

4. Zubakin, A. S. Ispol'zovanie generatornogo gaza v kachestve motornogo topliva dlya iskrovyyh DVS // Obshchestvo. Nauka. Innovacii (NPK-2019). –Vologda: Vyatskiy GU. 2019. – S. 125-131.
5. Kipriyanov, F. A. Issledovanie raboty gazogeneratora / F. A. Kipriyanov // Sovremennye nauchnye issledovaniya i innovacii. – 2016. – № 1 (57). – S. 146-152.
6. Korotkov, A. N. Sovershenstvovanie konstrukcii i optimizaciya konstruktivno-tekhnologicheskikh parametrov gazogeneratornoj ustanovki: nauchno-kvalifikacionnaya rabota na soiskanie stepeni «Issledovatel'. Prepodavatel'-issledovatel'» / A. N. Korotkov. – Vologda-Molochnoe, 2018. – 132 s.
7. Lagunov, S. Gazogenerator svoimi rukami / S. Lagunov. –Tekst: elektronnyj. – URL: <http://benz.lagunof.com/book/book.pdf> (data obrashcheniya 20.07.2020).
8. Pat. Rossijskaya Federaciya. № 2555486. S10J3/20 (2006.01). Gazogenerator / Ostrecov V. N., Zubakin A. S., Palicyn A. V., Korotkov A. N.; zayavitel' i patentoobladatel' Palicyn A. V. – № 2013132317; zayavl. 11.07.2013; opubl. 10.07.2015, Byul. № 19. – 2 s.
9. Coal and Biomass Gasification. Recent Advances and Future Challenges / De Santanu, Kumar Agarwal Avnash, V. S. Moholkar [et al.] // Springer Nature Singapore Pte Ltd. – Tekst: elektronnyj. – URL: <https://doi.org/10.1007/978-981-10-7335-9> (data obrashcheniya 20.07.2020).
10. Gasifier Experimenters Kit. – Tekst: elektronnyj // All power labs: [sajt]. – URL: [www.gekgasifier.com](http://www.gekgasifier.com) (data obrashcheniya 20.07.2020).

#### **Information about authors**

1. **Korotkov Alexander Nikolaevich**, Senior Lecturer of the Department of Energy Resources and Technical Service, Vologda State Dairy Academy named after N.V. Vereshchagin, 160555, Russian Federation, Vologda, Molochnoe, Schmidt str., 2; e-mail: [mechfac@yandex.ru](mailto:mechfac@yandex.ru), tel. 8 (8172) 525603;

2. **Palitsyn Andrey Vladimirovich**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Energy Resources and Technical Service, Vologda State Dairy Academy named after N.V. Vereshchagin, 160555, Russian Federation, Vologda, Molochnoe, Schmidt str., 2; e-mail: [mechfac@yandex.ru](mailto:mechfac@yandex.ru), tel. 8 (8172) 525603;

3. **Plotnikova Yulia Aleksandrovna**, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor of the Department of Technical Systems in Agribusiness, Vologda State Dairy Academy named after N.V. Vereshchagin, 160555, Russian Federation, Vologda, Molochnoe, Schmidt str., 2; e-mail: [japlotnikova@yandex.ru](mailto:japlotnikova@yandex.ru), tel. 8 (8172) 525603.

УДК 631.363.25

DOI: 10.17022/j4jd-xz03

### **РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ИЗМЕЛЬЧИТЕЛЯ ЗЕРНА РОТОРНО-ЦЕНТРОБЕЖНОГО ТИПА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДИКИ ПЛАНИРОВАНИЯ МНОГОФАКТОРНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА**

**И. И. Иванов, Ю. А. Плотникова**

*Вологодская государственная молочнохозяйственная академия имени Н. В. Верещагина  
160555, Вологда, Российская Федерация*

**Аннотация.** В настоящее время в России активно развиваются крестьянско-фермерские хозяйства, которые стремятся снизить себестоимость продукции животноводства. В связи с этим появляется заинтересованность в освоении новых технологических приемов, использование которых позволит уменьшить энергопотребление и повысить эффективность процесса производства при сохранении высокого качества продукции.

