

Mikitiuk M.E. 2021140025; zaiavl. 30.12.2021; opubl.: 01.08.2022. Biul. No. 22.

7. Tekhnologii i tekhnika dlia posleuborochnoi obrabotki zerna i semian: monografiia / N.M. Ivanov, N.I. Strikunov, S.V. Lekanov; SFNTsA RAN. – Novosibirsk: SFNTsA RAN, 2021. – 277 s.

8. Toropov, V. R. Otsenka effektivnosti universalnykh zernoochistitelno-sushilnykh kompleksov / V. R. Toropov // Sibirskii vestnik

selskokhoziaistvennoi nauki. – 2017. – No. 2. – S. 97-104.

9. Strikunov N. I. Effektivnost raboty tsen-trobezhno-reshetnogo separatora s predvaritelnoi podgotovkoi zernovogo materiala / N. I. Strikunov, B. T. Tarasov // Tekhnologii i komplekсы mashin dlia uborki zernovykh kultur s semennikov trav v Sibiri: sbornik nauchnykh trudov VASKhNIL, Sib. otd-e. – Novosibirsk, 1989. – S. 60-67.



УДК 631.3

DOI: 10.53083/1996-4277-2024-235-5-102-107

С.Ю. Булатов, С.В. Семенов

S.Yu. Bulatov, S.V. Semenov

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ВЛИЯНИЯ ТРУБЧАТОГО ИЗМЕЛЬЧИТЕЛЯ НА ПРОЦЕСС НАГРЕВА ВОДЫ В УСТАНОВКЕ ДЛЯ ПРИГОТОВЛЕНИЯ ЗЕРНОВОЙ ПАТОКИ

### RESEARCH FINDINGS ON THE EFFECT OF TUBULAR SHREDDER ON THE PROCESS OF WATER HEATING IN GRAIN MOLASSES PLANT

**Ключевые слова:** диаметр, зерно, испытания, лабораторная установка, время нагрева, патока, потребляемая мощность, обводной канал, температура, трубчатый измельчитель, энергозатраты.

В России зерновые являются одним из главных компонентов кормов сельскохозяйственных животных и основой для комбикормов. Скармливание зерновых животным традиционно осуществляют в сухом виде, предварительно подвергнув механической обработке на дробилках, плющилках, грануляторах. На основании проведенного нами анализа научных источников сделан вывод, что на сегодняшний день наблюдается интенсивное развитие и внедрение биотехнологий, предназначенных для изменения химического состава зерна. Одним из продуктов такой биообработки зерна является патока, которая обладает высоким содержанием углеводов. Приготовление зерновой патоки реализуется в специальных установках. Однако, как показал опыт эксплуатации подобных установок, возникают проблемы с получением однородной патоки из твердых сортов, в связи с чем необходимо дополнительное воздействие, способствующее их разрушению. С этой целью нами предложено применять в установках для приготовления зерновой патоки пассивный измельчитель, выполненный в виде цилиндрической решетки. Целью работы является исследование влияния параметров трубчатого измельчителя на процесс нагрева воды в установке для приготовления зерновой патоки. Исследования проводились в научно-производственной лаборатории ГБОУ ВО НГИЭУ. Определяли влияние диаметра обводного канала установки для приготовления патоки. Исследование проводили при нагреве 50 л воды от комнатной температуры до 30°C. При прове-

дении экспериментов фиксировали время нагрева до необходимой температуры и потребляемую электроэнергию. Наиболее рациональную конструкцию выбирали по критериям скорости нагрева и удельным энергозатратам. В результате проведенных исследований определен внутренний диаметр трубчатого измельчителя, при котором наблюдается наиболее интенсивный нагрев с минимальными удельными энергозатратами – 50 мм. В совокупности двух критериев оценки процесса нагрева воды в установке для приготовления патоки определен рациональный диаметр отверстий трубчатого измельчителя, равный 6 мм.

