Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Махаева Наталья Юрьевна
Должность: Проректор по учебной и воспитательной работе, молодежной политике" ФГБОУ ВО "Ярославский ГАУ"
Дата подписания: 02.02.2024 11:01:58
Уникальный программный ключ:
fa349ae3f25a45643d89cfb67187284ea10f48e8

УДК 631.5

CC BY

DOI 10.22314/2073-7599-2023-17-2-55-60

Переоборудование топочного агрегата ТБМ-1,7 для расширения диапазона генерируемых температур

Артем Сергеевич Ключников[1],
кандидат технических наук, доцент,
e-mail: artik8487@mail.ru;

Егор Николаевич Лапин[2],
магистрант, e-mail: lapin.koresh@mail.ru

[1]Ярославский государственный технический университет, г. Ярославль, Российская Федерация;
[2]Ярославская государственная сельскохозяйственная академия», г. Ярославль, Российская Федерация

Реферат. Показали, что переход на новый низкотемпературный способ конвективной сушки зерна сокращает затраты. Подтвердили, что его внедрение потребовало расширения диапазона генерируемых температур топочным агрегатом ТБМ-1,7, которым оборудована шахтная сушилка СЗШ-16А. Отметили, что форсунка топочного агрегата в заводском исполнении стабильно работает только при расходе топлива 40-100 килограммов в час, при этом температура подогрева воздуха составляет 50-130 градусов Цельсия. (*Цель исследования*) Определить оптимальные параметры жиклеров для стабильной работы форсунки топочного агрегата ТБМ-1,7 на жидком топливе в расширенном температурном диапазоне подогрева воздуха 15-130 градусов Цельсия. (*Материалы и методы*) На форсунке горелки топочного агрегата ТБМ-1,7 исследовали конструкции четырех типов стальных жиклеров, которые различались количеством отверстий, их длиной, диаметром, наличием или отсутствием резьбы. Всего в эксперименте изучили работу 160 жиклеров. (*Результаты и обсуждение*) Выявили, что стабильная работа форсунки обеспечена только жиклерами с резьбовыми отверстиями, оптимальная длина которых составляет 4 миллиметра. Температуру подогрева воздуха в диапазоне 15-25 градусов Цельсия обеспечил тип жиклера с четырьмя отверстиями М3, а 25-40 градусов – тип жиклера с тремя отверстиями М4. (*Выводы*) Определили, что при использовании жиклеров с гладкими отверстиями, вне зависимости от их типов, горение топлива не происходит. Установили, что сокращение расхода топлива на процесс сушки после перехода на новый низкотемпературный конвективный способ позволило в опытном хозяйстве в уборочную компанию 2022 г. сэкономить 300 тысяч рублей.
Ключевые слова: горение жидкого топлива, жиклер, технология сушки зерна, снижение расхода топлива, сушка семян, переоборудование топочного агрегата.

Для цитирования: Ключников А.С., Лапин Е.Н. Переоборудование топочного агрегата ТБМ-1,7 для расширения диапазона генерируемых температур // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2023. Т. 17. N2. С. 55-60. DOI 10.22314/2073-7599-2023-17-2-55-60.EDN GZRFTO.

Redesigning TBM-1.7 Combustion Unit to Expand the Temperature Range

Artem S. Kliuchnikov[1],
Ph.D.(Eng.), associate professor,
e-mail: artik8487@mail.ru;

Egor N. Lapin[2],
master's student,
e-mail: lapin.koresh@mail.ru

[1]Yaroslavl State Technical University (YSTU), Yaroslavl, Russian Federation;
[2]Yaroslavl State Agricultural Academy, Yaroslavl, Russian Federation

