

*facturing* (ICIEAM). 1-5. Doi: 10.1109/ICIEAM.2019.8743075.

6. РД 34.20.178-82. Методические указания по расчету электрических нагрузок в сетях 0,38-110 кВ сельскохозяйственного назначения. – 1982. – 08 с. – Текст: непосредственный.

7. Цифровизация электрических сетей АПК на платформе интернета энергии / Н. И. Цыгулев, В. К. Хлебников, В. А. Шелест, [и др.]. – Текст: непосредственный // Актуальные проблемы науки и техники 2019: материалы национальной научно-практической конференции / Донской государственный технический университет (г. Ростов-на-Дону). – 2019. – С. 327-328.

8. Белый, В. Б. Модель процессов потребления электроэнергии коммунально-бытовым сектором в сельских электрических сетях / В. Б. Белый. – Текст: непосредственный // Энерго- и ресурсосбережение – XXI век: материалы XVII Международной научно-практической конференции / ОГУ им. И.С. Тургенева. – Орел: ОГУ им. И.С. Тургенева, 2019. – С. 42-45.

### References

1. Ukaz Prezidenta Rossiyskoy Federatsii ot 7 maya 2018 g. N 204 "O natsionalnykh tselyakh i strategicheskikh zadachakh razvitiya Rossiyskoy Federatsii na period do 2024 goda". – 19 s.

2. Kontseptsiya «Tsifrovaya transformatsiya 2030»: Kontseptsiya PAO «Rosseti». – 2018. – 31 s.

3. Glavnye inzheneriy elektrosetevykh kompaniy obsudili voprosy tsifrovizatsii elektricheskikh setey // Elektroenergiya. Peredacha i raspredelenie. – 2018. – No. 6 (51) – S. 12-15.

4. Tsifrovaya energetika: novaya paradigma funktsionirovaniya i razvitiya / pod red. N.D. Rogaleva. – Moskva: Izd-vo MEI, 2019. – 300 s.

5. Kazymov, I., Kompaneets, B. (2019). Definition of Fact and Place of Losses in Low Voltage Electric Networks. 2019 International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM). 1-5. Doi: 10.1109/ICIEAM.2019.8743075.

6. RD 34.20.178-82. Metodicheskie ukazaniya po raschetu elektricheskikh nagruzok v setyakh 0,38-110 kV selskokhozyaystvennogo naznacheniya. – 1982. – 108 s.

7. Tsygulev, N.I. Tsifrovizatsiya elektricheskikh setey APK na platforme interneta energii / N.I. Tsygulev, V.K. Khlebnikov, V.A. Shelest, V.V. Terebaev, L.V. Babina, E.Ya. Zubkova, V.A. Mikhaylichenko // Aktualnye problemy nauki i tekhniki. 2019. Materialy natsionalnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. 2019 / Donskoy gosudarstvennyy tekhnicheskyy universitet (Rostov-na-Donu). – 2019. – S. 327-328.

8. Belyy, V.B. Model protsessov potrebleniya elektroenergii kommunalno-bytovym sektorom v selskikh elektricheskikh setyakh / V.B. Belyy // Energo- i resursosberezhenie – XXI vek. Materialy XVII mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii / OGU im. I.S. Turgeneva. – Орел: ОГУ им. I.S. Turgeneva, 2019. – С. 42-45.



УДК 631.3

**А.Г. Сергеев, В.Л. Андреев, А.П. Мансуров, А.И. Моисеев, А.Е. Шамин**  
**A.G. Sergeev, V.L. Andreyev, A.P. Mansurov, A.I. Moiseyev, A.Ye. Shamin**

### РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ НАГРЕВА ВОДЫ В ДЕЗИНТЕГРАТОРЕ ЗЕРНОВОЙ ПАТОКИ

### THE RESEARCH FINDINGS ON WATER HEATING IN A GRAIN MOLASSES DISINTEGRATOR

**Ключевые слова:** время нагрева, зерновая патока, дезинтегратор, критерий оптимизации, крыльчатка, лопатка, температура, эксперимент, удельные энергозатраты, фактор.

