

Технические науки

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ
ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ЗЕРНОВЫХ
СУШИЛОК**

Андреанов Н.М.

Новгородский Государственный Университет,
В. Новгород

Неравномерность сушки, противоречие между распределенным характером объекта и сосредоточенным способом управления его рабочим процессом, отсутствие надежной системы контроля и управления – главные причины повышенных затрат энергии и

низкого качества функционирования зерновых сушилок сельскохозяйственного назначения.

Решение указанных задач потребовало детального исследования процесса (рис. 1), протекающего в сушильной камере зерновых сушилок. Переменными на выходе модели являются температура $v_3(t)$ и влажность $W(t)$ зерна в сушильной камере, возмущающими воздействиями – температура $v_{30}(t)$ и влажность $W_0(t)$ зерна на её входе, управляющими воздействиями – температура теплоносителя $v_T(t)$ и экспозиция сушки $\omega(t)$.

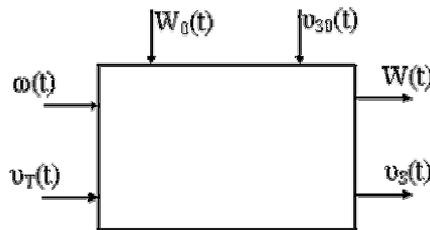


Рисунок 1. Модель функционирования технологического процесса сушки зерна

В качестве функции цели оптимизации сушки зерна применен технологический критерий – производительность сушильной камеры. Оптимизация заключается в достижении максимума производительности при соблюдении ограничений накладываемых на процесс агротехническими требованиями.

Математическая модель сушки построена на основе балансовых соотношений [1] и описывает одномерное нестационарное поле температуры и влажности зерна в сушильной камере сушилок с подвижным слоем (шахтных, барабанных, бункерных и т. п.)

$$\frac{\partial W}{\partial t} + V_3 \cdot \frac{\partial W}{\partial x} - k_\delta \cdot V_3 \cdot \frac{\partial^2 W}{\partial x^2} = -k_\beta \cdot W \cdot \vartheta_3;$$

$$\frac{\partial \vartheta_3}{\partial t} + V_3 \cdot \frac{\partial \vartheta_3}{\partial x} - k_\delta \cdot V_3 \cdot \frac{\partial^2 \vartheta_3}{\partial x^2} = -\frac{r}{100 \cdot c_3} \cdot k_\beta \cdot W \cdot \vartheta_3 +$$

$$+ \frac{m}{R \cdot c_3 \cdot \rho_3} \cdot k_\alpha^C \cdot (1 + k_\alpha^V \cdot k_\beta \cdot W \cdot \vartheta_3) \cdot (\vartheta_T - \vartheta_3);$$

$$\frac{\partial J_T}{\partial t} + V_T \cdot \frac{\partial J_T}{\partial x} = -\frac{m \cdot (1 - e)}{R \cdot r_T \cdot c_T \cdot e} \cdot k_a^C \cdot$$

$$\cdot (1 + k_a^V \cdot k_b \cdot W \cdot J_3) \cdot (J_T - J_3).$$

Начальные условия: $W(0, x) = W_0(x)$, $v_3(0, x) = v_{30}(x)$, $v_T(0, x) = v_{T0}(x)$.

Граничные условия: $W(t, 0) = W_0(t)$, $v_3(t, 0) = v_{30}(t)$, $v_T(t, 0) = v_{T0}(t)$,

$W(t, \infty) = W_p$, $v_3(t, \infty) = v_T(\infty, L)$, при $W(0, 0) = W_0(t)$, $v_3(0, 0) = v_{30}(t)$.

Здесь: W , v_3 и v_T – текущие значения влагосодержания зерна, температуры зерна и температуры теплоносителя; t , x – координаты времени и пространства; V_3 и V_T – скорости перемещения зерна и теплоносителя по сушильной

камере; r – скрытая теплота парообразования; c_3 и c_T – удельные теплоемкости абсолютно сухого зерна и теплоносителя; ρ_3 и ρ_T – плотности зерна и теплоносителя; R – эквивалентный радиус зерна; m – коэффициент формы зерновки; ε – скважность зернового материала; k_β , k_δ , k_α^C , k_α^V – модельные полуэмпирические коэффициенты.