Abstract. It is shown that the transition to a new low-temperature method of convective drying leads to a reduction in grain drying costs.The implementation of this method is confirmed to require expanded temperatures generated by the TBM-1.7 furnace unit that the SZSh-16A shaft dryer is equipped with. It is noted that a plant-manufactured burner nozzle works smoothly only when the fuel consumption is 40-100 kilograms per hour, and the air heating temperatures are 50-130 degrees Celsius. (*Research purpose*) To determine the jet optimal parameters for smooth operation of the nozzle in the TBM-1.7 combustion unit working on the liquid fuel at the extended air heating temperatures of 15-130 degrees Celsius. (*Materials and methods*) The designs of four types of jets were studied on the burner nozzle of the TBM-1.7 combustion unit. In total, the operation of 160 jets was examined. The jets were made of steel. They differed in the number of holes, their length, diameter, the availability of threads. (*Results and discussion*) It is determined that the nozzle smooth operation is provided only by jets with threaded holes, whose optimal length is 4 millimeters. The air heating temperature of 15-25 degrees Celsius is provided by M3 four-hole jet, and the temperature of 25-40

degrees Celsius is provided by M4 three-hole jet. (*Conclusions*) It is found that jets with smooth holes, regardless of their types, do not provide fuel combustion. It is found that the transition to a new low-temperature convective method led to a reduction in fuel consumption during the drying process, which, in turn, made it possible to save 300 thousand rubles during the harvesting period on the experimental farm in 2022.

Keywords: liquid fuel combustion, jet, grain drying technology, reduction in fuel consumption, seed drying, redesign of the combustion unit.

For citation: Kliuchnikov A.S., Lapin E.N. Pereoborudovanie topochnogo agregata TBM-1,7 dlya rasshireniya diapazona generiruemykh temperatur [Redesigning TBM-1.7 combustion unit to expand the temperature range]. *Sel'skokhozyaystvennye mashiny i tekhnologii*. 2023. Vol. 17. N2. 55-60 (In Russian). DOI 10.22314/2073-7599-2023-17-2-55-60.EDN GZRFTO.

Сушка продукции растениеводства – основная операция послеуборочной обработки семенного вороха [1-3]. В себестоимости готовой семенной продукции на долю послеуборочной обработки приходится около 50% всех затрат, большая часть из которых приходится на сушку [4, 5]. Известно, что зерновка естественным образом претерпевает физические и структурные изменения в процессе сушки [6, 7]. Посевные, продовольственные и фуражные показатели качества готового продукта напрямую зависят от технологии сушки [8-10]. Сельхозтоваропроизводители заинтересованы в снижении стоимости сушки и улучшении качества основной части урожая.

Ранее мы разработали новый способ энергоэффективной низкотемпературной конвективной сушки [11]. Он способствует более качественному послеуборочному дозреванию семенного продукта при сокращении затрат денежных средств и энергии, что в конечном итоге обеспечивает получение более дешевого и высококачественного посевного материала.

Для основного урожая любой культуры одноразовая технология сушки разделена на три этапа. На первом этапе происходит пошаговое наращивание температуры сушильного агента от температуры окружающего воздуха до оптимально допустимого значения, без нарушения биохимических показателей. На втором этапе выдерживают оптимальную температуру как материала, так и сушильного агента. На третьем этапе происходит снижение температуры сушильного агента до уровня окружающего воздуха, с таким же шагом, как и в начале сушки. На этом этапе для испарения влаги задействовано также тепло, запасенное материалом ранее. В середине сушки, которую определяют по влажности материала, проводят реверсирование сушильного агента для получения одинаковой конечной влажности компонентов высушенного материала [11].

Для реализации нового способа конвективной сушки необходимо обеспечить на первом этапе ступенчатый подогрев сушильного агента в топочном агрегате, с обоснованным нами темпом – 0,5 °С/мин. При этом конечная максимальная температура не должна превышать 50°С. Такие температурные режимы обеспечивают топочные агрегаты с линейными модуляционными горелками на природном газе [12]. Однако пункты послеуборочной обработки многих хозяйств не газифицированы [4]. Поэтому топочные агрегаты сушилок работают на жидком топливе, а регулировки расхода топлива у них не могут поддержать новый низкотемпературный режим сушки.

Так, у топочного агрегата ТБМ-1,7 устойчивая работа форсунки возможна только при расходе топлива 40-100 кг/ч и температуре сушильного агента 50-130°С. При подаче топлива менее 40 кг/ч нет стабильного формирования топливовоздушной смеси и происходит срыв пламени. Поэтому для внедрения нового способа сушки необходимо расширить диапазон регулирования подачи топлива в камеру сгорания ТБМ-1,7.

Один из эффективных путей снижения скорости истечения топлива и формирования топливовоздушной смеси с заданными характеристиками – применение жиклеров [13, 14].

