

Научная статья

УДК 631.363.7.681.332.6

DOI: 10.34655/bgsha.2026.82.1.016

Оптимизация конструктивно-режимных параметров устройства для отволаживания зерна

А.В. Семенов¹, В.В. Матюшев², И.А. Чаплыгина³, Р.С. Погребнов⁴

^{1,2,3,4}Красноярский государственный аграрный университет, Красноярск, Россия

¹semenov02101960@gmail.com

²don.matyusheff2015@yandex.ru

³ledum_palustre@mail.ru

⁴romanpogrebnow@mail.ru

Аннотация. В статье рассматривается влияние конструктивно-режимных параметров устройства для отволаживания зерна на продолжительность и энергоёмкость процесса. Проведено изучение технологии подготовки зерна к переработке путём экструдирования, позволяющего устранить образование пылевидной фракции и повысить качество готового продукта. Разработана и представлена новая конструкция устройства для отволаживания зерна. Основная цель исследования заключалась в определении оптимальных конструктивно-режимных характеристик предлагаемого оборудования. Лабораторная установка для отволаживания зерна была создана и испытана в Инжиниринговом центре Красноярского ГАУ. По результатам экспериментов выявлены ключевые факторы и диапазоны их изменения, существенно влияющие на работу установки. Результаты экспериментальных исследований обрабатывались с использованием программного комплекса Maple. Установлено, что увеличение частоты вращения вала и угла наклона лопастей сокращают время отволаживания благодаря усилению интенсивности перемешивания зерна и увеличению площади контакта лопастей с зёрнами соответственно. Отмечено, что энергоёмкость процесса определяется преимущественно частотой вращения вала и шагом установки лопастей: рост скорости вращения так же, как и уменьшение шага расположения лопастей, увеличивает трение рабочих элементов о зерно и повышает затраты энергии. При этом угол установки лопастей на валу значительного влияния на энергоёмкость не оказывает. Наиболее эффективным признано сочетание следующих параметров: частота вращения вала – 15 мин⁻¹, угол наклона лопастей – 60°, шаг установки лопастей – 200 мм. Данные условия обеспечивают минимально возможное время отволаживания (1,4 ч) при приемлемых показателях энергопотребления (15,0 кВт·ч/т), подтверждая эффективность разработанной конструкции устройства для предварительной обработки зерна перед дальнейшими технологическими операциями.

Ключевые слова: устройство, лопасть, отволаживание, зерно, зерновка, энергоёмкость процесса.

Original article

Optimization of structural and operating parameters of a device for grain moistening

Alexander V. Semenov¹, Vasily V. Matyushev², Irina A. Chaplygina³,
Roman S. Pogrebnov⁴

^{1,2,3,4}Krasnoyarsk State Agrarian University, Krasnoyarsk, Russia

¹semenov02101960@gmail.com

²don.matyusheff2015@yandex.ru

³ledum_palustre@mail.ru

⁴romanpogrebnov@mail.ru

Abstract. The article deals with the effect of the structural and operating parameters of a device for grain moistening on the duration and energy intensity of the process. The technology of grain preparation for processing by extrusion was studied, which makes it possible to eliminate the formation of a dust fraction and improve the quality of the finished product. A new design of a grain moisturizing device has been developed and presented. The main purpose of the study was to determine the optimal structural and operating characteristics of the proposed equipment. A laboratory unit for moistening grain was created and tested at the Engineering Center of Krasnoyarsk State Agrarian University. Based on the results of the experiments, key factors and ranges of their changes were identified that significantly affect the operation of the unit. The results of the experimental studies were processed using the Maple software package. It was found that an increase in the shaft rotation frequency and the angle of inclination of the blades shorten the moisturizing time due to an increase in the intensity of grain mixing and an increase in the contact area of the blades with the grains, respectively. It was pointed that the energy intensity of the process was mainly determined by the frequency of rotation of the shaft and the pitch of the blades: an increase in the speed of rotation, as well as a decrease in the pitch of the blades, increased the friction of the working elements against the grain and increased energy costs. At the same time, the angle of the blades on the shaft had no significant effect on energy consumption. The combination of the following parameters was considered the most effective: shaft rotation speed – 15 min⁻¹, blade tilt angle – 60°, blade installation pitch – 200 mm. These conditions ensure the minimum possible moistening time (1.4 hours) with acceptable energy consumption (15.0 kWh/t), confirming the efficiency of the developed design of the device for grain pretreatment before further technological operations.