Из общего количества фуражного зерна только половина перерабатывается в полноценные комбикорма и кормосмеси, а остальная часть скармливается в измельченном виде. Стремление повысить производительность и снизить энергозатраты приводит к получению готового продукта со значительным содержанием недоизмельченной фракции. Такой корм усваивается животными не полностью, что является причиной его перерасхода и низкой эффективности вложенных средств. В связи с этим дальнейшее совершенствование существующих конструкций измельчителей зерна и разработка новых по-прежнему остается актуальной задачей.

Проведенный обзор научно-технической и патентной литературы по исследуемой проблеме показал, что существующие измельчители зерна имеют ряд недостатков: большая металло- и энергоемкость, неравномерность гранулометрического состава измельчаемого продукта, большой процент пылевидной фракции, быстрый износ рабочих органов, нагрев продукта. Для устранения перечисленных недостатков была предложена новая конструкция измельчителя зерна роторно-центробежного типа.

При создании представленной конструкции потребовалось оптимизировать ряд конструктивных и кинематических параметров. Для решения поставленной задачи была выбрана методика многофакторного эксперимента. В качестве варьируемых на двух уровнях факторов использовались следующие: подача зернового материала, частота вращения ротора, открытие сепарирующей поверхности, число ножей на

внутреннем и внешнем кольце. Критериями оптимизации являлись следующие параметры: потребляемая при измельчении зерна электроэнергия, производительность установки, соответствие получаемого продукта зоотехническим требованиям. В результате обработки массива данных были получены адекватные и достоверные математические модели, в результате анализа которых было установлено влияние факторов на критерии оптимизации.

**Ключевые слова:** измельчитель, зерно, эксперимент, обработка экспериментальных данных, ротор, нож.

**Введение.** Независимо от вида корм, предназначенный для животных, необходимо готовить в соответствии с зоотехническими требованиями. При механическом способе приготовления кормов самым распространенным и обязательным является измельчение. При размоле, дроблении и плющении зерна разрушается твердая оболочка, облегчается разжевывание, питательные вещества становятся более доступными, в результате чего полноценно используются организмом животных.

Измельчение является наиболее энергоемкой и трудоемкой операцией, занимающей более 50 % от общих трудозатрат в приготовлении комбикормов.

Разработка, исследование и создание оптимального и эффективного способа измельчения зерновых кормов является актуальной задачей для многих исследователей при создании новых конструкций измельчителей [1], [3], [7], [9], [10], в том числе центробежно-роторных [6], [7].

Целью исследований является снижение удельной энергоёмкости процесса измельчения фуражного зерна и повышение однородности гранулометрического состава готового продукта за счет совершенствования основных конструктивных параметров центробежно-роторного измельчителя.

**Материалы и методы.** Для проведения опытов использовались фуражное зерно, центробежно-роторный измельчитель. Планирование эксперимента проводилось с помощью матрицы Бокса-Бенкина. Для анализа массива данных и построения математических моделей использовалась программа Excel.

**Результаты исследований и их обсуждение.** Для совершенствования процесса измельчения зерна необходимо использовать такие конструкции измельчителей, которые работают в пограничной области, совмещают процессы измельчения, скалывания и среза со своевременным выводом готового продукта [3], [7], [8].

В результате теоретических исследований была разработана конструкция измельчителя зерна роторно-центробежного типа, принципиальная схема которого представлена на рис. 1 [3].