Цель исследования – определить оптимальные параметры жиклеров для стабильной работы форсунки топочного агрегата ТБМ-1,7 на жидком топливе в расширенном температурном диапазоне подогрева воздуха 15-130°С.

Материалы и методы. В топочном агрегате ТБМ-1,7 применена форсунка низкого давления с воздушным распылением топлива [15]. В заводском варианте температуру сушильного агента регулируют заслонкой подачи воздуха от вентилятора в диффузор или изменением его положения в осевом направлении относительно обреза трубки форсунки (*рис. 1*). Для завихрения и распыления топлива на конце трубки нарезана резьба М10.

В заводском серийном варианте при расходе топлива менее 40 кг/ч начинается его порционное поршнеобразное движение в трубке форсунки из-за слабого разряжения в диффузоре. Горение топлива прекращается, так как во время запуска топочного агрегата топливовоздушная смесь поджигается от электро-запальной свечи, а затем горение топливовоздушной смеси самоподдерживается при отключенной свече.

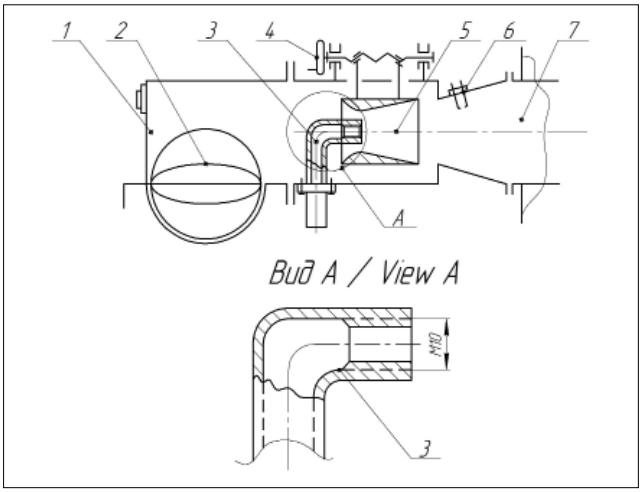

Рис. 1. Схема горелки топочного агрегата ТБМ-1,7: 1 – вентилятор; 2 – заслонка; 3 – трубка форсунки; 4 – маховичок регулировки положения диффузора; 5 – диффузор; 6 – запальная свеча; 7 – топочный агрегат

Fig. 1. Diagram for the burner of TBM-1.7combustion unit: 1 – fan; 2 – damper; 3 – nozzle tube; 4 – handwheel for adjusting the position of the diffuser; 5 – diffuser; 6 – glow plug; 7 – furnace block

Для любого уровня расхода топлива в работающей форсунке поддерживается оптимальное соотношение между массовым расходом топлива и воздуха, полученное из уравнения Бернулли:

$$\frac{B}{G_2} = \frac{d^2}{D^2} \cdot \sqrt{\frac{\rho_т \cdot (1+\varepsilon_в)}{\rho_в \cdot (1+\varepsilon_т)}}, \quad (1)$$

где B – массовый расход топлива, кг;

G_2 – массовый расход воздуха, кг;

d, D – диаметры отверстия в форсунке и узкой части диффузора, мм;

$\rho_т$, $\rho_в$ – плотности топлива и воздуха, кг/м^3;

$\varepsilon_т$, $\varepsilon_в$ – коэффициенты сопротивления воздушного и топливного каналов.

Из выражения (1) следует, что, уменьшая диаметр отверстия в форсунке, можно сократить подачу топлива. Необходимый пониженный расход топлива найдем из уравнения теплового баланса топочного агрегата, согласно которому тепло, необходимое для образования сушильного агента, дает сгорающее в топочном агрегате топливо. С учетом коэффициента полезного действия ТБМ-1,7 имеем:

$$C_т \cdot G_т \cdot \Delta t_т = B \cdot Q_н^р \cdot \eta_т, \quad (2)$$

где $C_т$ – теплоемкость сушильного агента, Дж/(кг·К);

$G_т$ – массовый расход сушильного агента, кг;

$\Delta t_т$ – температура подогрева воздуха для образования сушильного агента, °С;

$Q_н^р$ – низшая теплота сгорания топлива, Дж/кг;

$\eta_т$ – коэффициент полезного действия.