**Keywords:** diameter, grain, testing, laboratory installation, heating time, flow, power consumption, bypass channel, temperature, tubular shredder, energy consumption.

In Russia, cereals are one of the main components of farm animal feeds and the basis for compound feeds. Grain feeding to animals is traditionally carried out in dry form, having previously subjected it to mechanical processing on crushers, flatteners and granulators. Based on our analysis of scientific sources, it is concluded that today there is an intensive development and implementation of biotechnologies designed to change the chemical composition of grain. One of the products of such bio-processing of grain is molasses which has high carbohydrate content. Grain molasses is produced in special plants. However, as the experience of operating such installations has shown, problems arise with obtaining homogeneous molasses from hard varieties, and therefore additional exposure is necessary to contribute to their destruction. For this purpose, we have proposed using a passive shredder in the form of a cylindrical grate in plants for the preparation of grain molasses.

The research goal is to study the influence of the parameters of a tubular shredder on the process of water heating in a grain molasses plant. The research was carried out in the scientific and production laboratory of the Nizhny Novgorod State University of Engineering and Economics. The influence of the diameter of the bypass channel of the molasses plant was determined. The study was carried out by heating 50 liters of water from room temperature to 30°C. During the experiments, the heating time to the required temperature and the electricity consumed were recorded.

The choice of the most rational design was carried out according to the criteria of heating speed and specific energy consumption. As a result of the conducted research, the inner diameter of the tubular shredder was determined at which the most intense heating was observed with minimal specific energy consumption - 50 mm. In combination of two criteria for evaluating the water heating process in the molasses plant, the rational diameter of the holes of the tubular shredder equal to 6 mm was determined.

**Булатов Сергей Юрьевич**, д.т.н., доцент, ГБОУ ВО Нижегородский государственный инженерно-экономический университет, г. Княгинино, Нижегородская обл., Российская Федерация, e-mail: bulatov\_sergey\_urevich@mail.ru.

**Семенов Сергей Вячеславович**, аспирант, ГБОУ ВО Нижегородский государственный инженерно-экономический университет, г. Княгинино, Нижегородская обл., Российская Федерация, e-mail: semenov.sergei@bk.ru.

**Bulatov Sergey Yurevich**, Dr. Tech. Sci., Assoc. Prof., Nizhny Novgorod State University of Engineering and Economics, Knyaginino, Nizhny Novgorod Region, Russian Federation, e-mail: bulatov\_sergey\_urevich@mail.ru.

**Semenov Sergey Vyacheslavovich**, post-graduate student, Nizhny Novgorod State University of Engineering and Economics, Knyaginino, Nizhny Novgorod Region, Russian Federation, e-mail: semenov.sergei@bk.ru.

### Введение

В России зерновые являются одним из главных компонентов кормов сельскохозяйственных животных и основой для комбикормов. Скармливание зерновых животным традиционно осуществляют в сухом виде, предварительно подвергнув его механической обработке на дробилках, плющилках, грануляторах и др. [1-4 и др.]. Проанализировав современные научные литературные источники, отмечено, что на современном этапе развития наблюдается интенсивное развитие и внедрение биотехнологий, с помощью которых осуществляется изменение химического состава зерна [5-9]. Одним из продуктов такой биообработки зерна является патока, которая обладает высоким содержанием углеводов [10-13]. Приготовление зерновой патоки реализуется в специальных установках. Однако, как показал опыт эксплуатации подобных установок, возникают проблемы с получением однородной патоки из твердых сортов, в связи с чем необходимо дополнительное воздействие, способствующее их разрушению [14]. С этой целью нами предложено применять в установках для приготовления зерновой патоки пассивный измельчитель. Проведенные нами расчеты показали, что меньшим сопротивлением и большей эффективностью обладает измельчитель, выполненный в виде цилиндрической решетки [15], поэтому нами был изготовлен трубчатый измельчитель. Процесс приготовления патоки из зерна можно условно разделить на две стадии

(нагрев воды и ферментация разрушенного зерна).

