

STUDY OF THE SHAFT GRAIN DRYER IN CONDITIONS OF NORMAL OPERATION

N.M. Andrianov¹, Doctor of Technical Sciences,
Full Professor

Mei Shunqi², Candidate of Technical Sciences,
Associate professor

Yaroslav-the-Wise Novgorod State University, Russia¹
Wuhan Textile University, China²

Based on experimental data the workflow dynamics in the dryer shaft was analysed. It was confirmed that it is a stochastic dynamic system. The curves of kinetics of the process were built. Authors have assessed the uneven drying in the lower horizontal section of the dryer. It was discovered that near the outlet chamber's wall the grain was heated more due to uneven distribution of gas. The interplay between changes of grain humidity and temperature confirmed the correlation coefficients. Fluctuations in humidity and temperature of grain lead to low quality of drying. In order to improve the quality and intensity of drying authors have offered the enhanced gas distribution system and the improved workflow regulation system.

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

Conference participants,
National championship in scientific analytics,
Open European and Asian research analytics championship

ИССЛЕДОВАНИЕ ШАХТНОЙ ЗЕРНОСУШИЛКИ В УСЛОВИЯХ НОРМАЛЬНОЙ РАБОТЫ

Андрианов Н.М.¹, д-р техн. наук, проф.

Шуньчи Мэй², канд. техн. наук, Ph.D.


Новгородский государственный университет
им. Я. Мудрого, Россия¹

Уханьский текстильный университет, Китай²

На основе экспериментальных данных выполнен анализ динамики рабочего процесса в сушилке. Подтверждено, что она стохастическая динамическая система. Построены кривые кинетики процесса. Оценена неравномерность сушки в нижнем горизонтальном сечении сушилки. Обнаружено, что у стенки отводящей камеры зерно нагревается больше, что объясняется неравномерным распределением газа. Связь процессов изменения влажности и температуры зерна подтверждена коэффициентами взаимной корреляции. Колебания влажности и температуры зерна ведут к низкому качеству сушки. Для повышения качества и интенсивности сушки предложена модернизированная система распределения газа и усовершенствованная система регулирования рабочего процесса.

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

Участник конференции,
Национального первенства по научной аналитике,
Открытого Европейско-Азиатского первенства по научной аналитике

 <http://dx.doi.org/10.18007/gisap:tsca.v0i10.1505>

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 сушку в

соответствии с агротехническими требованиями [3-7] сложно. Это вызвано не только колебаниями характеристик потока вороха, но и техническими

Табл. 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 | |
| | | | | $m_{гр}$, °C | $\sigma_{гр}$, °C ² | $m_{в}$, % | $\sigma_{в}$, (%) ² | $m_{з}$, °C | $\sigma_{з}$, °C ² |
| 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 |

Табл. 2.

Статистические характеристики переменных по высоте сушилки

| Ряд коробов | Переменная | | | | | | | |
|---|-----------------|----------------------|-------------------------|--------------------------------|---|---------------------------------|--|---------------------------------|
| | Влажность зерна | | Температура зерна | | Температура теплоносителя в подводящем коробе | | Температура теплоносителя в отводящем коробе | |
| | $m_{и}, \%$ | $\sigma_{и}, (\%)^2$ | $m_{ж}, ^\circ\text{C}$ | $\sigma_{ж}, ^\circ\text{C}^2$ | $m_{жт}, ^\circ\text{C}$ | $\sigma_{жт}, ^\circ\text{C}^2$ | $m_{от}, ^\circ\text{C}$ | $\sigma_{от}, ^\circ\text{C}^2$ |
| 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 |

особенностями сушилок, их систем управления и действиями оператора.

Оценка изменчивости переменных состояния рабочего процесса сушилки в условиях производства позволяет получить достоверную информацию о качестве его выполнения, что сложно сделать, применяя детерминированные методы. Исследование структуры и взаимной связи процессов позволяет оценить динамические свойства сушилки как объекта управления и выявить возможности их оптимизации.

В настоящей работе представлен анализ экспериментальных данных, полученных в результате исследования шахтной сушилки СЗШ-16А в условиях производства, с использованием методов статистической динамики.

Как объект управления, сушилка сложная динамическая система [3-7], входные и выходные переменные, которой взаимосвязаны. Состояние процесса определяется температурой $J_3(t)$ и влажностью $W(t)$ зерна, их начальные значения $J_{30}(t)$ и $W_0(t)$ определяют условия сушки, а температура теплоносителя $J_T(t)$ и экспозиция $\omega(t)$ – режим обработки.