С допустимой погрешностью величину температуры подогрева воздуха для образования сушильного агента рассчитывают по выражению:

$$\Delta t_т = \frac{C_з \cdot m_з \cdot (t_{пз} - t_{нз})}{G_т \cdot C_{рт} \cdot \eta}; \quad (3)$$

где $\Delta t_т$ – температура подогрева воздуха, °С;

$C_з$ – массовая теплоемкость зерна, Дж/(кг·К);

$m_з$ – масса сушимого зерна, кг;

$t_{пз}$ – предельно допустимая температура нагрева зерна, °С;

$t_{нз}$ – начальная температура зерна, °С;

$C_{рт}$ – изобарная теплоемкость сушильного агента, Дж/(кг·К);

η – коэффициент полезного действия.

Согласно выражению (2), расход сжигаемого топлива пропорционален температуре подогрева воздуха. Из этого же уравнения выявили, что, например, величину температуры подогрева воздуха $\Delta t_т = 20$°С обеспечивает расход топлива $B = 20$ кг/ч. Затем по выражению (1) определили диаметр отверстия в форсунке и его площадь, которая составила 39,25 мм^2.

Качественное сжигание малых расходов топлива обеспечено сменными жиклерами, которые ввинчивают внутрь трубки форсунки (*рис. 1*). На форсунке горелки топочного агрегата ТБМ-1,7 мы исследовали конструкции четырех типов жиклеров: с одним, двумя, тремя и четырьмя отверстиями. (*рис. 2*).

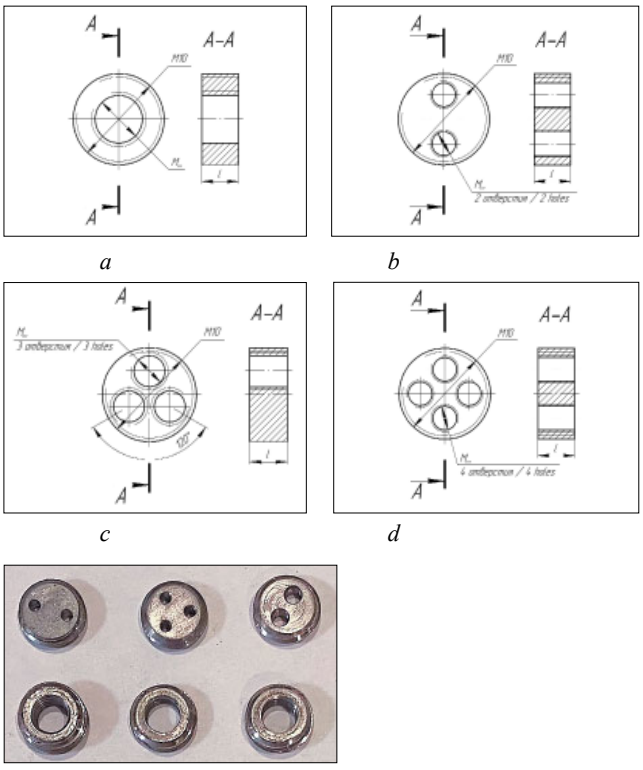

Рис. 2. Схемы жиклеров с разным количеством отверстий: a – с одним; b – с двумя; c – с тремя; d – с четырьмя; e – общий вид работоспособных жиклеров

Fig. 2. A variety of jets: a – a one-hole jet; b – a two-hole jet; c – a three-hole jet; d – a four-hole jet; e – a photograph of operable jets

Все жиклеры изготовлены из стали Ст3. Для каждого типа исследованы две разновидности: с гладкими отверстиями и с метрической резьбой в них. Всего в эксперименте изучена работа 160 жиклеров. Для каждого типа и разновидности определяли оптимальную длину (l) в диапазоне 3-12 мм с шагом 1 мм.

Все жиклеры с наружной резьбой М10 ввинчивали в трубку форсунки, установленной в горелку (*рис. 3*). Заполненную зерном пшеницы сушилку СЗШ-16А и топочный агрегат ТБМ-1,7 включали в работу и дожидались автоматического розжига горелки. Массовый расход дизельного топлива измеряли цилиндром, установленным в разрыве топливопровода. Температуру окружающего воздуха и подогретого сушильного агента регистрировали ртутными термометрами ТП-4Г ГОСТ 2045-71 с ценой деления 0,5°С. Расход сушильного агента вычисляли косвенным методом в соответствии с ГОСТ Р 55262-2012 (СТО АИСТ 10.2-2010) при помощи прибора *Testo 435* с зондом с обогреваемой нитью *Flow*.

