

Д.Ю. Данилов¹, ✉
С.С. Казаков¹,
Е.А. Криштанов²,
Ф.Н. Фомченко³,
Н.Н. Пушкаренко⁴

¹ Нижегородский государственный инженерно-экономический университет, Княгинино, Нижний Новгород, Российская Федерация

² Санкт-Петербургский государственный аграрный университет, Санкт-Петербург, Российская Федерация

³ Великолукская государственная сельскохозяйственная академия, Великие Луки, Псковская обл., Российская Федерация

⁴ Чувашский государственный аграрный университет, Чебоксары, Российская Федерация

✉ danilovdy@mail.ru

Поступила в редакцию:
15.09.2022

Одобрена после рецензирования:
30.09.2022

Принята к публикации:
27.10.2022

Dmitry Y. Danilov¹, ✉
Sergej S. Kazakov¹,
Egor A. Krishtanov²,
Alexander N. Fomchenko³,
Nikolay N. Pushkarenko⁴

¹ Nizhny Novgorod State University of Engineering and Economics, Knyaginino, Nizhny Novgorod, Russian Federation

² St. Petersburg State Agrarian University, St. Petersburg, Russian Federation

³ Velikolukskaya State Agricultural Academy, Velikie Luki, Pskov region, Russian Federation

⁴ Chuvash State Agrarian University, Cheboksary, Russian Federation

✉ danilovdy@mail.ru

Received by the editorial office:
15.09.2022

Accepted in revised:
30.09.2022

Accepted for publication:
27.10.2022

Разработка мобильной зерносушилки и обоснование ее конструктивно-режимных параметров

РЕЗЮМЕ

Актуальность. Повышение эффективности сушки зерна возможно за счет увеличения интенсивности испарения влаги из обрабатываемого материала и уменьшения затрат энергии. В связи с этим была поставлена задача исследования малогабаритной мобильной установки для сушки зерна, которая отвечала бы требованиям мелкотоварного сельскохозяйственного производства, а также задача обоснования режимов сушки.

Методы. В результате анализа априорной информации, а также с учетом соответствующих требований, были выделены факторы, наибольшим образом влияющие на процесс сушки зерна. На предложенной установке проводились лабораторные исследования сушки пшеницы сорта Московская 39. В процессе исследований осуществлялись замеры соответствующих параметров. Использовался системный подход к обобщению теоретических и экспериментальных результатов исследования.

Результаты. Предложена установка для сушки зерна в условиях мелкотоварных хозяйств. В процессе сушки на данной установке обеспечивается: равномерный подвод нагретого воздуха ко всей площади слоя зерна, подвергающегося тепловой обработке; непрерывный отвод влаги, образующейся на поверхности зерна. В данной работе предложены выражения для определения мощности, требуемой для сушки зерна, и удельного расхода электроэнергии при снижении влажности зерна. Проведенные исследования позволили выявить зависимости удельного расхода электроэнергии и влагосъема от температуры и скорости движения агента сушки, экспозиции сушки. Полученные зависимости позволили установить, что данная установка имеет при оптимальной температуре агента сушки $60 \pm 2,5$ °C регулируемое в пределах $8 \pm 2,5$ Вт·ч/кг·% удельное энергопотребление и обеспечивает 5%-ный влагосъем. Разработанная установка имеет приемлемые для небольших фермерских хозяйств эксплуатационные параметры.

Ключевые слова: тепловая обработка, сушка зерна, конструктивно-технологические параметры, зерносушилка

Для цитирования: Данилов Д.Ю., Казаков С.С., Криштанов Е.А., Фомченко Ф.Н., Пушкаренко Н.Н. Разработка мобильной зерносушилки и обоснование ее конструктивно-режимных параметров. Аграрная наука. 2022; 364 (11): 122–127. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2022-364-11-122-127>

© Данилов Д.Ю., Казаков С.С., Криштанов Е.А., Фомченко Ф.Н., Пушкаренко Н.Н.

Justification of the design and regime parameters of a mobile grain dryer

ABSTRACT

Relevance. Improving the efficiency of grain drying is possible by increasing the intensity of moisture evaporation from the processed material and reducing energy costs. In this regard, the task was set to study a small-sized mobile installation for drying grain, which would meet the requirements of small-scale agricultural production, as well as to substantiate drying modes.

Methods. As a result of the analysis of a priori information, as well as taking into account the relevant requirements, the factors that most affect the grain drying process were identified. At the proposed installation, laboratory studies were carried out in the drying mode of wheat of the Moskovskaya 39 variety. During the research, measurements of the corresponding parameters were carried out. A systematic approach was used to generalize the theoretical and experimental results of the study.