Keywords: device, blade, moistening, grain, grain kernel, energy intensity of the process.

Введение. Эффективность отраслей животноводства и птицеводства зависит от сбалансированности кормовых рационов и обеспеченности всеми необходимыми питательными веществами. Полноценное кормление животных и птицы является основным условием их высокой продуктивности и требует разработки технологий, которые позволят производить качественные корма [1, 2, 3].

Одним из неотъемлемых ингредиентов кормов является зерно злаковых и бобовых культур. Несбалансированность рациона не только не способствует продуктивности животных, но и увеличивает

расход кормов на единицу продукции [4]. Технологии подготовки кормов к скармливанию должны быть направлены на максимальное усвоение энергии корма организмом животных [5]. Эффективное использование зернового сырья для повышения его усвояемости требует разрушения его оболочки и эндосперма. Для этого применяют различные технологии: измельчение, плющение, экструдирование, проращивание и другое [6, 7]. Самое большое распространение получила технология измельчения зерна перед скармливанием по причине конструктивной простоты измельчающих устройств [8]. Одна-

ко, данная технология имеет и существенные недостатки – трудность получения конечного продукта одинакового гранулометрического состава и образование пылевидной фракции. Вместе с тем, нормативные документы и результаты научных исследований говорят о том, что в полученном продукте не должно быть недоизмельченных зерен и мучнистой фракции, оказывающей негативное влияние на усвояемость корма, пищеварительную систему и органы дыхания животных и птицы. Для устранения данного недостатка измельчители необходимо оснащать сепарирующими устройствами или производить их модернизацию [9, 10, 11, 12]. В ряде стран для снижения пылевидной фракции в готовом продукте производят предварительное увлажнение зерна паром перед его измельчением [13].

Другим способом подготовки зерна к скармливанию является его экструдирование, которое полностью исключает образование пылевидной фракции. Кроме того, экструдированный корм имеет улучшенную структуру для восприятия пищеварительной системой и повышает процент усвояемости питательных веществ [14]. Для получения качественного экструдата необходимо исходное зерно привести к оптимальной влажности. Исследованиями доказано, что оптимальная влажность зерна в процессе экструдирования должна составлять 14–15% [15].

В настоящее время одним из распространенных способов придания зерновкам необходимых технологических свойств по влажности является увлажнение в бункерах [16, 17, 18]. Как показывает производственный опыт, во время увлажнения не всегда удается добиться равномерного смачивания зерновок по высоте бункера. Поэтому создание и внедрение в производство высокоэффективных ресурсосберегающих технологических устройств для приготовления кормов является актуальной задачей [19, 20].

Целью исследования является определение оптимальных конструктивно-

режимных параметров устройства для отволаживания зерна.

Задача исследования: определить влияние конструктивно-режимных параметров устройства на продолжительность отволаживания зерна и энергоемкость процесса.

Объектом исследования является технологический процесс отволаживания зерна на разработанном и запатентованном Красноярским ГАУ устройстве [21].

Для определения оптимальных конструктивно-режимных параметров устройства в Инжиниринговом центре Красноярского ГАУ была разработана и изготовлена лабораторная установка для отволаживания зерна.

На рисунке 1 представлен общий вид и конструктивно-технологическая схема работы устройства для отволаживания зерна.

Принцип работы устройства заключается в следующем. Исходное зерно загружается в приемный бункер 1, из которого оно поступает в корпус установки 4, регулировка заполняемости корпуса осуществляется с помощью заслонки 7, расположенной в выгрузном патрубке 6. Расчетное количество воды для отволаживания подается через форсунки 2. Шаг установки (ℓ) лопастей 10 на валу 11 изменяется путем их установки в соответствующие отверстия вала 8.

Угол наклона лопастей (α) относительно вала меняется путем их поворота в отверстия вала и фиксации с помощью гайки 9. Привод вала осуществляется с помощью мотор-редуктора через приводную звездочку 5. Обороты вала (ω) изменяются путем изменения оборотов мотор-редуктора посредством преобразователя частоты электрического тока. Для визуального контроля за движением зерна внутри корпуса во время работы установки предусмотрено смотровое окно 3. Влажность зерна определяется с помощью экспресс-влагомера. Энергоемкость процесса отволаживания определялась измерительным комплектом К-50.

