	13,0	0,96	17,2	1,53	46,0	2,06	90,0	2,59
7	3,4	200	26,1	0,71	14,5	0,69	17,3	0,45	44,0	1,03	86,0	2,16
8	1,4	100	26,0	0,52	14,0	0,86	21,0	0,41	37,0	1,13	52,0	1,64
9	1,4	200	25,9	1,56	15,0	1,03	14,0	1,09	63,0	1,82	81,0	1,45
10	1,4	250	25,9	1,32	15,5	0,92	13,0	0,63	65,0	0,96	98,0	1,29
11	1,4	150	23,2	0,52	15,0	1,23	17,0	0,43	49,0	0,56	67,0	0,63
12	1,4	150	20,8	0,55	27,8	1,21	15,8	0,42	52,0	0,45	84,0	0,85
13	3,4	150	21,2	0,98	28,0	1,32	16,4	0,69	46,0	1,34	62,0	1,54
14	4,4	150	21,2	0,51	28,0	0,95	18,1	0,39	42,5	0,84	54,0	1,11
15	2,4	150	21,2	0,54	28,5	0,89	16,3	0,36	52,0	0,78	62,0	0,88
16	2,4	250	20,8	0,56	30,0	1,29	11,0	0,37	68,0	1,15	92,0	1,45
17	2,4	100	22,3	1,96	10,5	0,69	19,8	1,38	31,5	2,05	45,0	2,65
18	2,4	200	22,0	2,09	12,0	0,97	16,0	1,32	44,5	1,84	64,0	1,56
19	2,4	250	21,0	1,41	13,0	1,06	14,8	0,86	52,0	1,28	82,0	1,92
20	3,4	150	18,2	1,24	9,0	1,06	16,2	1,02	35,0	1,56	52,0	1,78
21	3,4	100	19,0	1,29	8,5	1,32	17,2	1,13	29,5	1,39	38,0	1,68
22	1,4	100	21,0	0,96	8,5	1,56	16,7	0,81	34,0	1,22	52,0	1,65
23	4,4	200	20,1	0,62	15,5	0,69	16,2	0,53	41,5	0,92	63,0	1,42
24	4,4	100	20,2	0,59	4,5	1,65	19,3	0,53	28,0	0,63	37,0	0,96

Влажность зерна на входе изменялась в диапазоне 18,2...26,6% при $\sigma_{\text{н0}} = 0,51...2,11(\%)^2$, а температура – в пределах 4,5...30,0°C при $\sigma_{\text{т30}} = 0,35...1,65^\circ\text{C}^2$.

При изменении температуры теплоносителя $\vartheta_1(t)$ в диапазоне 100...250°C в камере сушки удавалось снизить влажность зерна на 0,9...12,9%, при этом его нагрев оставался ниже предельно допустимого.

Среднеквадратические отклонения колебаний влажности зерна к выходу из сушильной камеры понижаются, что свидетельствует о её способности сглаживать их амплитуду, а температуры зерна и теплоносителя, наоборот, повышаются. Установлено, что с повышением температуры теплоносителя $\vartheta_{\text{т0}}$ и снижением подачи зерна G в камеру её способность сглаживать колебания влажности зерна улучшается. Отношение дисперсии колебаний влажности зерна на выходе камеры к дисперсии колебаний влажности на её входе укладывается в диапазон 0,37...0,94.

С увеличением температуры теплоносителя повышается влагосъем зерна $\Delta W = W_0 - W$ и температура его нагрева, что свидетельствует об интенсификации сушки. Увеличение подачи G ведет к уменьшению влагосъема и температуры зерна.

Для некоторых режимов (табл. 1) изменение средних значений влажности и температуры зерна по длине рабочей камеры

представлено в табл. 2, а на рис. 2 – пример протекания этих зависимостей.

Из их протекания видно, что по мере перемещения зерна по камере его влажность W уменьшается, а температура ϑ_3 сначала интенсивно увеличивается, приблизительно к середине камеры стабилизируется, а затем понижается. Объясняется это тем, что зерно и теплоноситель движутся по камере в одном направлении. В начале камеры температура теплоносителя высока, а зерна – мала, поэтому наблюдается интенсивный нагрев зерна и понижение температуры теплоносителя при незначительном понижении влажности зерна. По мере нагрева зерна интенсифицируется процесс испарения влаги, что ведет к постепенному замедлению роста температуры зерна. Этому же способствует одновременное монотонное понижение температуры теплоносителя по мере продвижения по камере. В зоне, расположенной от начала камеры на расстоянии приблизительно 0,45...0,75 её длины, процесс увеличения температуры зерна завершается, но наблюдается интенсивное уменьшение влажности. Дальнейшее понижение температуры теплоносителя ведет к уменьшению количества теплоты, подводимой к зерну, поэтому его температура, а следовательно, и скорость испарения влаги постепенно уменьшаются.