Results. An installation for drying grain in conditions of small-scale farms is proposed. During the drying process on this installation, the following is ensured: a uniform supply of heated air to the entire area of the grain layer undergoing heat treatment; continuous removal of moisture formed on the surface of the grain. In this paper, expressions are proposed for determining the power required for drying grain and the specific power consumption with a decrease in grain moisture. The studies carried out made it possible to identify the dependences of the specific power consumption and moisture removal on the temperature and speed of the drying agent, drying exposure. The dependences obtained made it possible to establish that this installation, at the optimum temperature of the drying agent of 60 ± 2.5 °C, is adjustable within 8 ± 2.5 W·h/kg·% specific energy consumption and provides 5% moisture removal. The developed installation has operational parameters acceptable for small farms.

Key words: thermal processing, drying of grain, constructive-technological parameters, grain drier

For citation: Danilov D.Y., Kazakov S.S., Krishtanov E.A., Fomchenko A.N., Pushkarenko N.N. Justification of the design and regime parameters of a mobile grain dryer. Agrarian science. 2022; 364 (11): 122–127. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2022-364-11-122-127> (In Russian).

© Danilov D.Y., Kazakov S.S., Krishtanov E.A., Fomchenko A.N., Pushkarenko N.N.

Введение / Introduction

Процесс сушки зерна играет ключевую роль при подготовке его к длительному хранению. Вместе с тем сушка является самым энергозатратным мероприятием. Ее доля нередко составляет около 75% от всех затрат, связанных с доведением обрабатываемой зерновой массы до требуемой кондиции (по влажности и засоренности) [1]. Основным сегментом использования мобильных зерносушилок — это фермерские хозяйства и другие организации АПК с мелкотоварным (до 1000 т зерна) и среднетоварным (до 3000 т зерна) производством [2]. В настоящее время таким хозяйствам становится все более выгодным приобретение собственных мобильных зерносушилок. Однако их широкое распространение сдерживается отсутствием обоснования оптимальных конструктивных и режимных параметров [3].

Отсутствие малогабаритной, универсальной и высокоэффективной (лишенной отмеченных недостатков) техники для тепловой обработки небольших объемов зерна сдерживает развитие небольших фермерских хозяйств, кооперативов и мелких перерабатывающих предприятий [4].

Приоритетным направлением повышения эффективности сушки зерна [5] является поиск путей увеличения интенсивности испарения влаги из обрабатываемого материала и уменьшения затрат энергии. Конструкция зерносушилок должна обеспечивать равномерный нагрев и сушку зерна при надежном контроле температуры и влажности зерна во время сушки [6, 7, 8]. Зерносушилка должна обеспечивать баланс между качеством и экономической выгодой сушки [9].

Целью настоящей работы является разработка устройства для сушки зерна. В связи с этим была поставлена задача исследования малогабаритной мобильной установки для сушки зерна, которая отвечала бы требованиям мелкотоварного сельскохозяйственного производства, а также задача обоснования режимов сушки.

Материал и методы исследования / Materials and method

В результате анализа априорной информации, а также с учетом соответствующих требований, были выделены факторы, наибольшим образом влияющие на процесс сушки зерна. На предложенной установке проводились лабораторные исследования сушки пшеницы сорта Московская 39. В процессе исследований осуществлялись замеры соответствующих параметров. Использовался системный подход к обобщению теоретических и экспериментальных результатов исследования.

Результаты и обсуждение / Results and discussion

Общий вид устройства для сушки зерна представлен на рис. 1.

На рис. 2 показана схема устройства, детально показывающая его конструкцию.

Устройство включает: загрузочный бункер 7, теплогенератор 3, воздухопровод 5 с кассетой, устройство разгрузки 9, вентилятор 2, щит управления режимами сушки, оснащенный электросчетчиком, вольтметром, амперметром и ваттметром.

В теплогенераторе равномерно по окружности параметров размещаются 36 трубчатых электронагревателей (ТЭН). Максимальная потребляемая мощность теплогенератора — 16,2 кВт. В воздуховоде установлена