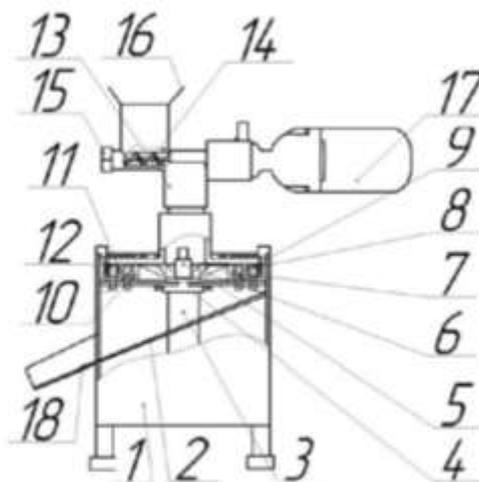


Рис. 1. Принципиальная схема измельчителя зерна роторно-центробежного типа: 1 – корпус, 2 – наклонное днище, 3 – подшипниковый узел, 4 – вал приводной, 5 – ротор, 6 – гайка-отсекатель, 7 – распределитель, 8 – кольцевые выступы, 9 – кольцевые выступы, 10 – ножи, 11 – ножи, 12 – наружный ряд ножей, 13 – корпус дозатора, 14 – шнек, 15 – заглушка, 16 – загрузочный бункер, 17 – электродвигатель шнекового дозатора, 18 – выгрузное окно.

Во время исследований в качестве исходного зернового материала использовался ячмень кондиционной влажности. Регулировка подачи зерна в устройство  $x_1$  осуществлялась за счет изменений частоты вращения вала электродвигателя лопастного питателя. Частота вращения ротора  $x_2$  регулировалась за счет изменений частоты вращения электродвигателя частотным преобразователем. Открытие сепарирующей поверхности  $x_3$  – за счет установления соответствующего интервала между параллельными плоскостями двух рядом расположенных ножей на внешнем кольце 9 (рис. 1 и 2). Число ножей на внутреннем  $x_4$  и наружном кольце  $x_5$  — в результате добавления или удаления таковых.



Рис. 2. Общий вид верхнего диска измельчителя с сепарирующей поверхностью и установленными ножами и схема контроля открытия сепарирующей поверхности

При проведении исследований использовалась матрица дробного факторного эксперимента типа  $2^{5-2}$ . Матрица планирования эксперимента и его результаты представлены в табл. 1.

Таблица 1 – Матрица планирования эксперимента и результаты

Номер опыта	Факторы					Критерии оптимизации			
	Поддача зерна, $q$ , Гец	Частота вращения, $n$ , $c^{-1}$	Величина открятия сепарирующей поверхности, $h$ , мм	Числительной	Числительной	Потребность, кВт /Энерграты	Пропускная способность, $Q$ , кг / мин	Содержание пыли, фракции, $m_2$	Остаток на сите $\emptyset$ 3 мм, $m_2$ , %

				н	н			н	
	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$	$x_5$	$y_1$	$y_2$	$y_3$	$y_4$
1	30	800	3,2	9	9	1,80	0,75	8,78	8,52
2	60	1200	3,2	9	9	3,00	1,51	11,54	6,50
3	60	800	3,2	3	9	5,16	1,16	18,1	6,59
4	30	1200	3,2	3	9	2,43	0,79	14,95	7,65
5	60	800	3,2	9	18	3,33	0,64	12,29	7,38
6	30	1200	3,2	9	18	3,60	1,01	17,04	5,73
7	30	800	2,5	3	9	1,95	0,71	12,34	4,60
8	60	1200	2,5	3	9	4,02	1,59	16,80	4,72
9	60	800	2,5	9	9	2,70	1,46	7,83	2,71
10	30	1200	2,5	9	9	1,83	0,84	8,08	1,63
11	30	800	3,2	3	18	2,49	0,73	12,40	1,58
12	60	1200	3,2	3	18	3,87	1,6	13,	3,6

		0					7	6 5	0
1 3	6 0	8 0 0	2, 5	3	1 8	5,94	1 , 1 9	1 8 , 8 8	1 0 , 0 8
1 4	3 0	1 2 0 0	2, 5	3	1 8	2,43	1 , 0 8	1 1 , 5 9	4 , 1 4
1 5	3 0	8 0 0	2, 5	9	1 8	3,12	0 , 6 7	9 , 8 3	8 , 7 7
1 6	6 0	1 2 0 0	2, 5	9	1 8	5,07	1 , 5 7	1 4 , 7 8	9 , 4 4