Настройка модели заключается в идентификации полуэмпирических коэффициентов. Для их расчета использовали метод решения обратной задачи тепло- и массопереноса. Разработан алгоритм идентификации коэффициентов модели на основе экспериментальных данных, который реализует последовательный многократный расчет значений коэффициентов с постепенным приближением к их оптимальным значениям. Средняя относительная погрешность подгонки модели для влажности зерна составила 1...6 %, для температуры – 1...12 %.

Экспериментальные исследования проводили в три этапа.

На первом этапе решали задачу построения модели условий функционирования сушильной камеры. Методика исследований учитывала нестационарность случайных функций по спектральной плотности, поэтому квантование потока зернового вороха поступающего в сушилку производили не по времени, а в интервалах объема. Всего получено 37 реализаций влажности и 10 температуры зернового вороха.

Статистические характеристики вороха представлены в табл. 1: где \bar{X} – выборочные средние; σ – среднеквадратические отклонения; ν – коэффициенты вариации выборок; τ – интервалы корреляции случайных функций; f – диапазоны их существенных частот.

Таблица 1. Статистические характеристики зернового вороха

Характеристики вороха	\bar{X}	σ	ν	τ	f
	%	%	%	м ³	м ⁻³
Влажность сезоны 1997...2002 г.	13,2...29,2	0,4...2,6	3,6...10,9	0,9...6,0	0...9,3
Температура сезоны 1999...2002	9,9...18,1	0,4...2,5	4,5...20,9	3,9...8,9	0...6,2

По ансамблю реализаций процесса изменения влажности вороха построена усредненная оценка нормированной корреляционной функции и предложено уравнение для её аппроксимации:

$$\rho_W(V) = A_1 \cdot e^{-\alpha_1|V|} + A_2 \cdot e^{-\alpha_2|V|} \cdot \cos \Omega \cdot |V|; \quad A_1 + A_2 = 1$$

где $V = V_1 - V_2$ сдвиг между сечениями случайной функции, м³; A_1 и A_2 – составляющие дисперсии случайной функции; α_1 и α_2 – коэффициенты затухания, м⁻³; Ω – угловая частота, рад/м³.

Определены числовые значения коэффициентов аппроксимирующего уравнения, табл. 2.

Таблица 2. Значения параметров уравнения усредненной корреляционной функции

Параметр	A_1	A_2	$\alpha_1, \text{м}^{-3}$	$\alpha_2, \text{м}^{-3}$	$\Omega, \text{рад/м}^3$
Числовое значение	1,3	-0,3	1,731	0,292	0,246

Полученная модель может быть применена для моделирования входного возмущающего воздействия при любой заданной производительности сушилки.

На втором этапе выполнены исследования процессов функционирования сушильной камеры сушилки СЗШ-16А [2].

Определены статистические характеристики процессов, их частотный состав и взаимные связи между ними в различных точках центрального вертикального и двух горизонтальных сечений сушильной камеры. Диапазоны изменения коэффициентов взаимной корреляции процессов на входе и выходе сушильной камеры представлены в табл. 3.

Таблица 3. Коэффициенты взаимной корреляции процессов сушилки СЗШ-16А

Наименование процессов	Диапазон изменения
$W_0(t) - v_3(t)$	-0,48...0,32
$W_0(t) - W(t)$	0,37...0,61
$W(t) - v_3(t)$	-0,77...0,39

Установлено, что отсутствует корреляционная связь процессов $v_{30}(t)$ и $W_0(t)$, $v_{30}(t)$ и $v_3(t)$, $v_{30}(t)$ и $W(t)$. Этим подтверждается, что начальная температура зерна $v_{30}(t)$ не оказывает существенного влияния на переменные $W(t)$ и $v_3(t)$ на выходе сушильной камеры. Однако в начальных зонах сушки эта связь проявляется, но она интенсивно убывает по мере удаления зоны от входа сушильной камеры.

Коэффициенты взаимной корреляции процессов $W_0(t)$ и $v_3(t)$, $W(t)$ и $v_3(t)$ являются знакопеременными. Этим подтверждается, что функциональная связь между названными переменными нелинейная и носит экстремальный характер.

На третьем этапе решали задачу построения статических моделей сушильной камеры, устанавли-

вающих связь между входными и выходными переменными модели (рис. 1). Исследования проводили в полупроизводственных условиях в сушильной камере сушилки СЗШ-8 [3]. Уровни факторов и интервалы варьирования охватывали практически весь возможный диапазон их изменения. Реализован четырехфакторный ортогональный план эксперимента, позволившего получить функции отклика для 7 зон по высоте сушильной камеры.