Статистические характеристики переменных состояния процесса сушки (табл. 1 и 2) подтверждают, что входные переменные $J_{30}(t)$ и $W_0(t)$ в течение времени изменяются стохастически в широких пределах, что возбуждает колебания выходных переменных $J_3(t)$ и $W(t)$ в интервале,

превышающем агротехнический допуск [15].

При изменении температуры теплоносителя $J_T(t)$ в диапазоне 57,4...97,4°С в сушилке удавалось снизить влажность зерна на 2,1...8,8%, при этом его нагрев оставался ниже допустимого, что свидетельствует о низкой интенсивности режимов. Средние расходы теплоносителя в опытах поддерживались в диапазоне 9,9...11,8 м³/с при среднеквадратических отклонениях $\sigma = 0,6...2,7$ (м³/с)². Влажосодержание теплоносителя на выходе из камеры сушки изменялось в диапазоне 36,0...82,3% при $\sigma = 4,6...12,5$ (%)².

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.

Это подтверждается изменением температуры теплоносителя в отводящих коробах (рис. 2). Для большинства опытов характерно повышение

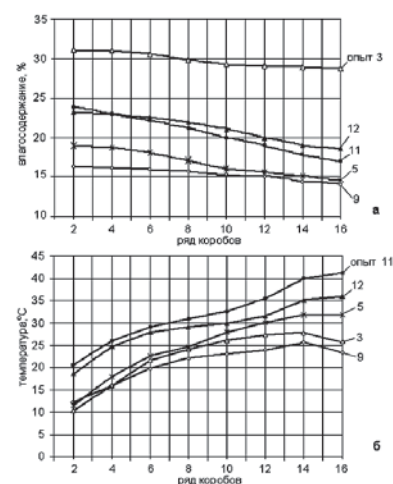


Рис. 1. Изменение влажосодержания (а) и температуры (б) зерна по высоте камеры сушки

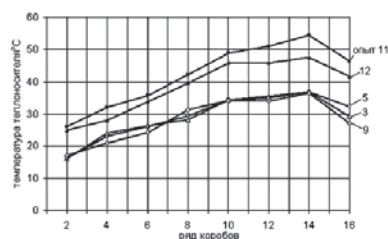


Рис. 2. Изменение температуры теплоносителя по высоте камеры сушки

температуры отработанного теплоносителя по мере сушки зерна, и уменьшение его температуры на 2,0...10,9°С

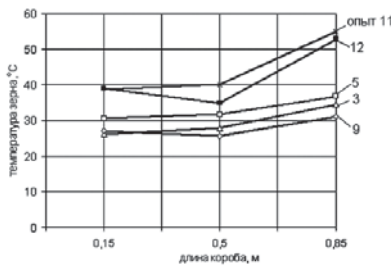


Рис. 3. Изменение температуры зерна вдоль коробов 14 ряда

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°C, разброс влажностей зерна составляет 1,4...12,9%, а разброс температур зерна – 5,4...25,2°C для 14-го ряда. Это превышает задаваемую агротехническими требованиями [15] неравномерность выполнения сушки.

Табл. 3.

Динамические характеристики процессов на входе и выходе сушилки

| Процесс | ρ , мин | f , $c^{-1} \cdot 10^{-3}$ |
|-------------|--------------|------------------------------|
| $W_0(t)$ | 15...60 | 6,0...13,0 |
| $J_{30}(t)$ | 18...67 | 5,5...15,0 |
| $W(t)$ | 27...63 | 6,3...13,8 |
| $J_3(t)$ | 15...46 | 7,0...13,5 |

ванных корреляционных функций и функций спектральной плотности (табл. 3 и 4). Анализ сглаженных оценок нормированных корреляционных функций позволяет сделать вывод об их эргодических свойствах. Период колебаний существенных частот оказался сопоставим с экспозицией сушки.

Интервалы корреляции ρ 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 меняет структуру (частотный состав) процесса $W(t)$. Стабильным по высоте камеры сохраняется также частотный состав процесса изменения температуры теплоносителя $J_1(t)$.

Меняются по высоте камеры показатели процесса изменения темпера-

Табл. 4.