Анализ зоотехнических требований, предъявляемых к концентрированным кормам, предназначенным для различных групп животных, позволил выделить несколько основных критериев при оценке качества получаемого продукта. Это крупность помола, процентное содержание в помоле частиц диаметром более 3 мм и наличие в нем целых зерен. Однако результаты отсева отобранных проб показали, что наиболее критичным параметром для получаемого продукта является содержание в помоле частиц размером более 3 мм. В этом случае наличие целых зерен и модуль помола не учитывались ввиду того, что в отсеве не наблюдалось целых зерен, а значение модуля соответствовало грубому помолу. При этом стоит отметить, что модуль помола в большей степени зависел от содержания частиц диаметром более 3 мм: их содержание варьировалось в диапазоне от 0,4 до 60,8 %

Был произведен анализ данных в программе Excel. Его результаты представлены в виде уравнений регрессии (1), (2), (3), (4) в табл. 2. Был сделан вывод, что коэффициенты уравнений регрессии значимы на 5 %-м уровне; математические модели (1), (2), (3), (4) обусловлены вариацией выбранных факторов, являются статистически значимыми и не могут описать происходящие процессы лишь на 5 %-м уровне. При анализе данных обращали внимание на нормированный R-квадрат, результаты теста Фишера, t-статистику, р-значение (значимость) для каждого коэффициента уравнения [4], [5]. Нормированный R-квадрат в отличие от R-квадрата может уменьшаться при введении в модель новых объясняющих переменных, не оказывающих существенного влияния на зависимую переменную. R-квадрат же может увеличиваться при добавлении новых объясняющих переменных, хотя это и не обязательно приводит к улучшению качества регрессионной модели. Приведем уравнение регрессии и под уравнением таблицу с основными показателями для каждого из результатов  $y_1$ ,  $y_2$ ,  $y_3$ ,  $y_4$ .

$$y_1 = -12,85 + 0,284x_1 + 4,318x_3 - 0,485x_4 + 0,552x_5 - 0,00006x_1x_2 - 0,04x_1x_3 - 0,008x_1x_4 + 0,0005x_2x_4 - 0,2048x_3x_5 + 0,214x_4x_5 \quad (1)$$

$$y_2 = 0,742 + 0,042x_1 - 0,0029x_2 + 0,1578x_4 - 0,032x_5 - 0,0105x_1x_3 - 0,005x_1x_4 - 0,009x_1x_5 + 0,0005x_2x_3 + 0,0001x_2x_5 - 0,027x_2x_4 - 0,005x_4x_5 \quad (2)$$

$$y_3 = -7,98 + 0,851x_1 + 8,05x_3 - 4,706x_4 - 0,0002x_1x_2 - 0,167x_1x_3 - 0,0187x_1x_4 + 0,0018x_2x_4 + 0,0573x_3x_4 - 0,1799x_3x_5 + 0,1123x_4x_5 \quad (3)$$

$$y_4 = -56,32 + 0,87x_1 + 18,15x_2 + 9,324x_4 - 0,312x_1x_3 - 0,00067x_2x_5 - 2,339x_3x_4 + 0,53x_3x_5 - 0,159x_4x_5 \quad (4)$$

Таблица 2 – Итоги выводов

Итоги выводов	$y_1$	$y_2$	$y_3$	$y_4$
Множественный R	0,996812151	0,999658	0,995507	0,939077
R-квадрат	0,993634465	0,999316	0,991034	0,881866
Нормированный R-квадрат	0,980903396	0,996582	0,973101	0,746856
Стандартная ошибка	0,172532606	0,021698	0,573001	2,55956
F	78,48	365,5	55,263	6,53
Значимость F	0,0000745	0,00021	0,00017	0,0113

Анализ моделей регрессии потребления электроэнергии (1), производительности (2), а также содержания пылевидной фракции (3) и содержания в готовом продукте частиц диаметром более 3 мм (4) позволил сделать следующий вывод.