**Целью** работы является исследование влияния параметров трубчатого измельчителя на процесс нагрева воды в установке для приготовления зерновой патоки.

**Задачи** исследования:

– определить время нагрева воды в установке для приготовления зерновой патоки без трубчатого измельчителя и с ним;

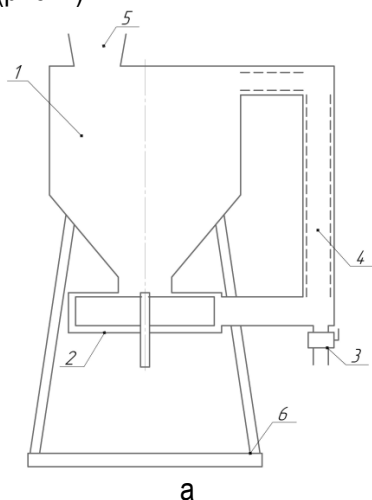
– измерить энергетические показатели при нагреве воды в установке для приготовления зерновой патоки без трубчатого измельчителя и с ним.

**Объектом исследования** является процесс нагрева воды в установке для приготовления зерновой патоки с трубчатым измельчителем. Схема и общий вид установки по патенту № 2760160 РФ представлены на рисунке 1. В отличие от аналогов установка обладает упрощенной конструкцией, меньшей металлоемкостью, а за счет более быстрого разрушения зерновок повышается ресурс рабочих органов насоса.

### Материалы и методы исследований

Исследования проводились на лабораторной установке в научно-производственной лаборатории ГБОУ ВО НГИЭУ. Технологический процесс заключается в циклическом перемещении воды по замкнутому контуру, в результате чего вода нагревается. При достижении ею 30°C добирают зерно и закваску, процесс продолжает-

ся до температуры смеси 60°C [14]. Для интенсификации процесса нагрева воды и разрушения зерна нами предложен трубчатый измельчитель 4 (рис. 1). Он представляет собой трубу, внутри которой смонтирована цилиндрическая решетка (рис. 2).



**Рис. 1. Установка для приготовления зерновой патоки с трубчатым измельчителем:**  
а – схема, б – фотография; 1 – бак, 2 – насос, 3 – сливной кран, 4 – обводной канал с трубчатым измельчителем, 5 – загрузочный люк; 6 – рама

На первом этапе исследовали процесс нагрева без измельчителя. Определяли влияние диаметра обводного канала (32 и 50 мм), который был изготовлен из полипропиленовых труб. Исследование проводили при нагреве 50 л воды от комнатной температуры до 30°C. Для определения влияния конструктивных параметров измельчителя изготовлены три его варианта с решетками, имеющими различные диаметры отверстий. При проведении экспериментов фиксировали время нагрева до необходимой тем-

пературы и потребляемую электроэнергию. Выбор наиболее рациональной конструкции проводили по критериям скорости нагрева и удельным энергозатратам.



а

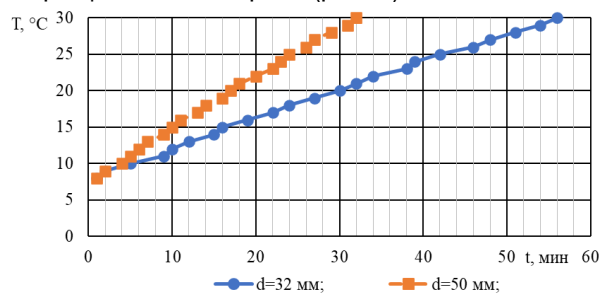


б

**Рис. 2. Фрагменты трубчатого измельчителя:**  
а – поперечный разрез;  
б – цилиндрические решетки

### Результаты исследования и их обсуждение

Анализируя полученные данные, можно заметить, что нагрев воды быстрее осуществляется в случае применения обводного канала диаметром 50 мм. Время нагрева в данном случае сокращается в 1,56 раза (рис. 3).



