

УДК 631.243



EDN: LYZUHY

DOI: 10.22314/2073-7599-2023-17-4-49-54

Исследование процесса сушки растительных отходов в изотермической модели

Михаил Геннадьевич Загоруйко,
кандидат технических наук, доцент,
старший научный сотрудник,
e-mail: zagorujko.misha2013@yandex.ru;

Игорь Андреевич Башмаков,
кандидат технических наук, научный сотрудник,
e-mail: igorbash@bk.ru;
Кирилл Александрович Степанов,
младший научный сотрудник,
e-mail: 89999878895@mail.ru

Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, Москва, Российская Федерация

Реферат. Отметим преимущества сжигания растительных отходов в топливных установках: отсутствие конденсата, минимум золы, постоянная температура теплоносителя, эффективный теплообмен. Для усовершенствования таких установок, интенсификации режима сушки необходима информация об особенностях тепло- и массопереноса при высокотемпературной сушке влажных частиц. Поскольку изучать процесс сушки в реальной топке проблематично, исследования проводились на изотермической (холодной) модели в лабораторных условиях, приближенных к реальному процессу. (*Цель исследования*) Оценить эффективность предлагаемых аэродинамических моделей сушки растительных отходов и проверить адекватность математической модели сушки частиц во взвешенном слое. (*Материалы и методы*) На двух моделях взвешенного слоя с отличающимися различной аэродинамикой вихревых течений (факельной и циклонной) в камерах сгорания изучили кинетику сушки двух узких фракций лузги подсолнечника с эквивалентным диаметром частиц 0,25 и 1,5 миллиметров исходной влажностью 15 и 18 процентов. В разные моменты времени определяли температуру и влажность частиц лузги, а также температуру и относительную влажность выходящего сушильного агента. Процесс сушки происходил в периодическом режиме. (*Результаты и обсуждение*) При начальной влажности частиц лузги подсолнечника 15 процентов наблюдались два периода с падающей скоростью сушки, а при влажности 18 процентов таких периодов было три, первый из них был с постоянной скоростью. Отметим, что при исходной влажности лузги 15 процентов на кривых сушки практически отсутствует линейный участок. Это свидетельствует о протекании процесса во время снижения скорости сушки. (*Выводы*) Выявили наиболее эффективный по интенсивности режим сушки. Установили, что факельно-вихревой и циклонно-вихревой аэродинамический режимы обеспечивают сушку частиц в моделях, причем более интенсивно при циклонно-вихревом режиме. При анализе возможности перехода от модели к реальному процессу необходимо базироваться на сравнении оценок вероятного процесса с допустимыми условиями практической эксплуатации, что и показала модель сушки частиц во взвешенном слое. **Ключевые слова:** растительные отходы, сжигание, подсолнечная лузга, сушка, кинетика, аэродинамический режим, эффективность.

■ **Для цитирования:** Загоруйко М.Г., Башмаков И.А., Степанов К.А. Исследование процесса сушки растительных отходов в изотермической модели // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2023. Т. 17. N4. С. 49-54. DOI: 10.22314/2073-7599-2023-17-4-49-54. EDN: LYZUHY.

Plant Waste Drying in an Isothermal Model

Mikhail G. Zagoruyko,
Ph.D.(Eng.), associate professor,
senior researcher,
e-mail: zagorujko.misha2013@yandex.ru;

Igor A. Bashmakov,
Ph.D.(Eng.), researcher,
e-mail: igorbash@bk.ru;
Kirill A. Stepanov,
junior researcher,
e-mail: 89999878895@mail.ru

Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russian Federation

Abstract. The paper highlights advantages of using furnaces for processing vegetable waste, including the absence of condensation, minimal ash production, stable coolant temperature, and efficient heat exchange. To improve this machine and intensify the drying