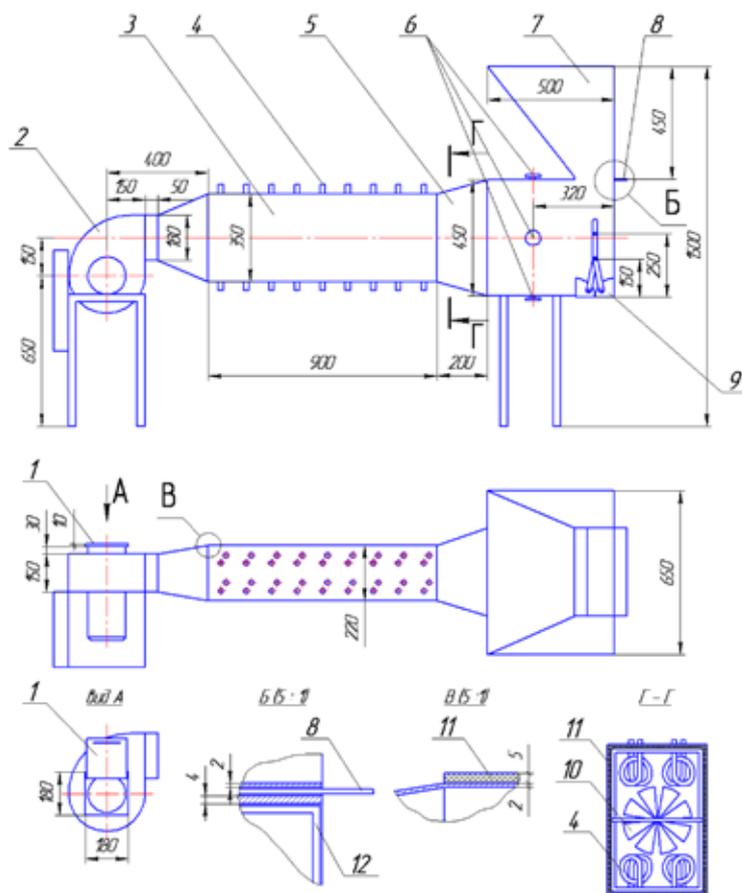
Рис. 1. Общий вид устройства для сушки зерна

Fig. 1. General view of the device for grain drying



Рис. 2. Схема устройства для сушки зерна

Fig. 2. Scheme of the device for grain drying



кассета, заполняемая зерном, толщина слоя теплоты составляет 150 мм и может варьироваться путем установки в кассете дополнительных перегородок. Перед кассетой и после установлены датчики t_B для контроля температуры сушильного агента, которая зависит от количества включенных ТЭН. Для обеспечения постоянного равномерного нагрева всей площади слоя зерна, а также для непрерывного отвода влаги с поверхности зерна, установлен турбулизатор 10.

Рабочий процесс устройства заключается в следующем. Устанавливается кассета в воздуховод. Отмеряется порция зерна, равная объему кассеты, взвешивается и засыпается в загрузочный бункер. Выдвигается заслонка 8 и кассета заполняется зерном. Открывается заслонка вентилятора 1. Электронагреватели и вентилятор включаются под напряжение, для чего используется щит управления. Воздух, нагнетаемый вентилятором, нагревается, турбулизуется и проходит через слой зерна в кассете. Объем подаваемого воздуха регулируется изменением частоты вращения вентилятора. Зерно в результате контакта с теплым воздухом нагревается и теряет излишки влаги. По окончании сушки обработанное зерно через разгрузочное устройство самотеком высыпается из кассеты, после чего взвешивается. В процессе работы устройства отслеживается время сушки, замеряется мощность, потребляемая электронагревателями теплогенератора и вентилятором, скорость агента сушки на выходе из кассеты, а также контролируется влажность зерна перед сушкой и после ее окончания. Устройство позволяет производить сушку зерна и в подвижном слое. Для этого необходимо открыть заслонку 8 и приоткрыть створки разгрузочного устройства. В этом случае в процессе сушки производятся те же замеры, а также время истечения зерна из кассеты.

Установившийся режим сушки зерна характеризуется тепловым балансом, то есть равенством между количеством теплоты, поступившим в устройство, и количеством теплоты, вышедшим из него.

Общий поток влаги внутри зерна, $\text{кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$:

$$j = a_m \rho_0 \nabla u - a_m^T \rho_0 \nabla t - k_p \nabla p, \quad (1)$$

где a_T — коэффициент диффузии влаги, $\text{м}^2/\text{с}$; ρ_0 — плотность абсолютно сухого зерна, $\text{кг}/\text{м}^3$; ∇u — градиент влагосодержания, $\text{кг}/(\text{кг}_{\text{сух.в-ва}} \cdot \text{м})$; a_m^T — коэффициент термодиффузии, $\text{м}^2/(\text{°C} \cdot \text{с})$; ∇t — градиент температуры, $\text{°C}/\text{м}$; k_p — коэффициент молярного переноса пара, $\text{кг}/(\text{м} \cdot \text{с} \cdot \text{Па})$; ∇p — градиент давления, $\text{Па}/\text{м}$.

Из выражения (1) видно, что процесс перемещения влаги внутри зерна обусловлен действием градиентов влагосодержания, температуры и давления.