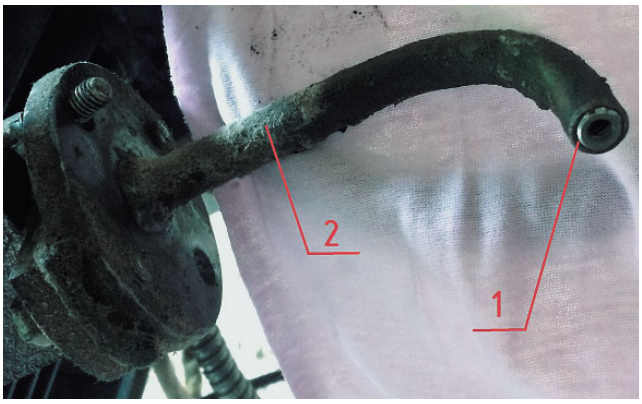

Рис. 3. Форсунка с установленным жиклером: 1 – жиклер; 2 – трубка форсунки
Fig. 3. A nozzle with an installed jet: 1 – jet; 2 – nozzle tube.

Исследование проведено на зерносушильном оборудовании ООО «Племзавод «Родина» Ярославского района Ярославской области в условиях уборочной компании 2022 г. Средняя температура воздуха 19°С, количество осадков 30 мм, средняя влажность поступающего на сушку вороха пшеницы – 15%. Общий объем поступившего на обработку зернового вороха пшеницы составил 2500 т.

Результаты и обсуждение. По результатам испытания установлено, что все четыре типа жиклеров при всех значениях длины (l) с гладкими отверстиями оказались неработоспособными. После их установки в форсунку отсутствовало распыление топлива, поэтому его воспламенения не происходило. Хорошее распыление топлива и устойчивое горение обеспечивали и не все жиклеры с нарезанной метрической резьбой. Выявлено, что оптимальная длина работоспособного жиклера $l = 4$ мм. Если $l < 4$ мм, то нет распыления топлива до оптимального вида тумана. Оно поступает в камеру сгорания в виде крупных капель, и горения не происходит. В случае $l > 4$ мм жиклеры выводят топливо в виде струи, что делает невозможным образование способной воспламениться топливо-воздушной смеси. Жиклер с тремя отверстиями с резьбой М4 и суммарной полезной площадью $S_2 = 35$ мм^2 уменьшил расход топлива с 40 до 25 кг/ч, диапазон температуры подогрева воздуха $\Delta t_т = 25\text{-}40$°С. Для снижения расхода топлива с 25 до 15 кг/ч, что соответствовало диапазону температуры подогрева воздуха $\Delta t_т = 15\text{-}25$°С, применяли жиклер с четырьмя отверстиями М3, у которых $S_3 = 24$ мм^2.

На замену одного жиклера на другой уходило 3-5 мин. В это время сушилка продолжала работать, так как сушильный агент поступал в нее, нагреваясь в топочном агрегате от запасенного тепла.

Внедрение новой технологии позволило хозяйству сэкономить 2,5 кг топлива на сушке, дезинфекции и дезинсекции каждой тонны поступившего с поля и очищенного зернового вороха. Общая экономия составила 300 тыс. руб. По результатам лабораторной проверки, всхожесть высушенного и отсортированного семенного материала составила 98%.

Выводы

1. Использование предложенных сменных жиклеров для форсунки обеспечило стабильную работу жидкотопливного топочного агрегата ТБМ-1,7 в расширенном температурном диапазоне подогрева сушильного агента от 15 до 130°С.

2. Оптимальная длина жиклера составила 4 мм.

3. Жиклеры с гладкими отверстиями непригодны. Работоспособна часть жиклеров, в отверстиях которых нарезана метрическая резьба.

4. Жиклер с четырьмя отверстиями М3 уменьшил расход топлива с 25 до15 кг/ч при температуре подогрева воздуха от 15 до 25°С, а с тремя отверстиями М4 – с 40 до 25 кг/ч при температуре подогрева воздуха от 25 до 40°С.