process, it is necessary to gather data on the heat and mass transfer characteristics during high-temperature drying of moisture-laden particles. Due to the inherent challenges of studying the drying process in a real furnace, the experiment was conducted using an isothermal (cold) model under laboratory conditions closely resembling real-world processes. (*Research purpose*) The research aims to assess the effectiveness of the proposed aerodynamic models for drying plant waste and validate the mathematical model for drying particles in a suspended bed. (*Materials and methods*) The study employs two suspended bed models with distinct vortex flow aerodynamics (flare and cyclone) in combustion chambers. The study investigates the drying kinetics of two specific fractions of sunflower husks, each with an equivalent particle diameter of 0.25 and 1.5 millimeters, and initial moisture levels of 15 and 18 percent. At various time intervals, measurements were taken for both the temperature and humidity of the husk particles, in addition to recording the temperature and relative humidity of the drying agent as it exited. The drying process operated in a cyclical mode. (*Results and discussion*) When the sunflower husk particles had an initial moisture content of 15 percent, two phases of increasing drying rates were observed, while at an 18 percent moisture content, three such periods were identified, with the first period displaying a constant rate. The results suggest that when the husks start with an initial moisture content of 15 percent, the drying curves exhibit minimal linear segments. This observation implies that the process is occurring as the drying rate decreases. (*Conclusions*) The experiment reveals the most effective drying mode in terms of intensity. It becomes evident that both the flare-vortex and cyclone-vortex aerodynamic modes facilitate particle drying, with the cyclone-vortex mode delivering a notably more intense drying process. When transitioning from a model to a real-world process, it is essential to undertake a comparison of estimated processes with practical operational conditions, as exemplified by the particle drying model in a suspended bed.

Keywords: vegetable waste, combustion, sunflower husk, drying, kinetics, aerodynamic mode, efficiency.

■ **For citation:** Zagoruyko M.G., Bashmakov I.A., Stepanov K.A. Issledovanie protsessa sushki rastitel'nykh otkhodov v izotermicheskoy modeli [Plant waste drying in an isothermal model]. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2023. Vol. 17. N4. 49-54 (In Russian). DOI: 10.22314/2073-7599-2023-17-4-49-54. EDN: LYZUHY.

Древесные и растительные отходы служат ценным биотопливом с высокой теплотой сгорания и низким содержанием серы [1]. Производство биотоплива, как правило, не требует больших инвестиций и может быть организовано как в крупных, так и в малых масштабах. В качестве биотоплива используется любой вид возобновляемого сырья, в том числе отходы сельскохозяйственного производства [2]. Чтобы сжигание происходило эффективно с наибольшей теплоотдачей эти отходы должны быть примерно одинаковых размеров и формы, обеспечивающих необходимый контакт с кислородом воздуха.

Для сжигания растительных отходов, таких как лузга и гранулы лузги подсолнечника, опилок, применяются топki различных марок [3, 4]. Топочная установка состоит из камеры сгорания из огнеупорного материала с жаропрочной колосниковой решеткой. Она может оснащаться форсункой жидкого топлива или горелкой природного газа и использоваться комплексно с другими типами топок. Подача топлива регулируется автоматически в зависимости от требуемой температуры теплоносителя [5]. К преимуществам топливных установок относятся: отсутствие конденсата и осмоса, минимальное количество золы, постоянство температуры при сгорании теплоносителя на протяжении длительного периода и эффективный теплообмен [6]. Важно, что при использовании топок исключено попадание в высушиваемый материал продуктов сгорания и влаги.

Для устойчивого зажигания и горения частицы растительных отходов должны быть сухими [7]. От их влажности во многом зависят режимы сжигания

и конструктивные параметры топочной установки [8]. Информации об особенностях процессов тепло- и массопереноса при высокотемпературной сушке влажных частиц недостаточно. Поскольку изучать процесс сушки в реальной топке затруднительно, специальные экспериментальные исследования проводили на изотермической (холодной) модели. В этом случае материал загружают, вентилируют агентом сушки в реверсивном режиме, охлаждают и разгружают [9, 10]. Кроме того, в расположенной выше камере изменяют расход агента сушки с измерением его температуры термодатчиками [11].

Цель исследования – оценить эффективность предлагаемых аэродинамических моделей сушки растительных отходов; проверить адекватность математической модели сушки частиц во взвешенном слое.

Материалы и методы. Увлажненную лузгу подсолнечника двух узких фракций с эквивалентным диаметром частиц (R) 0,25, и 1,5 мм высушивали от начальной влажности (W_H) 15 и 18% до конечной (W_K), равной 6-7%. Процесс моделировался при двух способах сушки: факельно-вихревом и циклонно-вихревом (*рисунки 1 и 2*).