**Рис. 3. График нагрева воды в установке для приготовления патоки без пассивного измельчителя**

При этом потребляемая мощность электродвигателя пропорционально возрастает: при  $d = 32$  мм – 3,9 кВт, при  $d = 50$  мм – 6,2 кВт (рис. 4). С точки зрения удельных энергозатрат рациональнее применение варианта исполнения обводного канала диаметром 50 мм. В этом случае удельные энергозатраты на 10% ниже, чем при  $d = 32$  мм (рис. 5).

На основании полученных результатов было принято решение изготавливать и проводить исследования обводного канала с трубчатым измельчителем, внутренний диаметр которого составлял 50 мм. Изготовлены три варианта

трубчатого измельчителя с диаметрами отверстий  $d_o$  4, 6 и 8 мм. Анализ полученных результатов нагрева воды показал, что увеличение диаметра отверстий трубчатого измельчителя с 4 до 6 мм позволяет интенсифицировать процесс нагрева: время нагрева 50 л воды от 12 до 30°C сократилось с 20,5 до 15,5 мин. Дальнейшее увеличение диаметра отверстий  $d_o$  до 8 мм привело к незначительному увеличению времени нагрева, что можно объяснить резким ростом турбулентности и повышением сопротивления трубчатого измельчителя (рис. 6).

Повышение сопротивления измельчителя также влияет на энергетические показатели работы установки. При нагреве воды с применением трубчатого измельчителя, диаметры отверстий которого составляют 6 мм, потребляемая мощность электродвигателя возрастает с 4,9 до 6,8 кВт, но при дальнейшем увеличении  $d_o$  до 8 мм данный показатель возрастает незначительно и составляет 7 кВт (рис. 7). Анализируя приведенные энергозатраты, можно отметить общий возрастающий характер при увеличении диаметра отверстий трубчатого измельчителя (рис. 8).

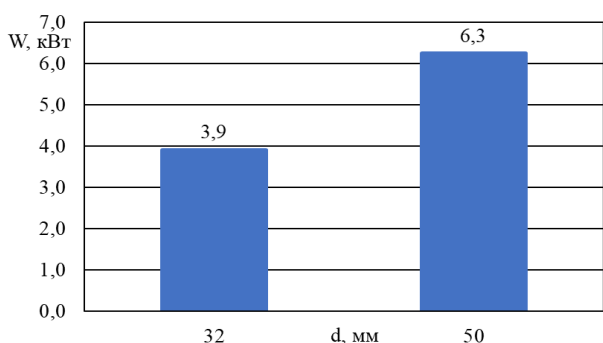


Рис. 4. Влияние диаметра обводного канала на потребляемую мощность электродвигателя