**Keywords:** heating time, grain molasses, disintegrator, optimization criteria, impeller, blade, temperature, experiment, specific energy consumption, factor.

Согласно стратегии, представленной в Федеральной научно-технической программе развития сельского хозяйства на период с 2017 по 2025 гг., предусмотрен рост производства сельскохозяйственной продукции. В отрасли кормопроизводства достижение озвученных в программе показателей возможно за счет внедрения современных технологий и средств приготовления кормов и кормовых добавок высокого качества, переработки и хранения сельскохозяйственной продукции. Одним из основных компонентов кормов сельскохозяйственных животных являются злаковые культуры. Разработана технология производства патоки из зерна, содержащей большое количество легкоусвояемых углеводов. В связи с резким сокращением производства корнеклубнеплодов это направление является актуальным. Для снижения энергозатрат в дезинтеграторах можно использовать ударный принцип. Этот принцип разрушения заложен в разработанном нами дезинтеграторе, что позволяет снизить энергопотребление при производстве зерновой патоки. Одним из этапов приготовления патоки является нагрев воды. Целью исследований являлось изучение процесса нагрева воды в разработанном дезинтеграторе. Объектом исследований – процесс нагрева воды. Предмет исследований – конструкционные параметры крыльчатки, энергетические и технологические показатели работы дезинтегратора. Эксперименты проводились на установке производства ООО «Доза-Агро». Исследовалось влияние количества лопаток крыльчатки и времени нагрева на температуру воды и энергозатраты. Для этого реализован многоуровневый план эксперимента. Количество лопаток изменяли на трех уровнях, а время нагрева – на шести. Для получения регрессионных моделей использовались методы планирования эксперимента. В результате эксперимента получены уравнения для расчета температуры воды и удельных энергозатрат в дезинтеграторе зерна в зависимости от времени нагрева и количества лопаток крыльчатки дезинтегратора. Выявлено, что наименьшие затраты электроэнергии

наблюдаются при использовании крыльчатки с 12 лопатками.

According to the strategy presented in the Federal Scientific and Technical Program for Agricultural Development for the period from 2017 to 2025, an increase in agricultural production is stipulated. In the field of feed production, the achievement of the indices announced in the program is possible through the introduction of modern technologies and means for preparing high-quality feeds and feed additives, processing and storing agricultural products. One of the main components of animal feeds is cereal crops. The technology of molasses production from grain containing a large number of easily digestible carbohydrates has been developed. Due to a dramatic reduction in root crop production, this direction is relevant. To reduce energy consumption in disintegrators, shock principle may be used. This principle of destruction is embedded in the disintegrator developed by us which reduces the energy consumption in grain molasses production. One of the stages of molasses production is water heating. The research goal was to study the process of water heating in the developed disintegrator. The research target was the water heating process. The research subject was the design parameters of the impeller, energy and technological performance of the disintegrator. The experiments were carried out on a plant manufactured by the OOO "Doza-Agro". The influence of the number of impeller blades and heating time on the water temperature and energy consumption was studied. To do this, a multi-level experiment plan was implemented. The number of blades was changed at three levels and the heating time - at six levels. The methods of experiment planning were used to obtain regression models. Through the experiment, the equations were obtained to calculate the water temperature and specific energy consumption in the grain disintegrator depending on the heating time and the number of blades of the disintegrator impeller. It was found that the lowest energy consumption was observed when using an impeller with 12 blades.

**Сергеев Александр Георгиевич**, к.т.н., генеральный директор, ООО «Доза-Агро», г. Нижний Новгород. E-mail: office@dozaagro.ru.

**Андреев Василий Леонидович**, д.т.н., проф., проф. каф. «Техническое обслуживание, организация перевозок и управление на транспорте» Нижегородский государственный инженерно-экономический университет. E-mail: andreev.vas@mail.ru.