Аэродинамическая схема моделей сушки выбрана на основе предварительных исследований и анализа опубликованных источников и разработок (патенты RU 2236643C1 и RU 2237834C1, 2004). В лабораторных условиях, приближенных к реальному процессу, изучалась кинетика сушки двух узких фракций лузги подсолнечника, причем самая мелкая фракция была получена дроблением и просеиванием. Пе-

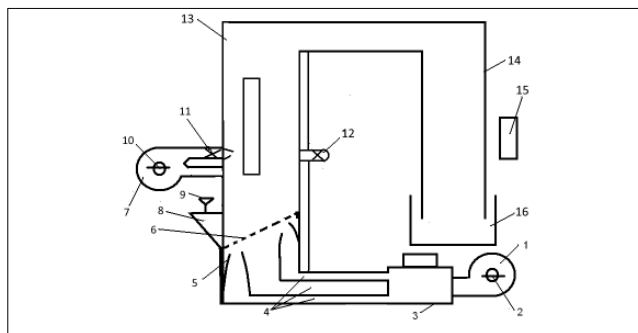


Рис. 1. Схема лабораторной установки с факельно-вихревым режимом: 1, 7 – вентиляторы; 2, 9–12 – клапаны; 3 – калорифер; 4 – воздушные каналы; 5 – сопло; 6 – решетка; 8 – емкость (с материалом); 13 – шахта воздухоподогревателей; 14 – воздушная труба; 15 – измерительный комплекс «Терем-4»; 16 – емкость для вынесенных частиц

Fig. 1. Diagram of laboratory installation with flare-vortex mode: 1, 7 – fans; 2, 9–12 – valves; 3 – heater; 4 – air channels; 5 – nozzle; 6 – grid; 8 – container (with material); 13 – shaft of air heaters; 14 – air pipe; 15 – measuring complex Terem-4; 16 – container for extracted particles

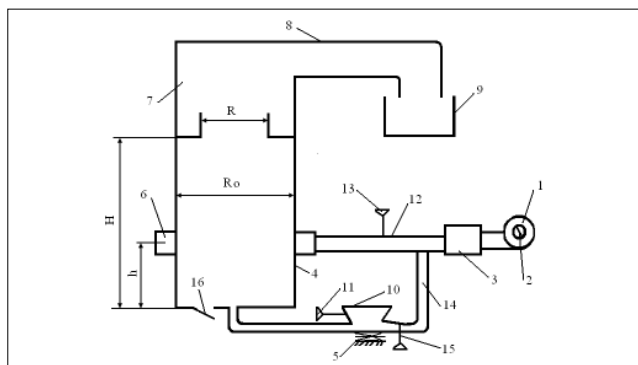


Рис. 2. Схема лабораторной установки с циклонно-вихревым режимом: 1 – вентилятор; 2 – заслонка; 3 – калорифер; 4 – камера; 5 – вибратор; 6 – коллектор вторичного дутья; 7 – пережим; 8 – труба подачи воздуха; 9 – емкость для вынесенных частиц; 10 – емкость (с материалом); 11 – задвижка емкости; 12 – труба подачи вторичного воздуха; 13 – задвижка на трубе вторичного воздуха; 14 – труба подачи первичного воздуха; 15 – задвижка на трубе первичного воздуха; 16 – разгрузочный клапан

Fig. 2. Diagram of laboratory unit with a cyclone-vortex mode: 1 – fan; 2 – damper; 3 – heater; 4 – chamber; 5 – vibrator; 6 – secondary blast collector; 7 – squeeze; 8 – air pipe; 9 – container for extracted particles; 10 – container (with material); 11 – container gate valve; 12 – secondary air pipe; 13 – gate valve on the secondary air pipe; 14 – primary air pipe; 15 – gate valve on the primary air pipe; 16 – discharge valve

риодически в процессе сушки регистрировали температуру и влажность частиц лузги, а также определяли температуру и относительную влажность выходящего сушильного агента [12]. Измерять эти параметры при выполнении исследований было необходимо для оценки момента окончания сушки [13].