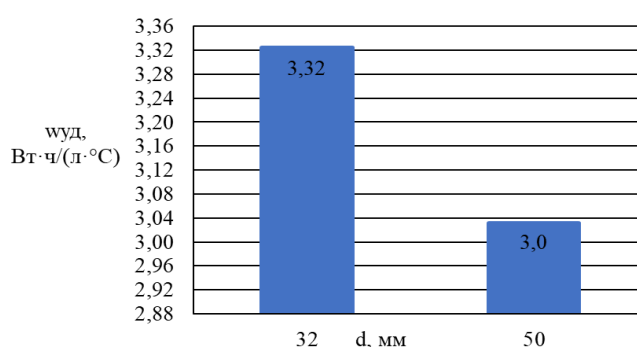


Рис. 5. Влияние диаметра обводного канала на удельные энергозатраты

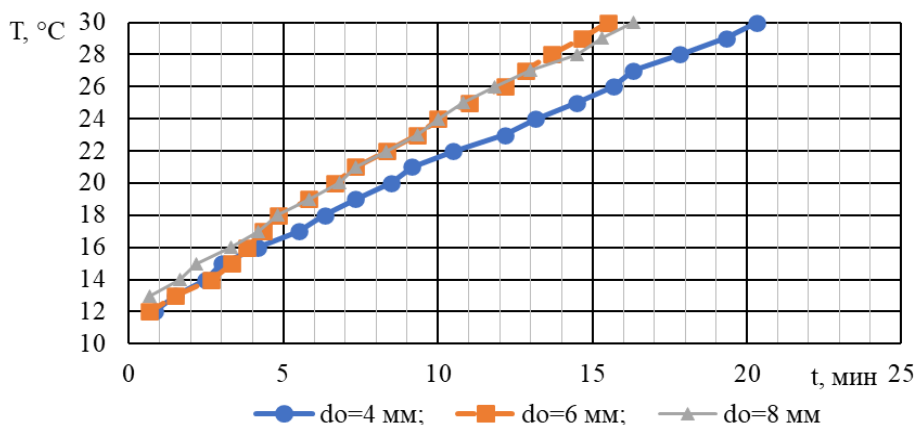


Рис. 6. Влияние диаметра отверстий пассивного измельчителя на нагрев воды в установке для приготовления патоки

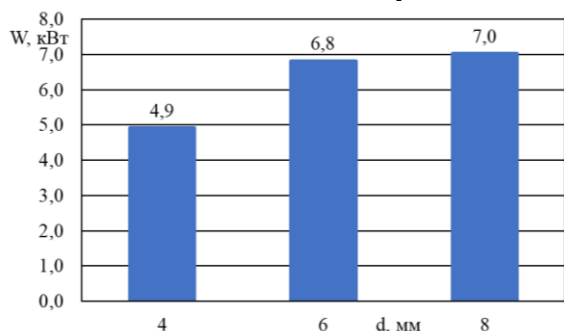


Рис. 7. Влияние диаметра отверстий трубчатого измельчителя на потребляемую мощность электродвигателя

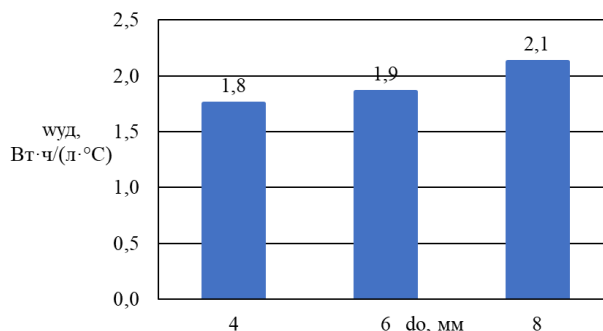


Рис. 8. Влияние диаметра отверстий трубчатого измельчителя на удельные энергозатраты

Оценивая нагрев воды в совокупности двух критериев (времени нагрева и удельных энергозатрат), можно определить рациональное значение диаметра отверстий трубчатого измельчителя – 6 мм.

### Заключение

1. В результате проведенных исследований процесса нагрева воды в разработанной установке для приготовления зерновой патоки определен внутренний диаметр трубчатого измельчителя, при котором наблюдается наиболее интенсивный нагрев с минимальными удельными энергозатратами – 50 мм.

2. В совокупности двух критериев оценки процесса нагрева воды в установке для приготовления патоки определен рациональный диаметр отверстий трубчатого измельчителя, равный 6 мм.