Процесс сушки зерна на данном устройстве основан на конвективном способе подвода теплоты к поверхности зерна, поэтому для определения количества подведенной теплоты ($\text{Дж}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$) справедливо выражение:

$$q_{\text{подв}} = \alpha_{\text{конв}} (t_B - t_3), \quad (2)$$

где $\alpha_{\text{конв}}$ — коэффициент теплообмена между воздухом и зерном, $\text{Дж}/(\text{м}^2 \cdot \text{с} \cdot \text{°C})$; t_B — температура воздуха, °C ; t_3 — температура зерна, °C .

Количество теплоты, затрачиваемой на тепловую обработку единицы поверхности зерна, $\text{Дж}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$:

$$q_{\text{затр}} = q_{\text{нагр}} + q_{\text{исп}}, \quad (3)$$

где $q_{\text{нагр}}$ — количество теплоты, затрачиваемой на нагрев единицы поверхности зерна, $\text{Дж}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$; $q_{\text{исп}}$ — количество теплоты, затрачиваемой на испарение влаги с единицы поверхности зерна, $\text{Дж}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$.

$$q_{\text{нагр}} = c \rho_0 R_v \frac{dt}{d\tau}, \quad (4)$$

где c — удельная теплоемкость зерна, $\text{Дж}/(\text{кг} \cdot \text{°C})$; R_v — отношение объема абсолютно сухого зерна к площади поверхности влажного зерна, τ — время сушки, с .

$$q_{\text{исп}} = r \cdot j, \quad (5)$$

где r — удельная теплота парообразования, $\text{Дж}/\text{кг}$.

Подставим выражения (4) и (5) в выражение (3). С учетом выражения (1) получим:

$$q_{\text{затр}} = c \rho_0 R_v dt/d\tau + r(a_m \rho_0 \nabla u - a_m^T \rho_0 \nabla t - k_p \nabla p) \quad (6)$$

Таким образом, основное уравнение тепловлагообмена для сушки зерна в предложенном устройстве примет вид:

$$\lambda_{\text{э}} \frac{t_{\text{гр.сп}} - t_3}{h_k} + \alpha_{\text{конв}} (t_B - t_3) - c \rho_0 R_v \frac{dt}{d\tau} - r(a_m \rho_0 \nabla u - a_m^T \rho_0 \nabla t - k_p \nabla p) = 0. \quad (7)$$

Найдем выражение для определения подачи вентилятора. Для обеспечения эффективной работы устройства необходимо, чтобы обеспечивался постоянный подвод к слою зерна сухого нагретого воздуха и отвод влажного, причем для установившегося режима сушки характерно равенство количества влаги, поступившей с зерном и нагретым воздухом, количеству влаги, удаляемой из устройства. Баланс влаги в устройстве можно записать следующим образом:

$$G_1 \frac{\omega_1}{100} + L_M \frac{d_1}{1000} = G_2 \frac{\omega_2}{100} + L_M \frac{d_2}{1000}, \quad (8)$$

где G_1 и G_2 — подача зерна в устройство и выход просушенного зерна, $\text{кг}/\text{с}$; ω_1 и ω_2 — влажность зерна до и после сушки, %; L_M — массовая подача вентилятора, $\text{кг}/\text{с}$; d_1 и d_2 — содержание влаги в воздухе на входе и при выходе из устройства, $\text{г}/\text{кг}$.

Преобразуем данное выражение:

$$G_1 \frac{\omega_1}{100} - G_2 \frac{\omega_2}{100} = L_M \frac{d_2 - d_1}{1000} = W \quad (9)$$

где W — массовый расход испарившейся влаги, $\text{кг}/\text{с}$.

Выразим необходимую массовую подачу вентилятора:

$$L_M = \frac{1000W}{d_2 - d_1}. \quad (10)$$

Подача вентилятора, $\text{м}^3/\text{с}$:

$$L = \frac{L_M}{\rho}, \quad (11)$$

где ρ — плотность наружного воздуха, $\text{кг}/\text{м}^3$. С учетом выражения (10), получим:

$$L_M = \frac{1000W}{\rho(d_2 - d_1)}. \quad (12)$$

Рис. 3. Температурные поля конструктивных элементов устройства в процессе сушки зерна (устройство теплоизолировано)
Fig. 3. Temperature fields of structural elements of the device in the process of grain drying (the device is thermally insulated)