Подготовленную навеску лузги высыпали в предварительно прогретую камеру при установленных режимах первичного и вторичного дутья и измерительных датчиков прибора «Терем 4». При факельно-вихревом режиме первичное дутье вместе с материалом подается над решеткой, а вторичное под решеткой соплами. Для циклонно-вихревого режима характерен определенный аэродинамический режим [14]. Первичная продувка проводится по центру камеры цилиндрической формы в нижней части, вторичная подача воздуха – циклонно на некоторой высоте. Лузгу продували воздухом температурой 75°C при оптимальных параметрах аэродинамического режима. Через каждые 15 секунд при сушке фракции 0,25 мм и каждые 30 секунд для остальных фракций камеру отключали от вентилятора (вентилятор и калорифер оставались включенными). Навеску высыпали в бюкс, взвешивали на технических весах с точностью $\pm 0,001$ г и измеряли температуру частиц ($\pm 1^\circ\text{C}$), чтобы установить, какая часть теплоты (η_M) расходуется на испарение влаги. Лузгу снова помещали в камеру и сушку продолжали. Взвешивание и замер температуры ($\sim 0,5$ минуты) в общем времени сушки не учитывались. Лузгу высушивали до конечной влажности $W_K = 6-7\%$, которая приблизительно на 2% выше равновесной, но ниже кондиционной для семян подсолнечника (около 11%). Опыты проходили в периодическом режиме в трехкратной повторности. Использовались методы статистической обработки полученных результатов.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ. Масса загруженных частиц была 0,02 и 0,01 кг соответственно для факельно-вихревого и циклонно-вихревого режима. Отношение скоростей составляло $V_1/V_2 = 5$ и $V_1/V_B = 1,2$ (V_1, V_2, V_B – скорости первичного, вторичного дутья и витания частиц, м/с). Графические зависимости влажности (W) и температуры частиц (θ) от времени сушки (τ) для этих режимов приведены на рисунке 3.

При начальной влажности частиц лузги $W_H = 15\%$ наблюдаются два периода сушки с падающей скоростью, а при $W_H = 18\%$ – три периода, причем первый из них с постоянной скоростью. Температура частиц влажностью 15% с самого начала сушки возрастает, а через 30 секунд в фракции 0,25 мм и через 100 секунд в фракции 1,5 мм отстает от температуры сушильного агента на 3–5°C. Отмечено, что температура частиц при факельно-вихревом аэродинамическом режиме на 3–4°C ниже, чем при циклонно-вихревом. Таким образом, при циклонно-вихревом режиме сушка протекает интенсивнее, причем с увеличением размера частиц интенсивность и эффективность процесса повышаются.

Экспериментальные кривые сушки (зависимость среднего содержания влаги в частицах от времени сушки) имеют монотонный характер. Это означает, что кинетика процесса определяется в основном внеш-

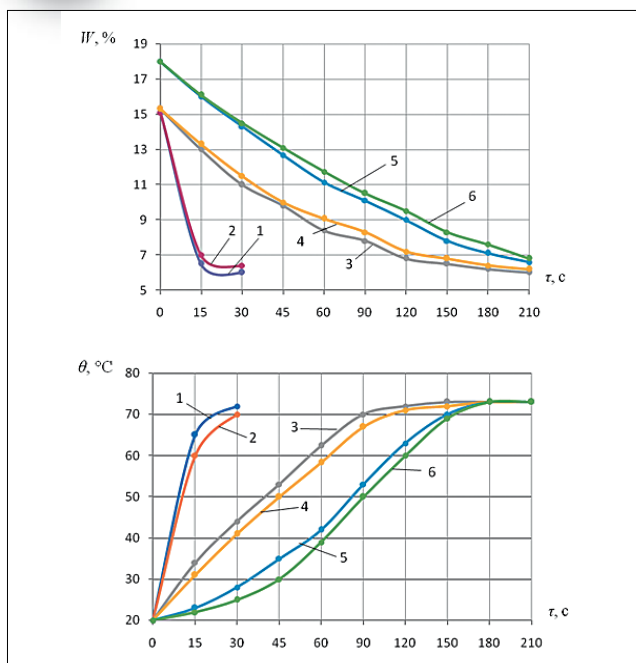


Рис. 3. Зависимость влажности (W) и температуры (θ) частиц от времени сушки (τ) лузги и аэродинамического режима: 1, 3, 5 – циклонно-вихревой режим; 2, 4, 6 – факельно-вихревой режим; 1, 2 – фракция 0,25 мм; 3–6 – фракция 1,5 мм
 Fig. 3. Dependence of particle moisture (W) and temperature (θ) on drying time (τ) for husks and aerodynamic mode: 1, 3, 5 – cyclone-vortex mode; 2, 4, 6 – flare-vortex mode; 1, 2 – fraction 0.25 mm; 3–6 – fraction 1.5 mm

ними условиями нагревания, а внутри материала не происходят явления, существенно влияющие на процесс сушки.