Авторы выражают благодарность генеральному директору ООО «Племзавод «Родина» Лапину Н.В. за предоставление пространства для исследования и финансовую поддержку.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Calín-Sánchez Á., et al. Comparison of traditional and novel drying techniques and its effect on quality of fruits, vegetables and aromatic herbs. *Foods*. 2020. Vol. 9. N9. 1261.
2. An K., et al. Comparison of pulsed vacuum and ultrasound osmotic dehydration on drying of Chinese ginger (Zingiber officinale Roscoe): Drying characteristics, antioxidant capacity, and volatile profiles. *Food science & nutrition*. 2019. Vol. 7. N8. 2537-2545.
3. Bradford K.J., et al. The dry chain: Reducing postharvest losses and improving food safety in humid climates. *Food Industry Wastes*. 2020. 375-389.
4. Волхонов М.С., Зимин И.Б., Драчев Д.Н., Зиновьев А.В. Состояние газификации топочных отделений зерносушилок сельскохозяйственного назначения и перспективы совершенствования // *Известия Великолукской ГСХА*. 2020. N3. С. 40-47
5. Селиверстов М.В. К вопросу сушки зерновых материалов и используемого сушильного оборудования // *Международный журнал гуманитарных и естественных наук*. 2018. N11-2. С. 109-112
6. Azmir J., Hou Q., Yu A. CFD-DEM simulation of drying of food grains with particle shrinkage. *Powder Technology*. 2019. Vol. 343. 792-802.
7. Федоренко И.Я., Землянухина Т.Н., Шилов С.В., Орлова Н.А. Обоснование параметров сушки растительного сырья по критериям качества конечного продукта // *Вестник Алтайского государственного аграрного университета*. 2020. N10(192). С. 105-111.
8. Казаков Е.Д., Карпенко Г.П. Биохимия зерна и хлебопродуктов. СПб.: ГИОРД. 2005. 512 с.
9. Савиных П.А., Сычугов Ю.В., Казаков В.А. Разработка и внедрение технологий и машин для получения семян трав и зерна // *АгроЭкоИнженерия*. 2020. N3(104). С. 65-75.
10. Santos N.C., et al. Study on drying of black rice (Oryza sativa L.) grains: physical-chemical and bioactive quality. *Journal of Agricultural Science* (Toronto). 2019. Vol. 11. N9. C. 203-212.
11. Ключников А.С. Передовые приемы по механизации производства семян в условиях Ярославской области: Монография. Ярославль: Канцлер. 2022. 90 с.
12. Драбкина Е.В., Зуев А.Н. Принцип работы модулированной горелки. Технические и естественные науки. *Сборник избранных статей по материалам Международной научной конференции*. 2020. С. 58-61.
13. Абдалиев У.К., Асанов Р.Э., Сатыбалдыев А.Б. Разработка высокоэффективной горелки «Универсал» для композиционных топлив // *Известия Ошского технологического университета*. 2021. N1. С. 101-105
14. Васильев А.Ю., Строкин В.Н., Шилова Т.В. Об особенностях керосино-водородной камеры сгорания гибридного газотурбинного двигателя // *Авиационные двигатели*. 2022. N3(16). С. 43-50
15. Тихончик С.С., Пучко Н.И. Низконапорная форсунка с аэродинамическим распылом топлива // *Известия Национальной академии наук Беларуси. Серия физико-технических наук*. 2020. Т. 65. N3. С. 357-364.