Таблица 2

Изменение влажности и температуры зерна по длине рабочей камеры

Номер опыта	Подача G , т/ч	Переменная	Расстояние точки контроля от начала камеры, м										
			На входе	0,87	1,30	1,88	2,46	2,96	3,69	4,41	5,21	6,00	На выходе
1	2,4	W , %	26,6	25,4	24,8	24,2	23,8	23,5	23,2	22,8	22,3	21,4	19,5
		ϑ_3 , °C	22,5	33,4	38,0	42,5	45,2	46,5	46,7	45,6	43,5	41,2	40,0
		$\vartheta_{\text{т}}$, °C	150	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
2	4,4	W , %	25,4	24,9	24,6	24,3	23,9	23,7	23,3	22,9	22,5	22,0	21,5
		ϑ_3 , °C	22,0	32,9	36,5	39,8	41,7	42,4	42,2	41,1	39,7	38,7	38,0
		$\vartheta_{\text{т}}$, °C	150	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
3	4,4	W , %	25,4	24,5	24,1	23,5	22,9	22,4	21,8	21,2	20,7	20,4	20,3
		ϑ_3 , °C	22,0	35,6	40,4	44,7	47,2	48,7	47,8	46,6	45,1	44,5	45,0
		$\vartheta_{\text{т}}$, °C	200	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
4	4,4	W , %	25,4	25,2	25,1	24,9	24,7	24,4	14,0	23,6	23,2	23,0	23,0
		ϑ_3 , °C	22,0	27,7	29,9	32,0	33,3	33,9	34,1	33,7	33,1	32,6	32,5
		$\vartheta_{\text{т}}$, °C	100	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
20	3,4	W , %	18,2	17,8	17,5	17,2	16,9	16,7	16,5	16,3	16,1	16,1	16,2
		ϑ_3 , °C	9,0	22,2	27,9	33,6	37,3	39,2	40,3	39,8	38,2	36,4	35,0
		$\vartheta_{\text{т}}$, °C	150	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–

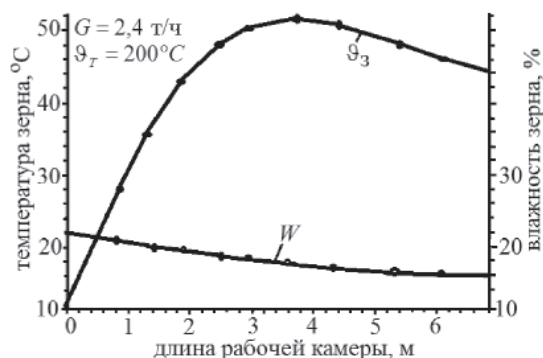


Рис. 2. Изменение температуры и влажности зерна вдоль рабочей камеры

С изменением подачи G зерна в камеру (табл. 2) зона максимального нагрева незначительно смещается по её длине. Так, при меньших подачах G зона максимального нагрева располагается ближе к началу камеры, при больших – дальше. Значение превышений температуры зерна в зоне максимального нагрева над температурой на выходе камеры достигает 1,2...7,2°C. Это превышение тем выше, чем больше начальная влажность зерна W_0 , температура теплоносителя ϑ_{T0} и меньше подача G .

Принимая гипотезу о нормальном законе распределения случайной функции изменения влажности зерна на выходе камеры сушики, определили вероятность ее пребывания в заданном агротехническими требованиями [15] симметричном допуске ($\Delta_W = \pm 1,5\%$), которая при среднеквадратических отклонениях, укладывающихся в диапазон $\sigma_W = 0,36...2,05(\%)^2$, составляет $P_\Delta = 0,54...0,99$. Это подтверждает низкое качество выполнения рабочего процесса в сушилках.

Таким образом, полученная информация характеризует сушилку как стохастическую, распределённую, многосвязную динамическую систему с нелинейными связями между переменными состояния её рабочего процесса, функционирование которой имеет низкие показатели качества [3, 4, 9].