Установлено, что связи между переменными являются нелинейными, а коэффициенты передачи по различным каналам (табл. 4) функционально зависят от входных переменных.

Таблица 4. Коэффициенты передачи сушилки СЗШ-8

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

Полученные данные позволили настроить математическую модель сушки зерна и применить её для моделирования процесса.

На основе линеаризованной модели разработан алгоритм расчета частотных характеристик и передаточных функций сушилок шахтного и барабанного типа.

Синтезированы оптимальные режимы для сушилок шахтного типа. Установлено, что распределенное

управление тепловыми режимами по высоте сушильной камеры позволяет интенсифицировать процесс и увеличить производительность сушильной камеры на 10...30 %. Разработан алгоритм распределенного управления [4], позволяющий эффективно понижать дисперсию колебаний влажности зерна в ходе сушки.

Результаты моделирования указанных режимов представлены на рис. 2, а показатели эффективности функционирования сушилки – в табл. 5.

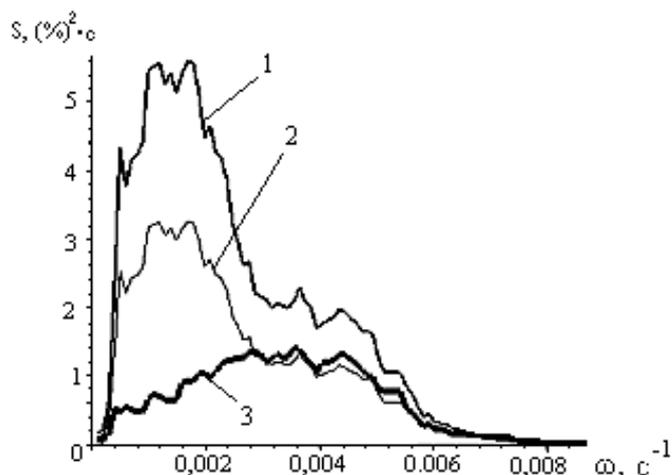


Рисунок 2. Спектральные плотности процессов изменения влажности зерна:

1 – на входе в сушильную камеру; 2 – на выходе при сосредоточенном управлении; 3 – на выходе при распределенном управлении

Анализ полученных результатов позволяет заключить, что предложенная система способна не только уменьшить дисперсию колебаний влажности зерна, но и существенно изменить структуру процесса. Системой эффективно подавляются низкочастотные гармонические составляющие.

С применением распределенного управления дисперсия D выходной влажности зерна (табл. 5) может быть снижена более чем в два раза по сравнению с сосредоточенным управлением, а относительная длительность P_{Δ} пребывания влажности в заданном агротехническом допуске ($\pm 1,5\%$) увеличена с 0,68 до 0,85.

Таблица 5. Показатели эффективности функционирования сушилки СЗШ-8

Наименование показателя	Влажность на входе	Влажность на выходе при сосредоточенном управлении	Влажность на выходе с распределенным управлением
$m_{ср}, \%$	20,1	15,0	15,0
$D, (\%)^2$	4,0	2,28	1,09
P_{Δ}	–	0,68	0,85

Литература

1. Андрианов Н.М. Математическая модель сушки зерна в сушилках с подвижным слоем // Успехи современного естествознания. 2003. №10. С. 123–124.

2. Колесов Л.В., Андрианов Н.М. Исследование шахтной зерносушилки в условиях нормального функционирования // Сб. науч. трудов ЛГАУ «Интенсификация технологических процессов в растениеводстве». Л., 1991. С. 47–55.

3. Колесов Л.В., Андрианов Н.М. Экспериментальное обоснование совершенствования процесса сушки в шахтных зерносушилках // Сб. науч. трудов ЛСХИ «Методы и средства интенсификации технологических процессов на базе микроэлектроники». Л., 1990. С. 69–80.

4. Патент РФ 2157958. Способ автоматического регулирования процесса сушки зерна и устройство для его осуществления / Андрианов Н.М. и др. // БИ. 2000. № 29.

Работа представлена на научную заочную электронную конференцию «Приоритетные направления развития науки, технологий и техники» (15-20 марта, 2004 г.)