### Библиографический список

1. Миронов, К. Е. Определение количественных показателей работы измельчителя зерна / К. Е. Миронов, А. П. Мансуров, С. Л. Низовцев. – Текст: непосредственный // Вестник НГИЭИ. – 2020. – № 4 (107). – С. 24-33.
2. Петроченко, Н. О. Технология заготовки плющеного зерна / Н. О. Петроченко. – Текст: непосредственный // Наше сельское хозяйство. – 2021. – № 16 (264). – С. 34-39.
3. Припоров, И. Е. Технология приготовления экспандированных кормов для сельскохозяйственных животных / И. Е. Припоров. – Текст: непосредственный // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2021. – № 5 (91). – С. 113-117.
4. Савиных, П. А. Новая плющилка для производства зерновых кормов / П. А. Савиных, В. А. Казаков. – Текст: непосредственный // Вестник Марийского государственного университета. Серия: Сельскохозяйственные науки. Экономические науки. – 2015. – Т. 1, № 2 (2). – С. 44-49.
5. Воробьев, Д. А. Разработка установки биоактивирования зерна для использования в кормлении сельскохозяйственных животных / Д. А. Воробьев, А. И. Забудский, Д. Н. Алгазин. – Текст: непосредственный // Вестник Омского государственного аграрного университета. – 2017. – № 4 (28). – С. 200-204.
6. Получение мальтозосодержащего кормового продукта пребиотического действия ферментацией зерна ржи / И. А. Хусаинов, А. В. Канарский, З. А. Канарская, М. А. Поливанов – Текст: непосредственный // Вестник Казанского технологического университета. – 2011. – № 3. – С. 174-179.
7. Герасимов, Е. Ю. Теоретические аспекты консервирования фуражного зерна повышенной влажности / Е. Ю. Герасимов, С. Н. Завиваев, Н. Н. Кучин. – Текст: непосредственный // Вестник НГИЭИ. – 2014. – № 8 (39). – С. 19-26.
8. Перспективы использования кавитационного гидролиза некрахмальных полисахаридов / А. В. Быков, Л. В. Межуева, С. А. Мирошников [и др.]. – Текст: непосредственный // Вестник Оренбургского государственного университета. – 2011. – № 4 (123). – С. 123-127.
9. Высокотемпературная ферментация концентрированных кормов / В. М. Шириев, С. Б. Федоров, И. Ф. Юмагузин, С. С. Ардаширов. – Текст: непосредственный // Современный фермер. – 2016. – № 3. – С. 40-42.
10. Передня, В. И. Исследования процесса переработки зернобобовых компонентов в легкоусвояемый корм / В. И. Передня, А. А. Романович, Ю. А. Цой. – Текст: непосредственный // Вестник ВИЭСХ. – 2018. – № 2 (31). – С. 34-39.
11. Приловская, Е. И. Эффективность использования в кормлении коров кормового продукта «Патока зерновая» / Е. И. Приловская. – Текст: непосредственный // Зоотехническая наука Беларуси. – 2019. – Т. 54, № 2. – С. 46-55.
12. Савиных, П. А. Новые технологии и технические средства получения патоки из зерна злаковых культур / П. А. Савиных, В. А. Казаков. – Текст: непосредственный // Актуальные вопросы совершенствования технологии производства и переработки продукции сельского хозяйства. – 2017. – № 19. – С. 359-361.
13. Alatyrev, S., Alatyrev, A., Zaitsev, P., et al. (2020). Results of comparative studies of grain syrup quality. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 433. 012031. DOI: 10.1088/1755-1315/433/1/012031.
14. Малозатратная установка для производства зерновой патоки / А. Г. Сергеев, П. А. Савиных, С. Ю. Булатов [и др.]. – Текст: непосредственный // Сельский механизатор. – 2020. – № 5-6. – С. 26-27.
15. Булатов, С. Ю. Результаты моделирования движения потока воды в трубчатом измельчителе установки для приготовления зерновой патоки / С. Ю. Булатов, С. В. Семенов. – Текст: непосредственный // Вестник Омского государственного аграрного университета. – 2021. – № 5 (91). – С. 113-117.

ственного аграрного университета. – 2023. – № 4 (52). – С. 114-121.