Возможности совершенствования рабочего процесса сушилки и ее системы контроля оценили методами математического моделирования с использованием уравнений [3, 10, 11]:

$$\frac{\partial W}{\partial t} + V_3 \cdot \frac{\partial W}{\partial x} = -k_\beta \cdot W \cdot \vartheta_3;$$

$$\frac{\partial \vartheta_3}{\partial t} + V_3 \cdot \frac{\partial \vartheta_3}{\partial x} = -\frac{r}{100 \cdot c_3} \cdot k_\beta \cdot W \cdot \vartheta_3 + \frac{m}{R \cdot c_3 \cdot \rho_3} \cdot k_\alpha^C \cdot (1 + k_\alpha^V \cdot k_\beta \cdot W \cdot \vartheta_3) \cdot (\vartheta_T - \vartheta_3);$$

$$\frac{\partial \vartheta_T}{\partial t} + V_T \cdot \frac{\partial \vartheta_T}{\partial x} = -\frac{m \cdot (1 - \varepsilon)}{R \cdot \rho_T \cdot c_T \cdot \varepsilon} \cdot k_\alpha^C \cdot (1 + k_\alpha^V \cdot k_\beta \cdot W \cdot \vartheta_3) \cdot (\vartheta_T - \vartheta_3),$$

с начальными условиями: $W(0, x) = W_0(x)$; $\vartheta_3(0, x) = \vartheta_{30}(x)$; $\vartheta_T(0, x) = \vartheta_{T0}(x)$, граничными условиями: $W(t, 0) = W_0(t)$, $\vartheta_3(t, 0) = \vartheta_{30}(t)$; $\vartheta_T(t, 0) = \vartheta_{T0}(t)$, $W(t, \infty) = W_p$, $\vartheta_3(t, \infty) = \vartheta_3(\infty, L)$; при $W(0, 0) = W_0(t)$, $\vartheta_3(0, 0) = \vartheta_{30}(t)$.

Здесь W , ϑ_3 и ϑ_T – влагосодержание зерна, температура зерна и температура теплоносителя; t, x – координаты времени и пространства; V_3 и V_T – скорость перемещения зерна и теплоносителя по камере сушики; r – скрытая теплота парообразования; c_3 и ρ_3 – удельная теплоемкость и плотность зерна; c_T и ρ_T – удельная теплоемкость и плотность теплоносителя; R и m – эквивалентный радиус и коэффициент формы зерновки; ε – скважность зернового слоя; L – длина камеры сушики; k_β , k_α^C , k_α^V – модельные коэффициенты.

Набор значений модельных коэффициентов уравнений определен по экспериментальным данным методом решения обратной задачи тепло- и массопереноса [12]. Для любого режима (табл. 1 и 2) относительная погрешность аппроксимации экспериментальных данных результатами их моделирования не превышает: для влажности зерна – 0,08, для температуры зерна – 0,12, для температуры теплоносителя 0,14. Моделирование стационарных режимов сушики реализовано в среде математического пакета MAPLE [3].

Зависимости кинетики нагрева и сушики зерна в сушилке приведены на рис. 3. Представленные данные подтверждают, что для всех режимов сушики температура зерна ϑ_3 достигает максимального значения в средней части сушильной камеры, а к выходу из неё понижается на 5...15°C. При семенных и продовольственных режимах максимальные значения температуры близки к предельно допустимым $\vartheta_{зд}$, что важно учитывать в практике эксплуатации сушилок и разработке рекомендаций по совершенствованию системы контроля.

Даже при семенных режимах (рис. 3, б) скорость влагоудаления dW/dt в средней части сушильной камеры достигает предельно допустимых значений $(dW/dt)_д$, что может являться одной из причин ухудшения качественных показателей семенного зерна. При продовольственных режимах

(рис. 3, а), вследствие применения более высоких температур теплоносителя $\vartheta_{\text{ТО}}$, скорость влагоудаления увеличивается до 15...25%/ч и значительно превышает допустимую (10%/ч). Столь интенсивная сушка может приводить к появлению чрезмерных внутренних напряжений в зерновках и растрескиванию их оболочки.

Выполненный анализ вскрывает ряд недостатков эксплуатации барабанных сушилок. Во-первых, система контроля рабочего процесса сушилок несовершенна. Контроль температуры зерна необходимо осуществлять в зоне его максимального нагрева в рабочей камере, которая располагается в ее средней части, а не на выходе. Во-вторых, для эксплуатации сушилок рекомендованы неоправданно интенсивные режимы, при которых нагрев зерна и скорость влагоудаления достигают предельно допустимых значений. Для продовольственных режимов скорость влагоудаления значительно превышает допустимую. Отмеченные особенности в сочетании с отсутствием надежной системы контроля над протеканием процесса нередко ведут к понижению качественных показателей обрабатываемого зерна. По этим причинам барабанные сушилки в практике эксплуатации получают много нареканий и в хозяйствах ограниченно используются для сушки семенного зерна [13–14].