**Мансуров Александр Петрович**, д.с.-х.н., проф., каф. математических и естественнонаучных дисциплин, институт пищевых технологий и дизайна – филиал, Нижегородский государственный инженерно-экономический университет. E-mail: a.p.mansurov@yandex.ru.

**Моисеев Антон Игоревич**, преп. каф. «Инфокоммуникационные технологии и системы связи», Нижегородский государственный инженерно-экономический университет, Тел.: (83166) 4-15-50. E-mail: ameit@bk.ru.

**Sergeyev Aleksandr Georgiyevich**, Cand. Tech. Sci., Director-General, OOO "Doza-Agro", Nizhny Novgorod. E-mail: office@dozaagro.ru.

**Andreyev Vasily Leonidovich**, Dr. Tech. Sci., Prof., Nizhny Novgorod State Engineering-Economic University. E-mail: andreev.vas@mail.ru.

**Mansurov Aleksandr Petrovich**, Dr. Agr. Sci., Prof., Nizhny Novgorod State Engineering-Economic University. E-mail: a.p.mansurov@yandex.ru.

**Moiseyev Anton Igorevich**, Asst. Prof., Nizhny Novgorod State Engineering-Economic University. Ph.: (83166) 4-15-50. E-mail: ameit@bk.ru.

Шамин Анатолий Евгеньевич, д.э.н., проф. каф. «Экономика и автоматизация бизнес-процессов», Нижегородский государственный инженерно-экономический университет. Тел.: (83166) 4-15-50. E-mail: ngiei-126@mail.ru.

Shamin Anatoliy Yevgenyevich, Dr. Econ. Sci., Prof., Nizhny Novgorod State Engineering-Economic University. Ph.: (83166) 4-15-50. E-mail: ngiei-126@mail.ru.

### Введение

Согласно стратегии, представленной в Федеральной научно-технической программе развития сельского хозяйства на период с 2017 по 2025 гг., предусмотрен рост производства сельскохозяйственной продукции. В отрасли кормопроизводства достижение озвученных в программе показателей возможно за счет внедрения современных технологий и средств приготовления кормов и кормовых добавок высокого качества, переработки и хранения продукции сельскохозяйственного производства [1]. О положительном влиянии на здоровье животных говорят результаты исследований не только отечественных, но и зарубежных исследователей [2-4].

Одним из основных компонентов кормов сельскохозяйственных животных являются злаковые культуры, относящиеся к высокоэнергетическим [5]. Подготовку таких кормов к скармливанию в нашей стране в основном проводят измельчением, а в европейских странах – плющением. В таком виде наибольшую часть зерновых составляет крахмал, содержание которого превышает 50% [6]. Однако на сегодняшний день разработана технология производства патоки из зерна, содержащей большое количество легкоусвояемых углеводов [7-9]. В связи с резким сокращением производства корнеклубнеплодов на сегодняшний день это направление является актуальным.

Для производства зерновой патоки используют специальные установки, состоящие главным образом из емкости, насоса и системы трубопроводов [10-12]. В некоторых установках с целью ускорения измельчения зерновых предусмотрены так называемые дезинтеграторы [13]. Однако в существующих дезинтеграторах для измельчения зерновок заложен скалывающий тип разрушения, что приводит к высоким энергозатратам. Для снижения энергозатрат в дезинтеграторах можно использовать ударный принцип.

В данном случае может быть осуществлен двойной удар: первый – лопаткой о зерновку, второй – удар зерновки о неподвижный элемент [14]. Ударный принцип разрушения зерновки заложен в разработанный нами дезинтегратор, что позволит снизить энергопотребление при производстве зерновой патоки и тем самым поучить экономию денежных средств.

Процесс приготовления зерновой патоки состоит из нескольких этапов. Одним из них является нагрев воды до определенной температуры. Проведенный нами анализ показал, что для нагрева воды при приготовлении патоки используются разные способы, но самым простым и дешевым является нагрев в насосе (дезинтеграторе) [13]. Разработанный дезинтегратор позволит ускорить процесс нагрева воды с меньшими затратами электроэнергии. **Целью** исследований являлось изучение процесса нагрева воды в разработанном дезинтеграторе.