При исходной влажности лузги $W_H = 15\%$ на кривых сушки практически отсутствует линейный участок, т.е. процесс протекает в период снижения скорости. При определенном содержании влаги процесс замедляется, поскольку обезвоживаются поверхностные слои лузги и углубляется фронт интенсивного испарения. Кинетика влажности и температуры указывает на формирование внутри материала двух зон: «сухой» с содержанием влаги, близким к равновесному, и «влажной» с небольшим изменением влагосодержания. Граница между зонами постепенно углубляется, и температура частиц на этой границе близка к температуре сушильного агента.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Голобоков С.В., Мухамедьярова Н.К., Лёсин И.А. Технологии переработки и утилизации отходов деревообработки // *Инжиниринг и технологии*. 2019. Т. 4. N2. С. 32-37. DOI: 10.21685/2587-7704-2019-4-2-5. EDN: MDZTJSJ.
2. Судакова И.Г., Руденко Н.Б. Получение твердых биотоплив из растительных отходов (обзор) // *Журнал Сибирского федерального университета. Серия: Химия*. 2015. Т. 8. N4. С. 499-513. DOI: 10.17516/1998-2836-2015-8-4-499-513. EDN: VOABJT.
3. Шаяхметова А.Х., Тимербаева А.Л., Борисова Р.В. Сравнительные характеристики пеллет из лузги подсолнечника и древесных гранул // *Вестник Казанского технологического университета*. 2015. Т. 18. N2. С. 243-246. EDN: TJLTKL.

Процессы переноса тепла и переноса влаги внутри материала можно рассматривать отдельно друг от друга, т.е. наличие «сухой» и «влажной» зон, принятые для рассматриваемой модели, обосновано. Это позволяет пренебречь неравномерным переносом жидкой фазы и считать распределение влагосодержания частиц в каждой из зон равномерным.

При анализе полученных результатов следует иметь в виду, что в реальной топке и в модели сравниваются результаты при постоянном соотношении скорости первичного и вторичного дутья ($V_1/V_2 = const$).

Установлено, что длительность сушки по достижении влажности $W_K/W_H = 0,3$ по сравнению с теоретическим расчетом необходимого времени на основе математических моделей (как с учетом коэффициентов теплоотдачи и теплопроводности, так и при равномерном переносе) удовлетворительно совпадает с экспериментальными данными при коэффициенте теплопередачи около 20 для циклонно-вихревого и 18 для факельно-вихревого режима [15].

Выводы. Факельно-вихревой режим несущественно отличается от циклонно-вихревого по интенсивности сушки. Данные аэродинамические режимы обеспечивают сушку частиц в моделях, причем более интенсивный процесс реализуется при циклонно-вихревом режиме. С увеличением размеров фракций интенсивность и эффективность сушки возрастают.

Для понимания оптимальных значений технологических и энергетических процессов изотермической сушки необходимы уравнения, являющиеся оптимальными по критерию минимума среднего квадрата ошибки.

Моделирование по существу является имитацией, так как конструируются модели технологических и энергетических процессов по неполным, но нужным основным показателям эффективности функционирования. Точность решается увеличением числа элементарных моделей, которые позволяют получать более значительную информацию о поведении объекта в конкретных условиях эксплуатации, тем самым усовершенствуется модель, находятся решения для повышения эффективности работы установки.

При переходе от модели к реальному процессу необходимо базироваться на сравнении оценок вероятного процесса с допустимыми условиями практической эксплуатации, что и показала модель сушки частиц во взвешенном слое.