Оптимальные значения факторов при условии минимизации энергопотребления, увеличения пропускной способности, уменьшения содержания пылевой фракции и остатка на сите следующие:  $x_1=30$ ,  $x_2=1200$ ,  $x_3=2,5$ ,  $x_4=3$ ,  $x_5=18$ . Средние прогнозируемые значения результатов при данных значениях факторов:  $y_1=2,8056$ ,  $y_2=0,6034$ ,  $y_3=10,8952$ ,  $y_4=2,9885$  – на уровне значимости 95 %. Достижение отдельных результатов по сравнению с оптимальными значениями для каждого из результатов отдельно равно 43 %, 70 %, 100 % и 87 %, соответственно. Общее достижение результатов равно 75 %.

#### Выводы.

1. Наиболее значительное влияние на энергопотребление  $y_1$  оказывает фактор  $x_1$ , а также факторы  $x_3$  и  $x_5$ . Увеличение подачи зерна  $x_1$  увеличивает расход электроэнергии  $y_1$ ; увеличение величины открытия  $x_3$  и уменьшение числа ножей на внешнем кольце  $x_5$  приводит к уменьшению расхода электроэнергии  $y_1$ .

2. Наиболее значительное влияние на пропускающую способность  $y_2$  оказывает фактор  $x_2$ , затем факторы  $x_1$  и  $x_4$ . Увеличение числа оборотов  $x_2$  и числа ножей на внутреннем кольце  $x_4$  приводит к уменьшению пропускной способности  $y_2$ ; увеличение подачи зерна  $x_1$  приводит к увеличению пропускной способности  $y_2$ .

3. Наиболее значительное влияние на процент содержания пылевидной фракции  $y_3$  оказывают факторы  $x_1$  и  $x_4$ , затем фактор  $x_3$ . Увеличение подачи зерна  $x_1$  и величины открытия  $x_3$  увеличивает процент содержания пылевидной фракции  $y_3$ ; увеличение числа ножей на внутреннем кольце  $x_4$  приводит к уменьшению процента содержания пылевидной фракции  $y_3$ .

4. Наиболее значительное влияние на процент содержания частиц диаметром более 3 мм  $u_4$  оказывает фактор  $x_4$ , затем факторы  $x_1$  и  $x_3$ . Увеличение числа ножей на внутреннем кольце  $x_4$ , количества поданного зерна  $x_1$  и открытия сепарирующей поверхности  $x_3$  увеличивает содержания частиц диаметром более 3 мм.

5. Фактором, значимо влияющим на все результаты, является фактор подачи зерна  $x_1$ . Факторов, которые можно было бы исключить из рассмотрения, нет.

#### Литература

1. Механизация животноводческих ферм / С. В. Мельников, Б. И. Вагин, П. А. Андреев [и др.]. – М.: «Колос», 1969. – 440 с.
2. Палицын, А. В. Разработка и поисковые результаты исследований измельчителя роторно-центробежного типа фуражного зерна для крестьянских хозяйств / А. В. Палицын, И. И. Иванов // Актуальные вопросы совершенствования технологии производства и переработки продукции сельского хозяйства: материалы Международной научно-практической конференции. – Йошкар-Ола: издательство Марийского государственного университета, 2017. – Вып. 19. – С. 284-289.
3. Пат. Российская Федерация. Ru 146644 U1. Устройство для измельчения сыпучих материалов / Сухляев В. А., Молин А. А., Мерзляков И. Н.; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Вологодская государственная молочнохозяйственная академия имени Н.В. Верещагина». – № 2013130636/13; заявл. 07.03.2013; опубл. 20.10.2014. – 2 с.
4. Плотников, М. Г. Математика / М. Г. Плотников, Ю. А. Плотникова. – Вологда-Молочное: Вологодская государственная молочнохозяйственная академия, 2019. – 206 с.
5. Плотников, М. Г. Теория вероятностей и математическая статистика / М. Г. Плотников. – Вологда-Молочное: Вологодская государственная молочнохозяйственная академия, 2015. – 222 с.
6. Савиных, П. А. Зернодробилка с ротором-вентилятором / П. А. Савиных, С. Ю. Булатов, В. Н. Нечаев // Сельский механизатор. – 2012. – № 9. – С. 9.
7. Сергеев, Н. С. Разработка и обоснование основных параметров измельчителя фуражного зерна центробежного типа: автореферат диссертации на соискание степени кандидата технических наук / Н. С. Сергеев. – Челябинск: УОП ЧГАУ, 1989. – 19 с.
8. Сысуев, В. А. Кормоприготовительные машины: теория, разработка, эксперимент. В 2-х томах. / В. А. Сысуев, А. В. Алешкин, П. А. Савиных. – Киров: НИИСХ Северо-Востока, 2009.
9. Шагдыров, И. Б. Механико-технологические основы создания многостадийных измельчителей фуражного зерна: монография / И. Б. Шагдыров, М. Б. Балданов. – Улан-Удэ: Бурятская государственная сельскохозяйственная академия, 2010. – 234 с.
10. Шагдыров, И. Б. Обоснование параметров многоступенчатой дробилки фуражного зерна диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / И. Б. Шагдыров. – Челябинск, 1988. – 220 с.