### Объекты и методы исследований

Объектом исследований являлся процесс нагрева воды в дезинтеграторе зерна. Предметом исследований выступали конструкционные параметры крыльчатки, а также энергетические и технологические показатели работы дезинтегратора. Эксперименты проводились на установке для приготовления зерновой патоки, изготовленной ООО «Доза-Агро» [15]. Исследовалось влияние количества лопаток крыльчатки и времени нагрева на температуру воды и количество потребляемой электроэнергии. Общий вид исследуемых крыльчаток представлен на рисунке 1.

Для выявления закономерности изменения температуры при работе дезинтегратора реализован многоуровневый план эксперимента для двух факторов. Первый фактор  $x_1$  (количество лопаток  $m$ ) изменяли на трех уровнях: 6, 9 и 12 лопаток. Второй фактор  $x_2$  (время нагрева  $t$ )

варьировался от 5 до 30 мин. с интервалом 5 мин.

В соответствии с матрицей плана эксперимента (табл. 1) на дезинтегратор устанавливалась крыльчатка с необходимым количеством лопаток. К электродвигателю дезинтегратора подключался прибор для измерения мощности, а в емкость с водой опускался датчик температуры воды (рис. 2). Далее происходил пуск установки. Через каждые 5 мин. работы дезинтегратора проводилась фиксация температуры воды и потребляемой мощности. После проведения эксперимента рассчитывались удельные энергозатраты, выраженные в Вт·ч/(л·°C), и результаты заносились в таблицу 1.

Для получения регрессионных моделей использовались методы планирования эксперимента, а обработка экспериментальных данных проводилась в программе Statgraphics\_Centurion\_XVI.II.

### Результаты исследований

Результаты экспериментов приведены в таблице 1.

После обработки результатов построены модели регрессии изменения температуры воды и удельных энергозатрат в зависимости от числа лопаток и времени нагрева воды в разработанном дезинтеграторе в закодированном виде:

$$y_1 = 35,99 + 14,17 \cdot x_1 + 7,625 \cdot x_2 - 6,58 \cdot x_1^2 - 0,09 \cdot x_1 \cdot x_2 + 2,88 \cdot x_2^2; \quad (1)$$

$$y_2 = 26,75 - 0,77 \cdot x_1 - 9,13 \cdot x_2 - 3,03 \cdot x_1^2 + 1,77 \cdot x_1 \cdot x_2 - 1,96 \cdot x_2^2. \quad (2)$$

Первая модель имеет коэффициент детерминации, равный 93,5%, второй – 85%. На температуру воды в большей степени влияние оказывает время нагрева ( $b_1=14,17$ ). При его увеличении температура возрастает. Наименьшее влияние оказывает эффект  $x_1x_2$  ( $b_{12} = -0,09$ ). Вторая модель имеет невысокий коэффициент детерминации ( $R^2=65,9\%$ ), но статистика Дарбина-Ватсона составляет 2,4 с незначительными остатками автокорреляции, что свидетельствует о достоверности полученной регрессии. Наибольшее влияние на удельные энергозатраты имеет фактор  $x_2$  – количество лопаток. Для визуализации протекающего процесса построены поверхности откликов (рис. 3).



Рис. 1. Общий вид исследуемой крыльчатки дезинтегратора зерна: а – с 6 лопатками; б – с 9 лопатками; в – с 12 лопатками



Рис. 2. Определение рабочих параметров при проведении эксперимента: а – замер потребляемой мощности; б – терморегулятор с датчиком температуры