Вместе с тем имеются резервы совершенствования процесса сушки. На рис. 4

приведены зависимости кинетики нагрева и сушки зерна в сушилке, иллюстрирующие возможность интенсификации процесса за счет предварительного нагрева зерна. Приведенные данные подтверждают, что с увеличением начальной температуры зерна ϑ_{30} возрастает его нагрев ϑ_3 во всей сушильной камере, а следовательно, и интенсивность процессов тепло- и массопереноса. Это подтверждается увеличением скорости сушки зерна dW/dt во всех зонах рабочей камеры, за счет чего удается увеличить производительность сушилки. Расчеты показывают, что за счет предварительного нагрева зерна кратность увеличения производительности сушилки может составить 1,3...1,5.

При моделировании режимов с предварительным нагревом зерна выявлено, что температура ϑ_{30} , до которой его можно нагревать, ограничена. Так, из данных рис. 4 видно, что при повышении начальной температуры зерна существенно возрастают скорость сушки dW/dt и нагрев зерна ϑ_3 в начальной зоне рабочей камеры. Поэтому дальнейшее увеличение начальной температуры зерна ограничено достижением их предельно допустимых значений $(dW/dt)_{\text{Д}}$ и $\vartheta_{3\text{Д}}$ в рабочей камере.

Возможности реализовать распределенное управление тепловыми режимами в барабанной сушилке отсутствуют. Однако их можно реализовать в сушильной линии из нескольких барабанных сушилок.

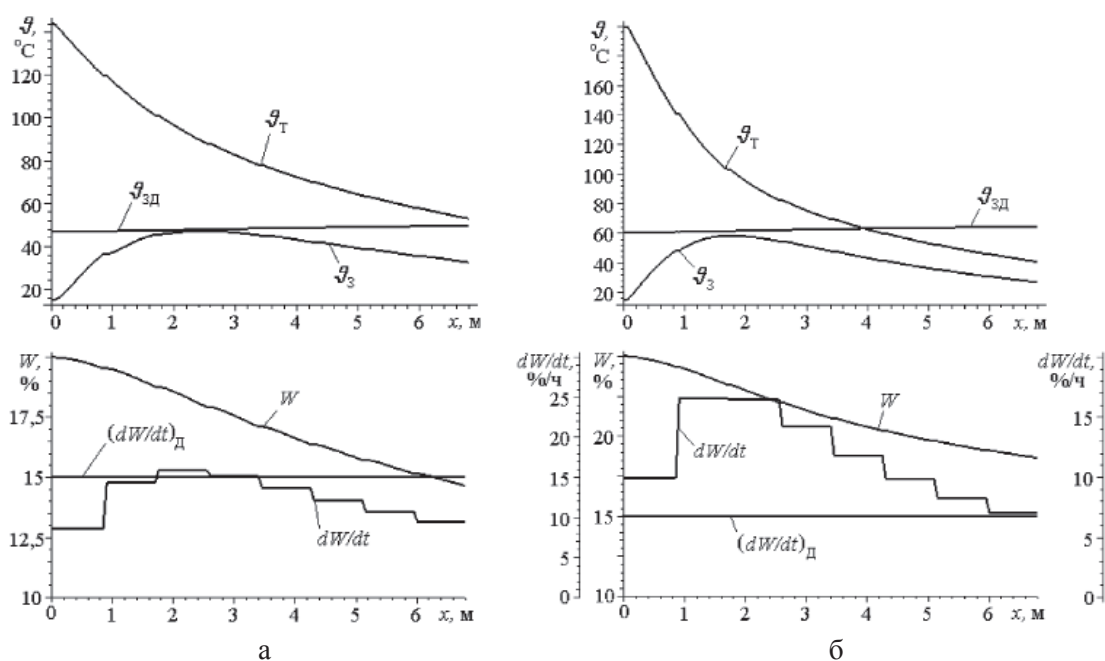


Рис. 3. Кинетика нагрева и сушки зерна:
а – продовольственного назначения; б – семенного