4. Alithawi W.K.A. Production of biofuel from wood. *Eastern European Scientific Journal*. 2014. N3. 206-218. DOI: 10.12851/EESJ201406C06ART04. EDN: TXUDHH.
5. Drincha V.M., Tsench Yu.S. Fundamentals and prospects for the technologies development for post-harvest grain processing and seed preparation. *Agricultural machinery and technologies*. 2020. Vol. 14. N4. 17-25. DOI: 10.22314/2073-7599-2020-14-4-17-25. EDN: QCBKWJ.
6. Manigomba J.A., Chichirova N.D., Gruzdev V.B., et al. Prospects for biomass energy use in the republic of Burundi. *International Journal of Mechanical Engineering and Technology*. 2019. Vol. 10. N1. 1371-1382. EDN: EOSTDB.
7. Любов В.К., Цыпнятов И.И. Повышение эффективности энергетического использования биотоплива // *Известия высших учебных заведений. Лесной журнал*. 2023. N1 (391). С. 172-185. DOI: 10.37482/0536-1036-2023-1-172-185.
8. Arshadi M., Gref R., Geladi P., et al. The influence of raw material characteristics on the industrial pelletizing process and pellet quality. *Fuel Processing Technology*. 2008. Vol. 89. Iss. 12. 1442-1447. DOI: 10.1016/j.fuproc.2008.07.001.
9. Дадыко А.Н. Моделирование аэродинамики факельно-вихревого режима в топке для растительных отходов // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2016. N2. С. 32-35.
10. Лобачевский Я.П., Пехальский И.А., Павлов С.А. Расчет изотермической сушки зерна // *Сельский механизатор*. 2019. N 8. С. 22-23. EDN: OQXPPO.
11. Голубкович А.В. Беленькая Л.И., Дадыко А.Н., Ловкис В.Б. Опыт сжигания растительных отходов в топочном блоке ТБР-2.0 // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2017. N1. С. 37-41. <https://doi.org/10.22314/2073-7599-2017-1-37-41>.
12. Павлов С.А., Пехальский И.А., Кынев Н.Г. Особенности сушки семян при сжигании твердого топлива переменного качества // *Вестник ВИЭСХ*. 2018. N3. С. 81-85. EDN: SKEWYZ.
13. Сосин Д.В., Литун Д.С., Рыжий И.А. и др. Опыт сжигания лузги подсолнечника в пылеугольных котлах Кумертауской ТЭЦ // *Теплоэнергетика*. 2020. N1. С. 15-22. DOI: 10.1134/S0040363619120099. EDN: ZNJRBS.
14. Измайлов А.Ю., Голубкович А.В., Павлов С.А., Дадыко А.Н. Условия работы зерносушилки с топочным блоком на растительных отходах // *Вестник российской сельскохозяйственной науки*. 2017. N4. С. 69-72. EDN: ZXIYQD.
15. Щеткин Б.Н. Математическая модель процесса сушки дисперсных материалов во взвешенном состоянии // *Sciences of Europe*. 2021. N1. С. 45-50. DOI: 10.24412/3162-2364-2021-85-1-45-50. EDN: LXYYVA.