Матрица плана многоуровневого эксперимента для двух факторов и результаты опытов

№ п/п	Факторы		Критерии оптимизации	
	время нагрева $t$ ( $x_1$ ), мин.	количество лопаток $m$ ( $x_2$ ), шт.	температура воды $T$ ( $y_1$ ), °C	удельные энергозатраты $w$ ( $y_2$ ), Вт·ч/(л·°C)
1	5	6	8,5	25
2	10	6	25	45
3	15	6	29,5	34
4	20	6	32,5	30
5	25	6	35,5	30
6	30	6	38	31
7	5	9	9	23
8	10	9	28,5	36
9	15	9	33	25
10	20	9	37	23
11	25	9	45	22
12	30	9	45	23
13	5	12	30	11
14	10	12	35	14
15	15	12	42	14
16	20	12	47	15
17	25	12	51,5	15,5
18	30	12	55	16

После раскодировки модели регрессии (1) и (2) имеют вид:

$$T = 5,875 + 2,63 \cdot t - 3,17 \cdot m - 0,04 \cdot t^2 - 0,002 \cdot t \cdot m + 0,32 \cdot m^2; \quad (3)$$

$$w = 39,06 + 0,19 \cdot t + 0,05 \cdot m - 0,02 \cdot t^2 + 0,05 \cdot t \cdot m - 0,22 \cdot m^2. \quad (4)$$

Полученные модели регрессии имеют практическое значение. Задавая нужное количество

лопаток и время нагрева, по ним можно вычислить температуру воды и необходимое для этого количество энергии.

Анализ полученных данных показал, что нагрев воды протекает быстрее при использовании крыльчатки с 12 лопатками. При этом наблюдаются наименьшие энергозатраты.

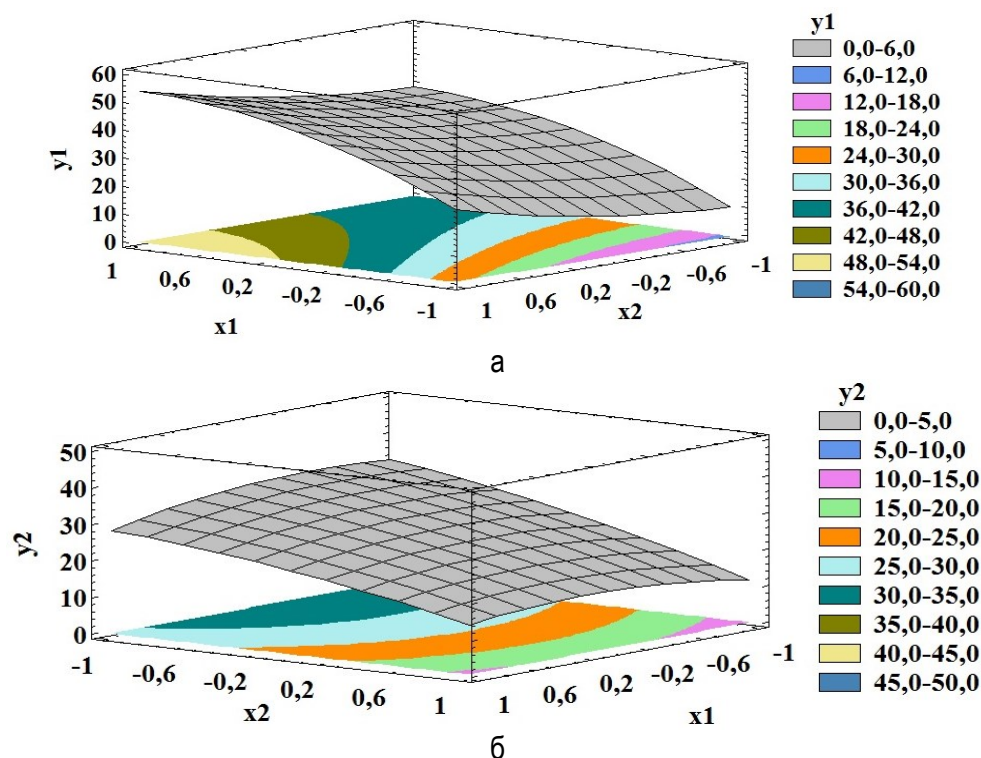


Рис. 3. Поверхности откликов, характеризующие влияние времени нагрева и количества лопаток на: а – температуру воды; б – удельные энергозатраты

### Выводы

1. Получены уравнения для расчета нагрева воды и удельных энергозатрат в дезинтеграторе зерна в зависимости от времени нагрева и количества лопаток крыльчатки дезинтегратора. Наименьшие затраты электроэнергии наблюдаются при использовании крыльчатки с 12 лопатками.