Динамические характеристики процессов по высоте сушилки

| Ряд коробов | Процессы | | | | | |
|-------------|----------------------|--------------------------------------|-----------------------|---------------------------------------|-----------------------|---------------------------------------|
| | $W(t)$ | | $J_3(t)$ | | $J_1(t)$ | |
| | $\rho_{W\rho}$, мин | $f_{W\rho}$, $c^{-1} \cdot 10^{-3}$ | $\rho_{J3\rho}$, мин | $f_{J3\rho}$, $c^{-1} \cdot 10^{-3}$ | $\rho_{J1\rho}$, мин | $f_{J1\rho}$, $c^{-1} \cdot 10^{-3}$ |
| 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 |

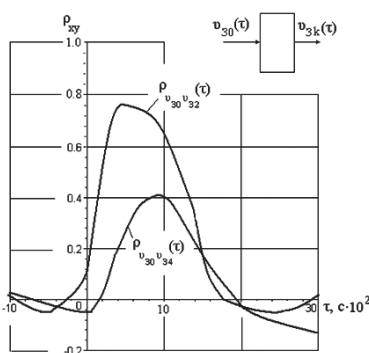


Рис. 4. Нормированные взаимные корреляционные функции процессов $J_{30}(t) - J_3(t)$ на уровне второго и четвертого ряда коробов

стует о её способности сглаживать их амплитуду, а температуры зерна и теплоносителя, наоборот, повышаются. Отношение дисперсии колебаний влажности зерна на выходе камеры

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 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°C. Для эффективного перераспределения потоков газа вдоль коробов могут быть использованы мероприятия, предложенные в [8-11].

По реализациям случайных процессов вычислены оценки нормиро-

туры зерна $J_3(t)$. 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 $W_0(t) - J_3(t)$ и $J_3(t) - J_3(t)$ 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.

Наибольшие значения коэффициента корреляции процессов

Коэффициенты взаимной корреляции процессов

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

$W(t) - J_3(t)$ 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 $J_{30}(t) - J_3(t)$ обнаружена в верхней части камеры сушки. Однако по мере удаления зоны сушки от начала камеры коэффициент взаимной корреляции процессов интенсивно убывает (рис. 4), сдвиг максимума связи обусловлен транспортным запаздыванием. В зонах, расположенных ниже шестого ряда коробов ($1/3$ часть высоты камеры), корреляционной связи процессов $J_{30}(t) - J_3(t)$ не обнаружено, но обнаружена тесная связь процессов $W_0(t) - J_3(t)$, чем подтверждается, что основным возмущением сушки являются колебания $W_0(t)$.

Принимая гипотезу о нормальном законе распределения случайной функции $W(t)$ на выходе сушилки, определена вероятность её пребывания в заданном [15] агротехническом симметричном допуске ($\Delta_w = \pm 1,5\%$), которая при $\sigma_w = 0,9...2,3(\%)^2$ составляет $P_\Delta = 0,48...0,90$. Это подтверждает низкое качество сушки, и обуславливают необходимость уменьшения дисперсии колебаний влажности зерна. Эффективное решение этой 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 ее рабочей камеры превышает агротехнические допуски, что подтверждают 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.

References:

1. Andrianov N.M. Ocenka statisticheskikh karakteristik potoka zernovogo voroha, postupajushhego v sushilku. [Evaluation of statistical characteristics of the grain heap entering the dryer]., N.M. Andrianov, S.K. Manasjan i dr., Traktory i sel'hozmashiny [Tractors and agricultural machinery]. – 2015, No. 2, pp. 20-22.
2. Andrianov N.M. Zadanie nachal'nyh uslovij i stohasticheskoj sostavljajushhej matematicheskoj modeli processa sushki zernovyh sushilok [Setting the initial conditions and the stochastic component of the mathematical model of the drying process in the grain dryers]., N.M. Andrianov, Shun'chi Mjej i dr., Polzunovskij al'manah [Polzunovsky almanac]. – 2014, No. 2, pp. 30-35.
3. Andrianov N.M. Regulirovanie teplovyh rezhimov v sushilках s gravitacionnym dvizhushhimsja sloem. [Regulation of thermal regimes in the dryers with the gravitational moving layer]., N.M. Andrianov, A.D. Galkin i dr., Traktory i sel'hozmashiny [Tractors and agricultural machinery]. – 2014, No. 4, pp. 30-33.

Табл. 5.

4. Andrianov N.M. Teplovye rezhimy v shahtnyh zernosushilках [Thermal regimes in shaft dryers], N.M. Andrianov, A.D. Galkin i dr., Sel'skij mehanizator [Rural mechanic]. – 2014, No. 9, pp. 12-13.