#### Сведения об авторах

1. **Иванов Илья Игоревич**, старший преподаватель кафедры энергетических средств и технического сервиса, Вологодская государственная молочнохозяйственная академия им. Н. В. Верещагина, 160555, Вологодская область, г. Вологда, с. Молочное, ул. Шмидта, 2; e-mail: kadyichina@mail.ru, тел. 8-8172-525-603;

2. **Плотникова Юлия Александровна** – кандидат физико-математических наук, доцент кафедры технических систем в агробизнесе, Вологодская государственная молочнохозяйственная академия им. Н. В. Верещагина, 160555, Вологодская область, г. Вологда, с. Молочное, ул. Шмидта, 2; e-mail: jplotnikova@yandex.ru.

#### RESULTS OF EXAMINATION OF ROTARY-CENTRIFUGAL GRAIN GRINDER USING MULTI-PHASE EXPERIMENT PLANNING TECHNIQUE

**I. I. Ivanov, Yu. A. Plotnikova**

*Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education Vologda State Dairy Farming Academy named after N.V. Vereshchagin  
160555, Vologda, Russian Federation*

**Abstract** Currently, peasant farms are actively developing in Russia, which strive to reduce the cost of livestock products. In this regard, there is an interest in the development of new technological methods, the use of which will reduce energy consumption and increase the efficiency of the production process while maintaining the high quality of products.

Only half of the total feed grain amount is processed into high-grade feed and feed mixtures, and the rest is fed in a crushed form. The desire to increase productivity and reduce energy consumption leads to the receipt of a finished product with a significant content of not well chopped fraction. Such feed is not completely absorbed by animals, which

is the reason for its overspending and low efficiency of the investment. In this regard, further improvement of existing designs of grain grinders and the development of new ones is still an urgent task.

A review of scientific, technical and patent literature on the problem under study is showed that existing grain grinders have a number of disadvantages, the main ones of which are: high metal and energy consumption, uneven particle size distribution of the grinded product, a large percentage of dusty fraction, rapid wear of working bodies, heating of the product. To eliminate the above disadvantages, a design of a rotary-centrifugal grain grinder is proposed.

The presented design requires optimization of some design and kinematic parameters. To solve the problem, a multifactor experiment technique was chosen. The feed of grain material, the rotor speed, the opening of the separating surface, the number of knives on the inner and outer rings were taken as factors varied at two levels. Electricity consumed during grain grinding, plant productivity and compliance of the resulting product with zootechnical requirements were considered as optimization criteria. As a result of processing the data array, adequate and reliable mathematical models were obtained. As a result of the analysis of the models, the influence of factors on the optimization criteria was established.