2. Предложенное техническое решение может быть использовано в составе установок для приготовления зерновой патоки вместо стандартных насосов, что позволит получать качественный корм с наименьшими энергозатратами.

### Библиографический список

1. Федеральная научно-техническая программа развития сельского хозяйства на 2017-2025 годы. – URL: <http://mcx.ru/activity/state-support/programs/technical-program> (дата обращения: 05.08.2020). – Текст: электронный.

2. Nikkhah, A. (2012). Barley grain for ruminants: A global treasure or tragedy. *Journal of Animal Science and Biotechnology*. 3. 22. 10.1186/2049-1891-3-22.

3. Nikkhah A. (2011). Optimizing barley grain use by dairy cows: a betterment of current percep-

tions. In *Progress in Food Science and Technology*. Nova Science Publishers, Inc, NY, USA, (2011): 165-178.

4. Black, J.L., et al. (2005). Feed uses for barley. In: *Proceedings of the 12th Australian Barley Technical Symposium*, 2005.

5. Миронов, К. Е. Приготовление кормов и физико – механические свойства зерна / К. Е. Миронов. – Текст: непосредственный // Вестник НГИЭИ. – 2012. – № 12 (19). – С. 88-91.

6. Производство зерновой патоки / А. П. Мансуров, С. Ю. Булатов, Ю. В. Сизова, В. Н. Нечаев. – Текст: непосредственный // Кормопроизводство. – 2020. – № 6. – С. 43-48.

7. Переработка зерна на кормовые сахара для животных / К. Я. Мотовилов, Н. А. Шкиль, В. В. Аксенов [и др.]. – Текст: непосредственный // Достижения науки и техники АПК. – 2012. – № 10. – С. 43-45.

8. Результаты сравнительных исследований качества зерновой патоки / С. С. Алатырев, А. С. Алатырев, П. В. Зайцев, [и др.]. – Текст: непосредственный // Перспективы развития аграрных наук: материалы Международной научно-практической конференции. – 2019. – С. 64-65.

9. 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.

10. Агробаза. – URL: [https://www.agrobase.ru/catalog/machinery/machinery\\_f60a56c5-b1ae-4684-aa6e-7038364c8516](https://www.agrobase.ru/catalog/machinery/machinery_f60a56c5-b1ae-4684-aa6e-7038364c8516) (дата обращения: 05.08.2020). – Текст: электронный.

11. ООО МИГ Ртищево. – URL: [https://migrt.ru/products/tech/ustanovki\\_dlya\\_prigotovleniya\\_kormov/Ustanovka\\_dlya\\_prigotovleniya\\_zhidkikh\\_kormov\\_KIP\\_0\\_6](https://migrt.ru/products/tech/ustanovki_dlya_prigotovleniya_kormov/Ustanovka_dlya_prigotovleniya_zhidkikh_kormov_KIP_0_6) (дата обращения: 05.08.2020). – Текст: электронный.

12. Агротехнологии. – URL: <http://www.stav-agro.ru/index.php/katalog/urva-250.html> (дата обращения: 05.08.2020). – Текст: электронный

13. Обоснование конструкции установки для приготовления зерновой патоки / С. Ю. Булатов, А. Е. Шамин, А. И. Моисеев, А. Г. Сергеев. – Текст: непосредственный // Вестник НГИЭИ. – 2020. – № 7 (110). – С. 25-36.

14. Савиных, П. А. Совершенствование способов измельчения зерна / П. А. Савиных, К. Е. Миронов. – Текст: непосредственный // Вестник НГИЭИ. – 2011. – Т. 2. – № 5 (6). – С. 109-115.