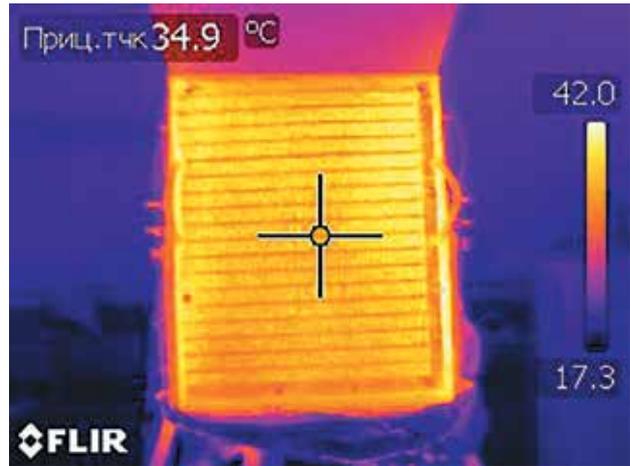
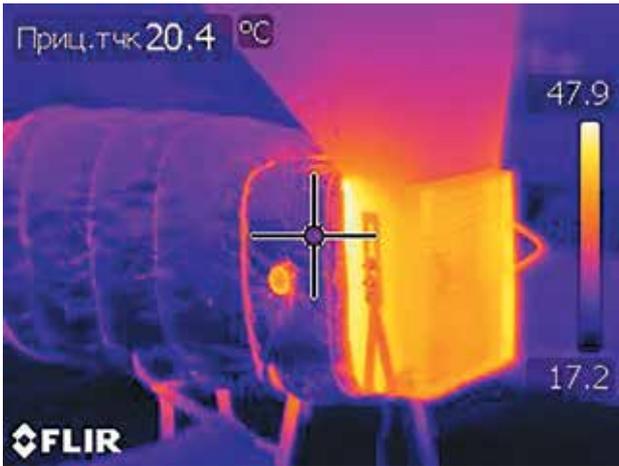


Рис. 4. Зависимость $W_{уд}$ от $t_{ар}$ при различной v и $\tau = 18$ мин
Fig. 4. The dependence of $W_{уд}$ on $t_{ар}$ at different v and $\tau = 18$ min

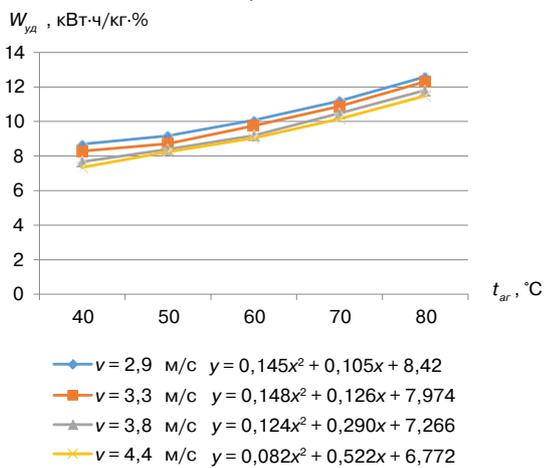
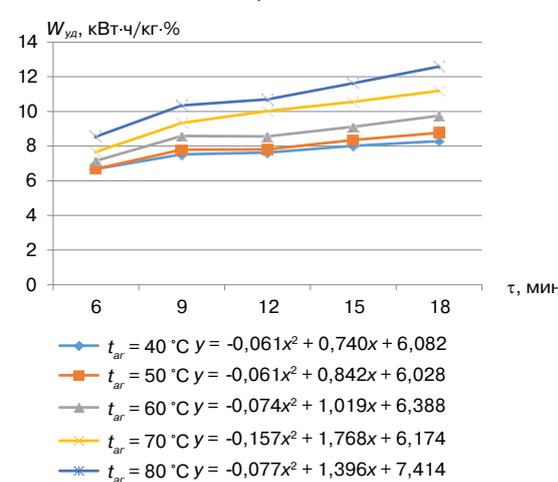


Рис. 5. Зависимость $W_{уд}$ от τ при различной $t_{ар}$ и $v = 2,9$ м/с
Fig. 5. The dependence of $W_{уд}$ on τ at different $t_{ар}$ and $v = 2,9$ м/с



Производительность сушилки зависит от объемов и интенсивности поступления влажного зерна, требуемого влагосъема и других факторов [10, 11]. Действительную пропускную способность предложенного устройства можно представить в виде:

$$Q = \frac{M_з}{(\tau_c + \tau_з + \tau_B)} \quad (13)$$

где $M_з$ — масса зерна, τ_c , $\tau_з$, τ_B — соответственно время сушки, загрузки и выгрузки.

Мощность, требуемая для процесса сушки зерна в устройстве, складывается из мощности, потребляемой вентилятором и электронагревателями, Вт:

$$N = N_B + N_э \quad (14)$$

Мощность, потребляемая вентилятором, Вт:

$$N_B = \frac{L H}{\eta_r \eta_m \eta_n} \quad (15)$$

L_B — подача вентилятора, м³/с; H — напор, создаваемый вентилятором, Па; ρ — плотность воздуха, кг/м³; η_r , η_m , η_n — соответственно аэродинамический, механический КПД вентилятора и КПД привода вентилятора.