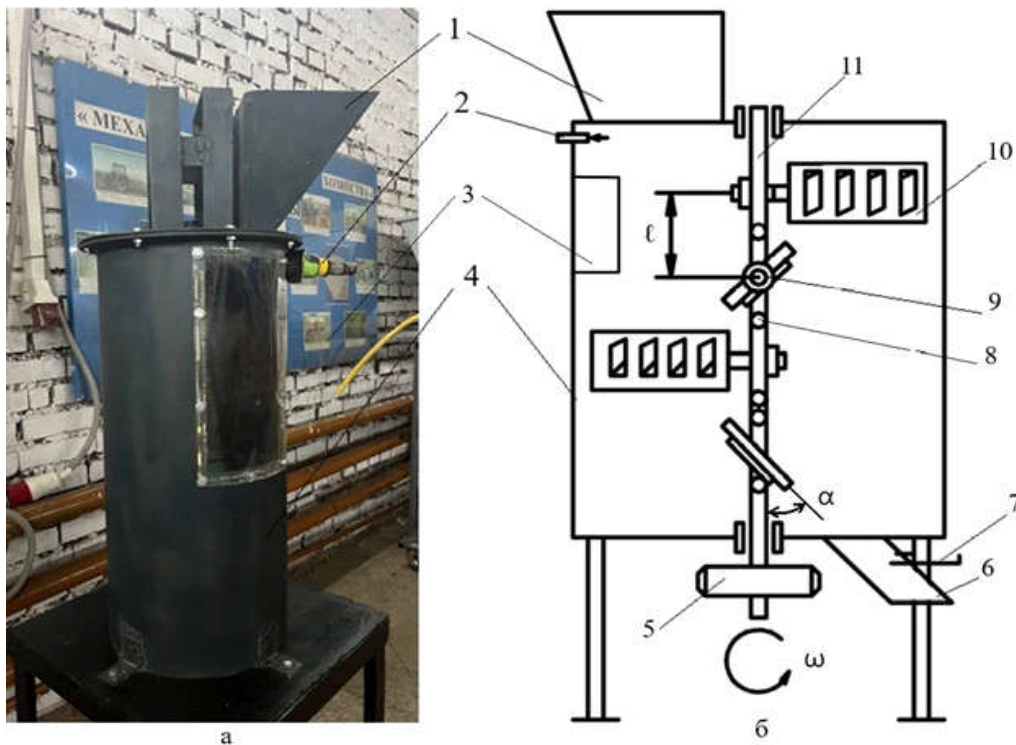


Рисунок 1. Общий вид (а) и конструктивно-технологическая схема (б) лабораторной установки для отволаживания зерна

Зерно, увлажненное водой в увлажнителе, поступает в отволаживатель, где перемещается вниз под действием сил гравитации от центра отволаживателя к корпусу и обратно при помощи вращающихся лопастей, зерновки совершают зигзагообразное движение. Попадая в зону работы разгрузочной лопасти 10, отволаженное зерно направляется в выгрузной патрубков 6. Повышение качества отволаживания достигается за счет интенсивного перемешивания зерна.

Результаты исследований и обсуждение. В ходе проведенных однофакторных экспериментальных исследований были определены ключевые факторы и диапазоны их варьирования, оказывающие наибольшее влияние на качественные показатели работы установки [22], которые оценивались временем отволаживания зерна τ (ч) и энергоемкостью процесса отволаживания E (кВт*ч/т). Факторы, их значения и результаты экспериментов представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Факторы, их значения и результаты экспериментов

№	Факторы и их значения						Критерии оптимизации	
	Обороты вала отволаживателя ω , мин ⁻¹		Угол наклона лопастей, относительно вала отволаживателя, α °		Шаг установки лопастей на валу отволаживателя l , мм		Время отволаживания зерна τ , ч	Энергоемкость процесса отволаживания E , кВт*ч/т
1	-	5	-	30	-	100	3,32	3,20
2	+	15	-	30	-	100	2,81	14,60
3	0	10	-	30	-	100	2,93	9,0
4	-	5	+	60	-	100	2,74	3,42
5	+	15	+	60	-	100	1,42	15,0
6	0	10	+	60	-	100	1,71	9,31
7	-	5	0	45	-	100	2,70	3,34