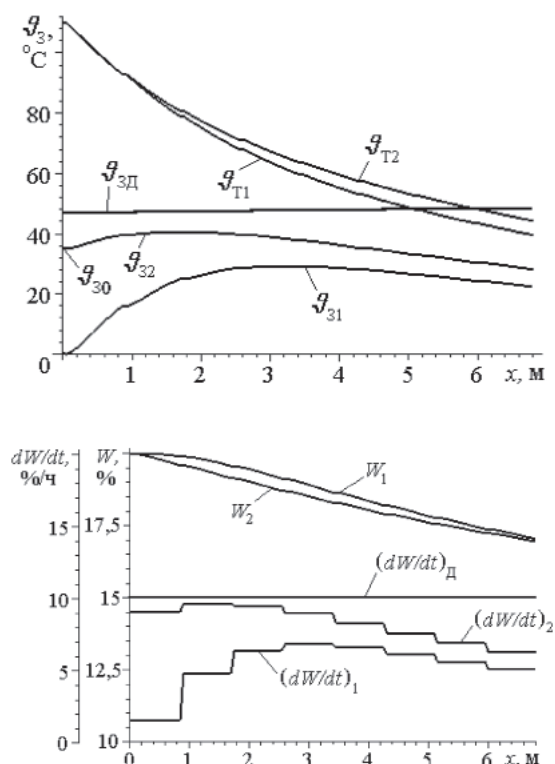


Рис. 4. Кинетика нагрева и сушки зерна:
1 – без предварительного нагрева
($G_1 = 2,4 \text{ т/ч}$); 2 – с частичным
предварительным нагревом ($G_2 = 3,6 \text{ т/ч}$)

Выводы

1. Полученная информация характеризует барабанную сушилку как стохастическую, распределённую, многосвязную динамическую систему, обладающую транспортным запаздыванием и нелинейными связями между переменными состояния её рабочего процесса. Колебания начальной влажности и температуры 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.

2. Установлено, что температура зерна достигает максимального значения в средней части рабочей камеры, а к выходу из неё понижается на $1,2 \dots 15,0^\circ\text{C}$. Максимальные значения температуры и скорости влагоудаления здесь близки к предельно допустимым, что может являться причиной ухудшения качественных показателей зерна. Поэтому контроль интенсивности сушки необхо-

димо осуществлять не на выходе рабочей камеры, а в зоне с максимальным нагревом зерна.

3. Возможно увеличение производительности сушилки в $1,3\text{--}1,5$ раза за счет предварительного нагрева зерна. Однако температура предварительного нагрева зерна ограничена достигаемой интенсивностью процесса внутри рабочей камеры. Распределенное управление режимами сушки можно реализовать в сушильной линии из нескольких барабанных сушилок.

Список литературы

1. Андрианов Н.М. Выбор режимов сушки зерна // Сельский механизатор. – 2011. – № 8. – С. 8–9.
2. Андрианов Н.М. Оптимизация технологических режимов барабанных зерносушилок // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2010. – № 3. – С. 201–206.
3. Андрианов Н.М. Оптимизация зерновых сушилок и их систем управления // Депонированная рукопись № 197-B2005 10.02.2005 г. – 299 с.
4. Андрианов Н.М. Исследование стационарных режимов барабанной зерносушилки и возможностей повышения их интенсивности / Н.М. Андрианов, Мэй Шуньчи // Тракторы и сельхозмашины. – 2015. – № 10. – С. 48–52.
5. 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.
6. 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.
7. Андрианов Н.М. Повышение эффективности функционирования зерновых сушилок // Современные наукоемкие технологии. – 2004. – № 2. – С. 175–177.
8. Андрианов Н.М. Особенности работы зерновых сушилок // Техника в сельском хозяйстве. – 2006. – № 4. – С. 9–12.
9. Андрианов Н.М. Идентификация шахтной зерносушилки в условиях нормальной работы / Н.М. Андрианов, Шуньчи Мэй // Фундаментальные исследования. – 2015. – № 2 (часть 16). – С. 3459–3465.
10. Андрианов Н.М. Моделирование динамических характеристик барабанных зерносушилок // Вестник МАНЭБ. – 2010. – Т/ 15. – № 3. – С. 103–113.
11. Андрианов Н.М. Математическая модель сушильной камеры зерновых сушилок // Успехи современного естествознания. – 2003. – № 11. – С. 101–102.
12. Андрианов Н.М. Алгоритм идентификации коэффициентов математической модели сушки зерна // Технологии и средства механизации сельского хозяйства: сб. науч. трудов СПбГАУ. – СПб., 2005. – С. 5–9.
13. Бабаев О.Б. Выбор режимов сушки зерна / О.Б. Бабаев, Л.В. Колесов // Техника в сельском хозяйстве. – 1986. – № 2. – С. 49–50.
14. Миттельман Г.С. Рекомендации по сушке семян на шахтных и барабанных сушилках / Г.С. Миттельман, Н.А. Филатов // Селекция и семеноводство. – 1979. – № 1. – С. 41–45.
15. Чижиков А.Г. Операционная технология послеуборочной обработки и хранения зерна (в Нечерноземной зоне) / А.Г. Чижиков и др. – М.: Россельхозиздат, 1981. – 191 с.