**Key words:** grain grinder, experiment, experimental data processing, rotor, knife.

### References

1. Mekhanizatsiya zhivotnovodcheskih ferm / S. V. Mel'nikov, B. I. Vagin, P. A. Andreev [i dr.]. – M.: «Kolos», 1969. – 440 s.
2. Palicyn, A. V. Razrabotka i poiskovye rezul'taty issledovaniy izmel'chitelya rotorno-centrobezhnogo tipa furazhnogo zerna dlya krest'yanskih hozyajstv / A. V. Palicyn, I. I. Ivanov // Aktual'nye voprosy sovershenstvovaniya tekhnologii proizvodstva i pererabotki produktsii sel'skogo hozyajstva: materialy Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferentsii. – Yoshkar-Ola: izdatel'stvo Marijskogo gosudarstvennogo universiteta, 2017. – Vyp. 19. – S. 284-289.
3. Pat. Rossijskaya Federatsiya. Ru 146644 UI. Ustrojstvo dlya izmel'cheniya sypuchih materialov / Suhlyaev V. A., Molin A. A., Merzlyakov I. N.; zayavitel' i patentoobladatel' Federal'noe gosudarstvennoe byudzhetnoe obrazovatel'noe uchrezhdenie vysshego obrazovaniya «Vologodskaya gosudarstvennaya molochnohozyajstvennaya akademiya imeni N.V. Vereshchagina». – № 2013130636/13; zayavl. 07.03.2013; opubl. 20.10.2014. – 2 s.
4. Plotnikov, M. G. Matematika / M. G. Plotnikov, YU. A. Plotnikova. –Vologda-Molochnoe: Vologodskaya gosudarstvennaya molochnohozyajstvennaya akademiya, 2019. – 206 s.
5. Plotnikov, M. G. Teoriya veroyatnostej i matematicheskaya statistika / M. G. Plotnikov. – Vologda-Molochnoe: Vologodskaya gosudarstvennaya molochnohozyajstvennaya akademiya, 2015. – 222 s.
6. Savinyh, P. A. Zernodrobilka s rotorom-ventilyatorom / P. A. Savinyh, S. YU. Bulatov, V. N. Nechaev // Sel'skij mekhanizator. – 2012. – № 9. – S. 9.
7. Sergeev, N. S. Razrabotka i obosnovanie osnovnyh parametrov izmel'chitelya furazhnogo zerna centrobezhnogo tipa: avtoreferat dissertatsii na soiskanie stepeni kandidata tekhnicheskikh nauk / N. S. Sergeev. – CHelyabinsk: UOP CHGAU, 1989. – 19 s.
8. Sysuev, V. A. Kormoprigotovitel'nye mashiny: teoriya, razrabotka, eksperiment. V 2-h tomah. / V. A. Sysuev, A. V. Aleshkin, P. A. Savinyh. – Kirov: NIISKH Severo-Vostoka, 2009.
9. SHagdyrov, I. B. Mekhaniko-tekhnologicheskie osnovy sozdaniya mnogostadijnyh izmel'chitelej furazhnogo zerna: monografiya / I. B. SHagdyrov, M. B. Baldanov. – Ulan-Ude: Buryatskaya gosudarstvennaya sel'skohozyajstvennaya akademiya, 2010. – 234 s.
10. SHagdyrov, I. B. Obosnovanie parametrov mnogostupenchatoj drobilki furazhnogo zerna dissertatsiya na soiskanie uchenoj stepeni kandidata tekhnicheskikh nauk / I. B. SHagdyrov. – CHelyabinsk, 1988. – 220 s.

### Information about authors

1. **Ivanov Il'ya Igorevich**, Senior Lecturer of the Department of Energy Means and Technical Service, Vologda State Dairy Farming Academy, 160555, Russian Federation, Vologda, Molochnoe, Schmidt str., 2, e-mail: kadyichina@mail.ru tel. 8-8172-525-603.

2. **Plotnikova Yulia Aleksandrovna**, PhD of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor of the Department of Technical Systems in Agribusiness, Vologda State Dairy Farming Academy, 160555, Russian Federation, Vologda, Molochnoe, Schmidt str., 2, e-mail: jplotnikova@yandex.ru.