Мощность, потребляемая электронагревателями, Вт

$$N_{эК} = k_з \frac{c_B \rho L_B (t_{ВВЫХ} - t_{ВХ})}{\eta} \quad (16)$$

где $k_з$ — коэффициент, учитывающий потери из-за колебания напряжения в сети; c_B — удельная теплоемкость воздуха, Дж/(кг·°C); ρ — плотность воздуха, кг/м³; L_B — подача вентилятора, м³/с; $t_{ВХ}$, $t_{ВВЫХ}$ — температура воздуха на входе и на выходе из теплогенератора, °C; η — КПД теплогенератора [12].

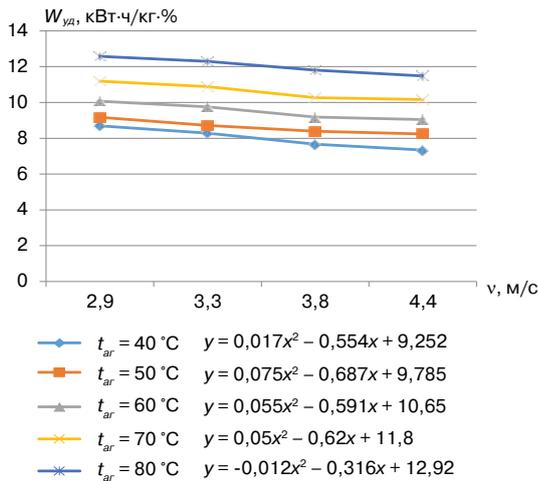
Подставляя (15) и (16) в (14), получим:

$$N = \frac{L H}{\eta_r \eta_m \eta_n} + k_з \frac{c_B \rho L_B (t_{ВВЫХ} - t_{ВХ})}{\eta} \quad (17)$$

В результате анализа априорной информации, а также с учетом соответствующих требований, были выделены следующие факторы, наибольшим образом влияющие на процесс сушки: температура и скорость агента сушки, а также время сушки. В качестве параметра оптимизации были приняты удельные затраты электроэнергии при снижении влажности на 1% в расчете на 1 кг зерна, Вт·ч/кг. В процессе исследований осуществлялись замеры: экспозиции сушки; влажности зерна до и после сушки; количества потребленной электроэнергии; скорости движения, начальной и конечной температуры агента сушки. Также определялась температура

Рис. 6. Зависимость $W_{уд}$ от v при различной $t_{ар}$ и $\tau = 18$ мин

Fig. 6. The dependence of $W_{уд}$ on v at different $t_{ар}$ and $\tau = 18$ min



конструкционных элементов устройства с помощью тепловизора Flir T335.

Проведенные исследования позволили выявить зависимости (рис. 4–8) удельного расхода электроэнергии ($W_{уд}$) и влагосъема ($\Delta\omega$) от температуры ($t_{ар}$) и скорости (v) движения агента сушки, экспозиции сушки (τ).

Зависимость влагосъема $\Delta\omega$ от температуры сушильного агента $t_{ар}$ при различной скорости воздуха v и времени сушки $\tau = 18$ мин.

Выводы / Conclusion

Разработано устройство для сушки зерна. Проведены лабораторные исследования на данном устройстве в результате которых получены зависимости, позволившие установить, что данное устройство имеет при оптимальной температуре агента сушки $60 \pm 2,5$ °C регулируемое в пределах $8 \pm 2,5$ Вт · ч/кг · % удельное энергопотребление и обеспечивает 5%-ный влагосъем. Разработанное устройство имеет приемлемые для небольших фермерских хозяйств эксплуатационные параметры.

Все авторы несут ответственность за свою работу и представленные данные.

Все авторы внесли равный вклад в эту научную работу. Авторы в равной степени участвовали в написании рукописи и несут равную ответственность за плагиат. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Рис. 7. Зависимость $\Delta\omega$ от $t_{ар}$ при различной v и $\tau = 18$ мин

Fig. 7. The dependence of $\Delta\omega$ on $t_{ар}$ at different v and $\tau = 18$ min