5. Andrianov N.M. Obosnovanie sistemy stabilizacii potoka teploty dlja zernosushilok shahtnogo tipa. [Justification of the heat flow stabilization systems for shaft-type dryers]., N.M. Andrianov, Shun'chi Mjej., Fundamental Researches. – 2014., No. 8 (part 7)., pp. 1518-1523.

6. Andrianov N.M. Kontrol' i regulirovanie temperatury zerna v shahtnyh sushilках [Control and regulation of temperature of grain in shaft dryers]., N.M. Andrianov, Shun'chi Mjej., Traktory i sel'hozmashiny [Tractors and agricultural machinery]. – 2014., No. 8., pp. 9-13.

7. Andrianov N.M. Obosnovanie sistemy regulirovanija temperatury zerna dlja sushilok shahtnogo tipa. [Justification of grain temperature control system for shaft-type dryers]., N.M. Andrianov, Shun'chi Mjej., Fundamental Researches. – 2014., No. 11 (part 2)., pp. 259-265.

8. Andrianov N.M. Sovershenstvovanie sistemy raspredelenija gaza shahtnyh zernosushilok [Improving the gas distribution system of shaft dryers]., N.M. Andrianov, A.V. Nikolaenok., Vestnik Novgorodskogo gosudarstvennogo universiteta im. Jaroslava Mudrogo [Bulletin of the Yaroslav-the-Wise Novgorod State University]. – 2013, No. 71, Vol. 2., pp. 4-7.

9. Andrianov N.M. Optimizacija sistemy raspredelenija teponositelja shahtnyh zernosushilok [Optimization of the coolant distribution system in shaft dryers]., N.M. Andrianov., Izvestija Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta [Bulletin of the Saint-Petersburg State Agrarian University]. – 2008., No. 10., pp. 160-164.

10. Andrianov N.M. Ustrojstvo raspredelenija gaza v shahtnoj zernosushilке [Gas distribution device in the shaft dryer]., N.M. Andrianov., Patent RU 2269079. 2006, Bull. No. 07.

11. Andrianov N.M. Sposob raspredelenija gaza v shahtnoj zernosushilке i ustrojstvo dlja ego

osushhestvleniya [A way to distribute gas in the shaft dryer and the device to do that], N.M. Andrianov., Patent RU 2538185. 2015, Bull. No.01.

12. Andrianov N.M. Sposob avtomaticheskogo regulirovaniya processa sushki zerna i ustrojstvo dlja ego osushhestvleniya [The method of automatic regulation of the grain drying process and the device for its realization], N.M. Andrianov, L.V. Kolesov i dr., Patent RU 2157958. 2000, Bull. No. 29.

13. Andrianov N.M. Sposob avtomaticheskogo regulirovaniya processa sushki zerna v shahtnoj zernosushilke i ustrojstvo dlja ego osushhestvleniya [The method of automatic regulation of the grain drying process in the shaft dryer and a device for its realization], N.M. Andrianov, L.V. Kolesov i dr., Patent RU 2018076. 1994, Bull. No.15.

14. Andrianov N.M. Sposob avtomaticheskogo regulirovaniya processa sushki zerna i ustrojstvo dlja ego osushhestvleniya [The method of automatic regulation of the grain drying process and the device for its realization], N.M. Andrianov., Patent RU 2135917. 1999, Bull. No. 24.

15. Chizhikov A.G. Operacionnaja tehnologija posleuborochnoj obrabotki i hranenija zerna (v Nechernozemnoj zone) [Operating technology of postharvest processing and storage of grain (in the non-chernozem zone)]. – Moskva., Rossel'hozizdat, 1981. – 191 p.

Литература:

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., No. 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., No. 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., No. 4., С. 30-33.

4. Андрианов Н.М. Тепловые режимы в шахтных зерносушилках., Н.М. Андрианов, А.Д. Галкин и др., Сельский механизатор. – 2014., No. 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., No. 8 (часть 7)., С. 1518-1523.

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

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

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

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

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

11. Андрианов Н.М. Способ распределения газа в шахтной зерносушилке и устройство для его осуществления., Н.М. Андрианов., Патент RU 2538185. 2015, Бюл. No. 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. No. 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. No. 15.

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

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

Information about authors:

1. Nikolay Andrianov - Doctor of Technical Sciences, Professor, Yaroslav-the-Wise Novgorod State University; address: Russia, Yaroslav city; e-mail: texaby66@yandex.ru

2. Mei Shunqi - Candidate of Technical Sciences, Associate professor, Wuhan Textile University; address: China, Wuhan city; e-mail: meishunqi@vip.sina.com