References

1. Andrianov N.M. Vybór režimov sushki zerna // Selskij mehanizator. 2011. no. 8. pp. 8–9.
2. Andrianov N.M. Optimizacija tehnologicheskikh režimov barabannykh zernosushilok // Izvestija Tuls'kogo gosudarstvennogo universiteta. Tehnicheskie nauki. 2010. no. 3. pp. 201–206.
3. Andrianov N.M. Optimizacija zernovykh sushilok i ih sistem upravlenija // Deponirovannaja rukopis no. 197-B2005 10.02.2005. 299 p.
4. Andrianov N.M. Issledovanie stacionarnykh režimov barabannoj zernosushilki i vozmozhnostej povyshenija ih intensivnosti / N.M. Andrianov, Mjej Shunchi // Traktory i sel'hoz mashiny. 2015. no. 10. pp. 48–52.
5. Andrianov N.M. Ocenka statisticheskikh harakteristik potoka zernovogo voroha, postupajushhego v sushilku / N.M. Andrianov, S.K. Manasjan i dr. // Traktory i sel'hozmashiny. 2015. no. 2. pp. 20–22.
6. Andrianov N.M. Zadanie nachalnykh uslovij i stohasticheskoj sostavljajushhej matematicheskoj modeli processa sushki zernovykh sushilok / N.M. Andrianov, Shunchi Mjej // Polzovskij almanah. 2014. no. 2. pp. 30–35.
7. Andrianov N.M. Povysenie jeffektivnosti funkcionirovanija zernovykh sushilok // Sovremennye naukoemkie tehnologii. 2004. no. 2. pp. 175–177.
8. Andrianov N.M. Osobennosti raboty zernovykh sushilok // Tehnika v selskom hozjajstve. 2006. no. 4. pp. 9–12.
9. Andrianov N.M. Identifikacija shahtnoj zernosushilki v uslovijah normalnoj raboty / N.M. Andrianov, Shunchi Mjej i dr. // Fundamentalnye issledovanija. 2015. no. 2 (chast 16). pp. 3459–3465.
10. Andrianov N.M. Modelirovanie dinamicheskikh harakteristik barabannykh zernosushilok // Vestnik MANJeB. 2010. Tom 15. no. 3. pp. 103–113.
11. Andrianov N.M. Matematicheskaja model sushilnoj kamery zernovykh sushilok // Uspehi sovremennogo estestvoznanija. 2003. no. 11. pp. 101–102.
12. Andrianov N.M. Algoritm identifikacii koeficientov matematicheskoj modeli sushki zerna // Sb. nauch. trudov SPb-GAU. «Tehnologii i sredstva mehanizacii selskogo hozjajstva». S-Pb., 2005. pp. 5–9.
13. Babaev O.B. Vybór režimov sushki zerna / O.B. Babaev, L.V. Kolesov // Tehnika v selskom hozjajstve. 1986. no. 2. pp. 49–50.
14. Mittelman G.S. Rekomendacii po sushke semjan na shahtnykh i barabannykh sushilках / G.S. Mittelman, N.A. Filatov // Selekcija i semenovodstvo. 1979. no. 1. pp. 41–45.
15. Chizhikov A.G. Operacionnaja tehnologija posleuborochnoj obrabotki i hranenija zerna (v Nechernozemnoj zone) / A.G. Chizhikov i dr. M.: Rossel'hozizdat, 1981. 191 p.

Рецензенты:

Волхонов М.С., д.т.н., профессор, проректор по учебной работе, Костромская государственная сельскохозяйственная академия, Костромская область, п. Караваево;
 Швецов И.В., д.т.н., профессор, зав. кафедрой промышленной энергетики, Новгородский государственный университет им. Ярослава Мудрого, г. Великий Новгород.