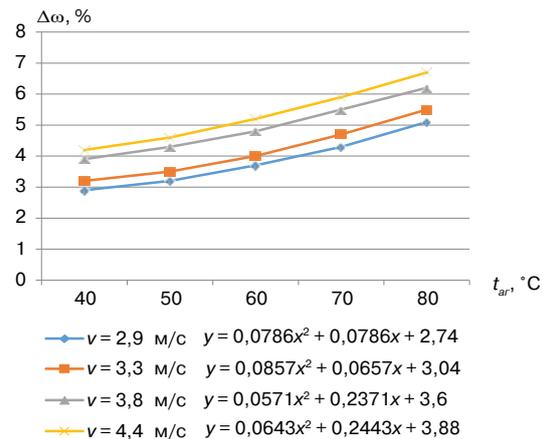
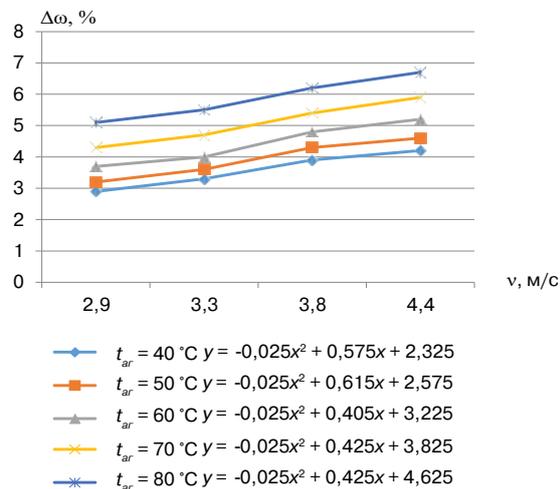


Рис. 8. Зависимость $\Delta\omega$ от v при различной $t_{ар}$ и $\tau = 18$ мин

Fig. 8. The dependence of $\Delta\omega$ on v at different $t_{ар}$ and $\tau = 18$ min



All authors bear responsibility for the work and presented data.

All authors have made an equal contribution to this scientific work. The authors were equally involved in writing the manuscript and bear the equal responsibility for plagiarism. The authors declare no conflict of interest.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Керимов М.А. Многокритериальная оценка качества функционирования зерносушилок различных типов. В сборнике: Системный анализ в проектировании и управлении. Сборник научных трудов XXIII Международной научно-практической конференции. Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого. 2019: 310-315.
2. Жанахов А.С. Преимущества мобильных зерносушилок. В сборнике: Методы механики в решении инженерных задач. Сборник статей по материалам II Всероссийской научно-практической конференции. Под общей редакцией С.Ф. Сухановой. 2018: 25-28.
3. Зазуля А.Н., Игонин В.Н., Сотников М.В., Молоchnikov Д.Е., Яковлев С.А., Халимов Р.Ш. К вопросу обоснования оптимальных параметров работы мобильной зерносушилки. Наука в центральной России. 2018; 5(35): 6-11.
4. Оболенский Н. В. Малогабаритная зерносушилка для фермерских хозяйств. Механизация и Электрификация сельского хозяйства. 2011; 10: 26, 27.
5. Анискин В. И. Технологические основы оценки работы зерносушильных установок М.: ВИМ. 2003: 167 с.
6. Манжосов В.И. Технология хранения растениеводческой продукции М.: КолосС. 2005: 392 с.

REFERENCES

1. Kerimov M.A. Multi-criteria assessment of the quality of functioning of grain dryers of various types. In the collection: System analysis in design and management. collection of scientific papers of the XXIII International Scientific and Practical Conference. Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University. 2019: 310-315. (In Russian)
2. Zhanahov A.S. Advantages of mobile grain dryers. In the collection: Methods of mechanics in solving engineering problems. Collection of articles based on the materials of the II All-Russian Scientific and Practical Conference. Under the general editorship of S.F. Sukhanova. 2018: 25-28. (In Russian)
3. Zazulya A.N., Igonin V.N., Sotnikov M.V., Molochnikov D.E., Yakovlev S.A., Halimov R.SH. On the issue of substantiating the optimal parameters of the mobile grain dryer. Nauka v central'noy Rossii. 2018; 5(35): 6-11. (In Russian)
4. Obolensky N.V. Small -sized grain dryer for farms. Mekhanizaciya i Elektrifikaciya sel'skogo hozyajstva. 2011; 10: 26, 27 (In Russian)
5. Aniskin V.I. Technological bases for evaluating the operation of grain drying plants M.: VIM. 2003: 167 p. (In Russian)
6. Manzhosov V.I. Technology of storage of crop products M.: KolosS 2005: 392 p. (In Russian)