### References

1. Mironov, K.E. Opredelenie kolichestvennykh pokazatelei raboty izmelchitel'ia zerna / K.E. Mironov, A.P. Mansurov, S.L. Nizovtsev // Vestnik NGIEI. – 2020. – No. 4 (107). – S. 24-33.
2. Petrochenko, N.O. Tekhnologiya zagotovki pliuschenogo zerna / N.O. Petrochenko // Nashe selskoe khoziaistvo. – 2021. – No. 16 (264). – S. 34-39.
3. Priporov, I.E. Tekhnologiya prigotovleniia ekspandirovannykh kormov dlia selskokhoziaistvennykh zhivotnykh / I.E. Priporov // Izvestiia Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2021. – No. 5 (91). – S. 113-117.
4. Savinykh, P.A. Novaia pliuschilka dlia proizvodstva zernovykh kormov / P.A. Savinykh, V.A. Kazakov // Vestnik Mariiskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Selskokhoziaistvennye nauki. Ekonomicheskie nauki. – 2015. – T. 1. – No. 2 (2). – S. 44-49.
5. Vorobev, D.A. Razrabotka ustanovki bioaktivirovaniia zerna dlia ispolzovaniia v kormlenii selskokhoziaistvennykh zhivotnykh / D.A. Vorobev, A.I. Zabudskii, D.N. Algazin // Vestnik Omskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2017. – No. 4 (28). – S. 200-204.
6. Khusainov, I.A. Poluchenie maltozosoderzhashchego kormovogo produkta prebioticheskogo deistviia fermentirovaniem zerna rzhii / I.A. Khusainov, A.V. Kanarskii, Z.A. Kanarskaia, M.A. Polivanov // Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta. – 2011. – No. 3. – S. 174-179.
7. Gerasimov, E.Iu. Teoreticheskie aspekty konservirovaniia furazhnogo zerna povyshennoi vlazhnosti / E.Iu. Gerasimov, S.N. Zavivaev, N.N. Kuchin // Vestnik NGIEI. – 2014. – No. 8 (39). – S. 19-26.
8. Bykov, A.V. Perspektivy ispolzovaniia kavitatsionnogo gidroliza nekrakhmalnykh polisakhari-dov / A.V. Bykov, L.V. Mezhueva, S.A. Miroshnikov, L.A. Bykova, V.M. Tyshchenko // Vestnik Orenburgskogo gosudarstvennogo universiteta. – 2011. – No. 4 (123). – S. 123-127.
9. Shiriev, V.M. Vysokotemperaturnaia fermentatsiia kontsentrirrovannykh kormov / V.M. Shiriev, S.B. Fedorov, I.F. Iumaguzin, S.S. Ardashirov // Sovremennyi fermer. – 2016. – No. 3. – S. 40-42.
10. Perednia, V.I. Issledovaniia protsessa pererabotki zernobobovykh komponentov v legkousvoiaemyi korm / V.I. Perednia, A.A. Romanovich, Iu.A. Tsoi // Vestnik VIESKh. – 2018. – No. 2 (31). – S. 34-39.
11. Prilovskaia, E.I. Effektivnost ispolzovaniia v kormlenii korov kormovogo produkta "Patoka zernovaia" / E.I. Prilovskaia // Zootekhnicheskaiia nauka Belarusi. – 2019. – T. 54. – No. 2. – S. 46-55.
12. Savinykh, P.A. Novye tekhnologii i tekhnicheskie sredstva polucheniia patoki iz zerna zlakovykh kultur / P.A. Savinykh, V.A. Kazakov // Aktualnye voprosy sovershenstvovaniia tekhnologii proizvodstva i pererabotki produktsii selskogo khoziaistva. – 2017. – No. 19. – S. 359-361.
13. Alatyrev, S., Alatyrev, A., Zaitsev, P., et al. (2020). Results of comparative studies of grain syrup quality. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 433. 012031. DOI: 10.1088/1755-1315/433/1/012031.
14. Sergeev, A.G. Malozatratnaia ustanovka dlia proizvodstva zernovoi patoki / A.G. Sergeev, P.A. Savinykh, S.Iu. Bulatov, V.N. Nechaev, A.E. Shamin // Selskii mekhanizator. – 2020. – No. 5-6. – S. 26-27.
15. Bulatov, S.Iu. Rezultaty modelirovaniia dvizheniia potoka vody v trubchatom izmelchitele ustanovki dlia prigotovleniia zernovoi patoki / S.Iu. Bulatov, S.V. Semenov // Vestnik Omskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2023. – No. 4 (52). – S. 114-121.