15. 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.

### References

1. Federalnaya nauchno-tehnicheskaya programma razvitiya selskogo khozyaystva na 2017-2025 gody [Elektronnyy resurs]. URL: <http://mcx.ru/activity/state-support/programs/technical-program> (data obrashcheniya: 5.08.2020).

2. Nikkhah, A. (2012). Barley grain for ruminants: A global treasure or tragedy. *Journal of Animal Science and Biotechnology*. 3. 22. 10.1186/2049-1891-3-22.

3. Nikkhah A. (2011). Optimizing barley grain use by dairy cows: a betterment of current percep-

tions. In *Progress in Food Science and Technology*. Nova Science Publishers, Inc, NY, USA, (2011): 165-178.

4. Black, J.L., et al. (2005). Feed uses for barley. In: *Proceedings of the 12th Australian Barley Technical Symposium*, 2005.

5. Mironov, K.E. Prigotovlenie kormov i fiziko – mekhanicheskie svoystva zerna / K.E. Mironov // Vestnik NGIEI. – 2012. – No. 12 (19). – S. 88-91.

6. Mansurov, A.P. Proizvodstvo zernovoy patoki / A.P. Mansurov, S.Yu. Bulatov, Yu.V.Sizova, V.N. Nechaev // Kormoproizvodstvo. – 2020. – No. 6. – S. 43-48.

7. Motovilov, K.Ya. Pererabotka zerna na kormovye sakhara dlya zhivotnykh / K.Ya. Motovilov, N.A. Shkil, V.V. Aksenov, A.I. Adonin, G.F. Pidenko, A.Yu. Ramazanov, D.N. Lukyanenko // Dostizheniya nauki i tekhniki APK. – 2012. – No. 10. – S. 43-45.

8. Alatyrev, S.S. Rezultaty sravnitelnykh issledovaniy kachestva zernovoy patoki / S.S. Alatyrev, A.S. Alatyrev, P.V. Zaytsev, S.Yu. Bulatov, V.N. Nechaev, Yu.V. Sizova, A.I. Moiseev // Perspektivy razvitiya agrarnykh nauk. Materialy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. – 2019. – S. 64-65.

9. Savinykh, P.A. Novye tekhnologii i tekhnicheskie sredstva polucheniya patoki iz zerna zlakovykh kultur / P.A. Savinykh, V.A. Kazakov // Aktualnye voprosy sovershenstvovaniya tekhnologii proizvodstva i pererabotki produktsii selskogo khozyaystva. – 2017. – No. 19. – S. 359-361.

10. Агробаза [Elektronnyy resurs]. – Rezhim dostupa: [https://www.agrobase.ru/catalog/machinery/machinery\\_f60a56c5-b1ae-4684-aa6e-7038364c8516](https://www.agrobase.ru/catalog/machinery/machinery_f60a56c5-b1ae-4684-aa6e-7038364c8516) (data obrashcheniya: 5.08.2020).

11. ООО МИГ Ртищево [Elektronnyy resurs]. – Rezhim dostupa: [https://migrt.ru/products/tech/ustanovki\\_dlya\\_prigotovleniya\\_kormov/Ustanovka\\_dlya\\_prigotovleniya\\_zhidkikh\\_kormov\\_KIP\\_0\\_6](https://migrt.ru/products/tech/ustanovki_dlya_prigotovleniya_kormov/Ustanovka_dlya_prigotovleniya_zhidkikh_kormov_KIP_0_6) (data obrashcheniya: 5.08.2020).

12. Агротехнологии [Elektronnyy resurs]. URL: <http://www.stav-agro.ru/index.php/katalog/urva-250.html> (data obrashcheniya: 5.08.2020).

13. Bulatov, S.Yu. Obosnovanie konstruktssii ustanovki dlya prigotovleniya zernovoy patoki / S.Yu. Bulatov, A.E. Shamin, A.I. Moiseev,

A.G. Sergeev // Vestnik NGIEI. – 2020. – No. 7 (110). – S. 25-36.