7. Вобликов Е.М. Послеуборочная обработка и хранение зерна. Ростов-на-Дону: Издательский центр «МарТ», 2003: 231 с.
8. Зимин И.Б. Инновационные направления в развитии зерносушильной техники для фермерских хозяйств. В сборнике: *Научное обеспечение инновационного развития АПК материалы международной научно-практической конференции. Великолукская государственная сельскохозяйственная академия. Великие Луки.* 2020: 160-175.
9. Лютых О. Дело техники: сушка зерна. *АгроФорум.* 2020; 5: 58-65.
10. Кожухов В.А., Михеева Н.Б., Ушкалов В.Ю. Энергоэффективная зерносушилка для фермерского хозяйства. В сборнике: *Актуальные проблемы энергетики АПК. Материалы IX международной научно-практической конференции. Под общ. ред. Трушкина В.А.* 2018: 74-76.
11. Панов М.В., Ступаков И.О. Применение мобильных малогабаритных зерносушилок для зерна пшеницы. *Молодежь и наука.* 2018; 1: 42-49.
12. Оболенский Н. В. Электронагрев в сельскохозяйственных обрабатывающих и перерабатывающих производствах. Н. Новгород: НГСХИ. 2007: 350 с.
7. Voblikov E.M. Post-harvest processing and grain storage. Rostov-na-donu. Izdatelskij centr «MarT» 2003: 231p. (In Russian)
8. Zimin I.B. Innovative directions in the development of grain drying equipment for farms. In the collection: *Scientific support for the innovative development of the agro-industrial complex materials of the international scientific and practical conference. Velikiye Luki State Agricultural Academy. Velikie Luki.* 2020: 160-175 (In Russian)
9. Lyutyh O. A matter of technique: drying grain. *Agroforum.* 2020; 5: 58-65. (In Russian)
10. Kozhuhov V.A., Miheeva N.B., Ushkalov V.YU. Energy-efficient grain dryer for farming. In the collection: *Actual problems of agricultural energy. Materials of the IX International Scientific and practical conference. Under the general ed. Trushkina V.A.* 2018: 74-76. (In Russian)
11. Panov M.V., Stupakov I.O. The use of mobile small-sized grain dryers for wheat grain. *Molodezh' i nauka.* 2018; 1: 42-49. (In Russian)
12. Obolensky N.V. Electric heating in agricultural manufacturing and processing industries. N. Novgorod NGSHI. 2007. 350 p. (In Russian)

ОБ АВТОРАХ:

Дмитрий Юрьевич Данилов, кандидат технических наук, доцент
Нижегородский государственный инженерно-экономический университет,
22, ул. Октябрьская, г. Княгинино, Нижегородская область, 606340, Российская Федерация
E-mail: danilovdy@mail.ru

Сергей Сергеевич Казаков, кандидат технических наук, доцент
Нижегородский государственный инженерно-экономический университет,
22, ул. Октябрьская, г. Княгинино, Нижегородская область, 606340, Российская Федерация
E-mail: kazakoff.85@mail.ru

Криштанов Егор Александрович, кандидат технических наук, доцент
Заместитель декана по учебно-воспитательной работе Инженерно-технологического факультета
Санкт-Петербургский государственный аграрный университет
2, Петербургское шоссе, г. Пушкин, г. Санкт-Петербург, 196601, Российская Федерация
E-mail: dekanazam@mail.ru

Александр Николаевич Фомченко, кандидат технических наук, доцент
Великолукская государственная сельскохозяйственная академия,
2, пр-т. Ленина, г. Великие Луки, Псковская обл., 182112, Российская Федерация
E-mail: fomch@mail.ru

Николай Николаевич Пушкаренко, кандидат технических наук, доцент
Чувашский государственный аграрный университет,
29, ул. К. Маркса, г. Чебоксары, 428003, Российская Федерация
E-mail: stl_mstu@mail.ru

ABOUT THE AUTHORS:

Dmitrij Yur'evich Danilov, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor
Nizhny Novgorod State of Engineering and Economic University,
22, st. Oktyabrskaya, Knyaginino, Nizhny Novgorod Region, 606340, Russian Federation
E-mail: danilovdy@mail.ru

Sergej Sergeevich Kazakov, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor
Nizhny Novgorod State of Engineering and Economic University,
22, st. Oktyabrskaya, Knyaginino, Nizhny Novgorod Region, 606340, Russian Federation
E-mail: kazakoff.85@mail.ru

Egor Aleksandrovich Krishtanov, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor
Deputy Dean for Teaching and Educational Work, Faculty of Engineering and Technology
St. Petersburg State Agrarian University,
2, Petersburg Highway, Pushkin, St. Petersburg, 196601, Russian Federation
E-mail: dekanazam@mail.ru

Aleksandr Nikolaevich Fomchenko, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor
State Agricultural Academy of Velikie Luki,
2, Ave. Lenin, Velikiye Luki, Pskov region, 182112, Russian Federation
e-mail: fomch@mail.ru

Nikolaj Nikolaevich Pushkarenko, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor
Chuvash State Agrarian University,
29, st. K. Marx, Cheboksary, 428003, Russian Federation
E-mail: stl_mstu@mail.ru