REFERENCES

1. Golobokov S.V., Mukhamed'yarova N.K., Lesin I.A. Tekhnologii pererabotki i utilizatsii otkhodov derevoobrabotki [Reproduction and utilization technology of woodworking waste] *Inzhiniring i Tekhnologii*. 2019. Vol. 4. N2. 32-37 (In Russian). DOI: 10.21685/2587-7704-2019-4-2-5. EDN: MDZTJSI.
2. Sudakova I.G., Rudenko N.B. Poluchenie tverdykh biotopliv iz rastitel'nykh otkhodov (obzor) [Obtaining of solid biofuels from plant waste (Review)]. *Zhurnal Sibirskogo federal'nogo universiteta. Seriya: Khimiya*. 2015. Vol. 8. N4. 499-513 (In Russian). DOI: 10.17516/1998-2836-2015-8-4-499-513.
3. Shayakhmetova A.H., Timerbaeva A.L., Borisova R.V. Srovnitel'nye kharakteristiki pellet iz luzgi podsolnechnika i drevesnykh pellet [Comparative characteristics of sunflower husk and wood pellets]. *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta*. 2015. Vol. 18. N2. 243-246 (In Russian). EDN: TJLTKL.
4. Alithawi W.K.A. Production of biofuel from wood. *Eastern European Scientific Journal*. 2014. N3. 206-218 (In English). DOI: 10.12851/EESJ201406C06ART04. EDN: TXUDHH.
5. Drincha V.M., Tsench Yu.S. Fundamentals and prospects for the technologies development for post-harvest grain processing and seed preparation. *Agricultural machinery and technologies*. 2020. Vol. 14. N4. 17-25 (In English). DOI: 10.22314/2073-7599-2020-14-4-17-25. EDN: QCBKWJ.
6. Manigomba J.A. Prospects for biomass energy use in the republic of Burundi. J.A. Manigomba, N.D. Chichirova, et al. *International Journal of Mechanical Engineering and Technology*. 2019. Vol. 10. N1. 1371-1382 (In English). EDN: EOSTDB.
7. Lyubov V.K., Tsypnyatov I.I. Povyshenie effektivnosti energeticheskogo ispol'zovaniya biotopliva [Improving the efficiency of energy use of biofuels]. *Izvestiya vysshihkh uchebnykh zavedeniy. Lesnoy Zhurnal*. 2023. N1(391). 172-185 (In Russian). DOI: 10.37482/0536-1036-2023-1-172-185.
8. Arshadi M., Gref R., Geladi P., et al. The influence of raw material characteristics on the industrial pelletizing process and pellet quality. *Fuel Processing Technology*. 2008. Vol. 89. N12. 1442-1447 (In English). DOI: 10.1016/j.fuproc.2008.07.001.
9. Dadyko A.N. Modelirovanie aerodinamiki fakel'no-vikhrevogo rezhima v topke dlya rastitel'nykh otkhodov [Modeling of aerodynamics of flare and vortex mode in a fire chamber for vegetable waste]. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2016. N2. 32-35 (In Russian).
10. Lobachevsky Ya.P., Pekhal'skiy I.A., Pavlov S.A. Raschet izotermicheskoy sushki zerna [Calculation of isothermal drying of grain]. *Sel'skiy mekhanizator*. 2019. N8. 22-23 (In Russian). EDN: OQXPPO.
11. Golubkovich A.V., Belen'kaya L.I., Dadyko A.N., Lovkis V.B. Opyt szhiganiya rastitel'nykh otkhodov v topochnom bloke TBR-2.0 [Experience in vegetable waste burning in furnace block TBR-2.0]. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2017. N1. 37-41 (In Russian). <https://doi.org/10.22314/2073-7599-2017-1-37-41>.
12. Pavlov S.A., Pekhal'skiy I.A., Kynev N.G. Osobennosti sushki semyan pri szhiganii tverdogo topliva peremennogo kachestva [Specifics of seed drying during combustion of variable-quality solid fuel]. *Vestnik VIESH*. 2018. N3. 81-85 (In Russian). EDN: SKEWYZ.

13. Sosin D.V., Litun D.S., Ryzhiy I.A., et al. Opyt szhiganiya luzgi podsolnechnika v pyleugol'nykh kotlakh Kumertauskoy TETs [Experience of burning sunflower husks in the Kumer-tau CHP pulverized coal-fired boilers]. *Teplenergetika*. 2020. N1. 15-22 (In Russian). DOI: 10.1134/S0040363619120099. EDN: ZNJRBS.
14. Izmailov A.Yu., Golubkovich A.V., Pavlov S.A., Dadyko A.N. Usloviya raboty zernosushilki s topochnym blokom na rastitel'nykh otkhodakh [Operating conditions of the grain dryer with a combustion space on the vegetation residues]. *Vestnik rossiyskoy sel'skokhozyaystvennoy nauki*. 2017. N4. 69-72 (In Russian). EDN: ZXIYQD.
15. Shchetkin B.N. Matematicheskaya model' processa sushki dispersnykh materialov vo vzveshennom sostoyanii [Mathematical model of the drying process of dispersed materials in suspended state]. *Sciences of Europe*. 2021. N1. 45-50 (In Russian). DOI: 10.24412/3162-2364-2021-85-1-45-50. EDN: LXYVVA.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Заявленный вклад соавторов:

Загоруйко М.Г. – научное руководство, подготовка начального варианта статьи, литературный анализ;

Башмаков И.А. – компьютерные работы, обработка результатов исследований, доработка текста, формулирование общих выводов;

Степанов К.А. – участие в обсуждении материалов статьи, анализ и дополнение текста.

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Coauthors' contribution:

Zagoruyko M.G. – scientific guidance, preparing the manuscript initial version;

Bashmakov I.A. – computer work, research results processing, text refinement, formulating general conclusions, literature review;

Stepanov K.A. – participation in the discussions of the article materials, text analysis and additions.

The authors read and approved the final manuscript.

Статья поступила в редакцию
Статья принята к публикации

The paper was submitted to the Editorial Office on
The paper was accepted for publication on

05.10.2023
16.11.2023