14. Savinykh, P.A. Sovershenstvovanie sposobov izmelcheniya zerna // P.A. Savinykh, K.E. Mironov // Vestnik NGIEI. – 2011. – Т. 2. – No. 5 (6). – S. 109-115.

15. Sergeev, A.G. Malozatratnaya ustanovka dlya proizvodstva zernovoy patoki / A.G. Sergeev, P.A. Savinykh, S.Yu. Bulatov, V.N. Nechaev, A.E. Shamin // Selskiy mekhanizator. – 2020. – No. 5-6. – S. 26-27.



УДК 636.6;620.953;662.761

Н.Н. Фахреев  
N.N. Fakhreyev

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССА УТИЛИЗАЦИИ ПОДСТИЛОЧНОГО ПОМЕТА ПТИЦЫ МЕТОДОМ ТЕРМИЧЕСКОГО РАЗЛОЖЕНИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ ПАРОВОЙ ГАЗИФИКАЦИИ

### THE EXPERIMENTAL STUDIES OF LITTER POULTRY MANURE UTILIZATION BY THERMAL DECOMPOSITION THROUGH STEAM GASIFICATION

**Ключевые слова:** подстилочный помет, утилизация, газификация, синтез-газ, состав синтез-газа, высококалорийное топливо, эксперимент, лабораторное сопровождение.

Приводится проблема, заключающаяся в низкой экологичности и экономической эффективности применения известных методов утилизации помета птицы. Предлагается техническое решение в виде модернизации газификационных установок путем применения альтернативного газифицирующего агента – пара. Представлены установка и методика экспериментальных исследований, включающая порядок работы установки, контролируемых параметров газификации помета птицы и приборном сопровождении, выбраны критерии модернизации в виде содержания горючих соединений в синтез-газе и концентрации оксида азота. В качестве факторов были взяты температура в газификационной камере, количество пара, подаваемого в газификационную камеру. Приведены результаты экспериментов в виде табличных данных с уравнениями реакций, протекающими в газификационной камере. В результате анализа экспериментальных данных было доказано, что при паровой газификации качество синтез-газа увеличивается и достигает значений 11203-11233 кДж/кг. Оптимальное количество подаваемого пара составляет 0,220-0,273 кг/кг. Концентрация оксида азота при паровой газификации достигает  $10^{-5}$  мольных долей при влажности помета, равной 35%.

**Keywords:** litter manure, utilization, gasification, synthesis gas, synthesis gas composition, high-energy fuel, experiment, laboratory support.

The problem of the low environmental friendliness and economic efficiency of using the known methods of poultry manure disposal is discussed. A technical solution is proposed in the form of modernization of gasification plants by using an alternative gasification agent - steam. The installation and the experimental research methodology are presented, including the operation of the installation, the controlled parameters of gasification of poultry manure and instrumental support; the criteria for modernization in the form of the content of combustible compounds in the synthesis gas and the concentration of nitrogen oxide are selected. The temperature in the gasification chamber and the amount of steam supplied to the gasification chamber were taken as factors. The results of the experiments are presented in the form of tabular data with the equations of reactions proceeding in the gasification chamber. As a result of the analysis of experimental data it was proved that during steam gasification, the quality of synthesis gas increases and reaches values of 11203-11233 kJ kg. The optimal amount of supplied steam is 0.220-0.273 kg kg. The concentration of nitrogen oxide during steam gasification reaches  $10^{-5}$  molar fractions with manure moisture content of 35%.

**Фахреев Наиль Насихович**, ст. преп., Казанский государственный энергетический университет. Тел.: (843) 519-43-24. E-mail: fakhreevnn@mail.ru.

**Fakhreyev Nail Nasikhovich**, Asst. Prof., Kazan State Power Engineering University. Ph.: (843) 519-43-24. E-mail: fakhreevnn@mail.ru.