REFERENCES

1. Calín-Sánchez Á., et al. Comparison of traditional and novel drying techniques and its effect on quality of fruits, vegetables and aromatic herbs. *Foods*. 2020. Vol. 9. N9. 1261 (In English).
2. An K., et al. Comparison of pulsed vacuum and ultrasound osmotic dehydration on drying of Chinese ginger (Zingiber officinale Roscoe): Drying characteristics, antioxidant capacity, and volatile profiles. *Food science & nutrition*. 2019. Vol. 7. N8. 2537-2545 (In English).
3. Bradford K.J., et al. The dry chain: Reducing postharvest losses and improving food safety in humid climates. *Food Industry Wastes*. 2020. 375-389 (In English).
4. Volkhonov M.S., Zimin I.B., Drachev D.N., Zinov'ev A.V. Sostoyanie gazifikatsii topochnykh otdeleniy zernosushilok sel'skokhozyaystvennogo naznacheniya i perspektivy sovershenstvovaniya [Gasification of furnace compartments of agricultural grain dryers and improvement prospects]. *Izvestiya Velikolukskoy GSKHA*. 2020. N3. 40-47 (In Russian).
5. Seliverstov M.V. K voprosu sushki zernovykh materialov i ispol'zuemogo sushil'nogo oborudovaniya [To the question of drying grain materials and used drying equipment]. *Mezhdunarodnyy zhurnal gumanitarnykh i estestvennykh nauk*. 2018. N11-2. 109-112 (In Russian).
6. Azmir J., Hou Q., Yu A. CFD-DEM simulation of drying of food grains with particle shrinkage. *Powder Technology*. 2019. Vol. 343. 792-802 (In English).
7. Fedorenko I.Ya., Zemlyanukhina T.N., Shilov S.V., Orlova N.A. Obosnovanie parametrov sushki rastitel'nogo syr'ya po kriteriyam kachestva konechnogo produkta [Substantiation of drying parameters of plant raw materials according to the quality criteria of the end product]. *Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2020. N10(192). 105-111 (In Russian).
8. Kazakov E.D., Karpenko G.P. Biokhimiya zerna i khleboproduktov [Biochemistry of grain and bakery products]. Saint Petersburg: GIORD. 2005. 512.
9. Savinykh P.A., Sychugov Yu.V., Kazakov V.A. Razrabotka i vnedrenie tekhnologiy i mashin dlya polucheniya semyan trav i zerna [Development and implementation of technologies and machines for the production of grass seeds and grain]. *AgroEkoInzheneriya*. 2020. N3(104). 65-75 (In Russian).
10. Santos N.C., et al. Study on drying of black rice (Oryza sativa L.) grains: physical-chemical and bioactive quality. *Journal of Agricultural Science*. Toronto. 2019. Vol. 11. N9. 203-212 (In English).
11. Kliuchnikov A.S. Peredovye priemy po mekhanizatsii proizvodstva semyan v usloviyakh Yaroslavskoy oblasti: Monografiya [Advanced techniques for the mechanization of seed

production in the Yaroslavl region: Monograph]. Yaroslavl': Kantsler. 2022. 90 (In Russian).
12. Drabkina E.V., Zuev A.N. Printsip raboty modulirovannoy gorelki [The principle of modulating burner operation] Tekhnicheskie i estestvennye nauki. *Sbornik izbrannykh statey po materialam Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii*. 2020. 58-61 (In Russian).
13. Abdaliev U.K., Asanov R.E., Satybaldyev A.B. Razrabotka vysokoeffektivnoy gorelki «Universal» dlya kompozitsionnykh topliv [Development of highly efficient "Universal" burner for composite fuels]. *Izvestiya Oshskogo tekhnologicheskogo universiteta*. 2021. N1. 101-105 (In Russian).
14. Vasil'ev A.Yu. Strokin V.N., Shilova T.V. Ob osobennostyakh kerosino-vodorodnoy kamery sgoraniya gibridnogo gazoturbinnogo dvigatelya [On the features of a kerosene-hydrogen combustion chamber of a hybrid gas turbine engine]. *Aviatsionnye dvigateli*. 2022. N3(16). 43-50 (In Russian).
15. Tikhonchik S.S., Puchko N.I. Nizkonapornaya forsunka s aerodinamicheskim raspylom topliva [Low-pressure nozzle with aerodynamic fuel atomization]. *Izvestiya Natsional'noy akademii nauk Belarusi. Seriya fiziko-tekhnicheskikh nauk*. 2020. Vol. 65. N3. 357-364 (In Russian).

Конфликт интересов
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest
The authors declare no conflict of interest.

Заявленный вклад соавторов:
Ключников А.С. – подготовка текста статьи, анализ экспериментальных результатов, разработка конструкции жиклера;
Лапин Е.Н. – проведение испытаний жиклеров, анализ экспериментальных результатов.
Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Coauthors' contribution:
Kliuchnikov A.S. – manuscript preparation, experimental results analysis, jet design development.
Lapin E.N. – jet testing, experimental results analysis
The authors read and approved the final manuscript.

Статья поступила в редакцию **The paper was submitted to the Editorial Office on** **21.12.2022**
Статья принята к публикации **The paper was accepted for publication on** **10.02.2023**