8	+	15	0	45	-	100	1,63	14,71
9	0	10	0	45	-	100	1,91	9,12
10	-	5	-	30	0	200	2,82	3,34
11	+	15	-	30	0	200	2,11	14,72
12	0	10	-	30	0	200	3,34	9,13
13	-	5	+	60	0	200	2,61	3,24
14	+	15	+	60	0	200	1,53	14,74
15	0	10	+	60	0	200	1,50	9,12
16	-	5	0	45	0	200	2,84	3,21
17	+	15	0	45	0	200	1,45	14,20
18	0	10	0	45	0	200	1,86	8,71
19	-	5	-	30	+	300	2,82	3,46
20	+	15	-	30	+	300	2,73	15,0
21	0	10	-	30	+	300	3,12	9,24
22	-	5	+	60	+	300	2,83	3,09
23	+	15	+	60	+	300	1,35	14,10
24	0	10	+	60	+	300	1,65	9,03
25	-	5	0	45	+	300	2,90	2,71
26	+	15	0	45	+	300	1,65	13,82
27	0	10	0	45	+	300	1,75	8,34

В соответствии с матрицей планирования эксперимента устанавливались необходимые режимы работы установки. Опыты проводились в трехкратной повторности. Полученные значения экспериментальных исследований обрабатывались с помощью математической программы Maple. В результате получены регрессионные уравнения и графики поверхности отклика, отражающие влияние факторов ω , α и ℓ на критерии оптимизации τ и E .

Регрессионные модели зависимости τ от ω и α представлены уравнением (1), τ от ω и ℓ (2), τ от α и ℓ (3).

$$\tau = 4,7296 - 0,099\omega - 0,032074 \alpha \quad (1)$$

$$\tau = 3,3274 - 0,099\omega - 0,00020556 \ell \quad (2)$$

$$\tau = 3,7819 - 0,032074\alpha - 0,00020556 \ell \quad (3)$$

На рисунке 2 приведены поверхности отклика τ относительно переменных ω , ℓ и α .

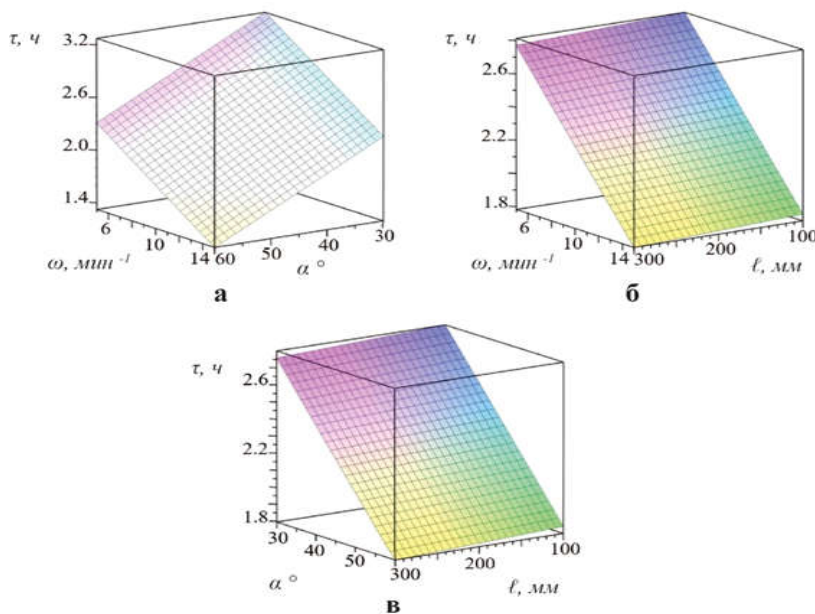


Рисунок 2. Поверхности откликов зависимостей: а – $\tau(\omega, \alpha)$; б – $\tau(\omega, \ell)$; в – $\tau(\alpha, \ell)$

Анализ регрессионных уравнений 1, 2, 3 и поверхностей откликов (рисунки 2а, 2б, 2в) позволяет заключить, что увеличение частоты оборотов вала (ω) и угла наклона лопастей (α) способствует уменьшению времени отволаживания зерна вследствие повышения интенсивности перемешивания зерна, а также большей площади воздействия лопастей на зерновки.

Зависимости E от ω и α представле-

ны в виде уравнений регрессии (4), E от ω и ℓ (5), E от α и ℓ (6).

$$E = -2.2911 + 1.1320 \omega - 0.0023704 \alpha \quad (4)$$

$$E = -2.0744 + 1.1320 \omega - 0.0016167 \ell \quad (5)$$

$$E = 9.3522 - 0.0016167 \ell - 0.0023704 \alpha \quad (6)$$

Графическое представление поверхностей отклика E от переменных ω , ℓ и α представлено на рисунке 3 (а, б, в).

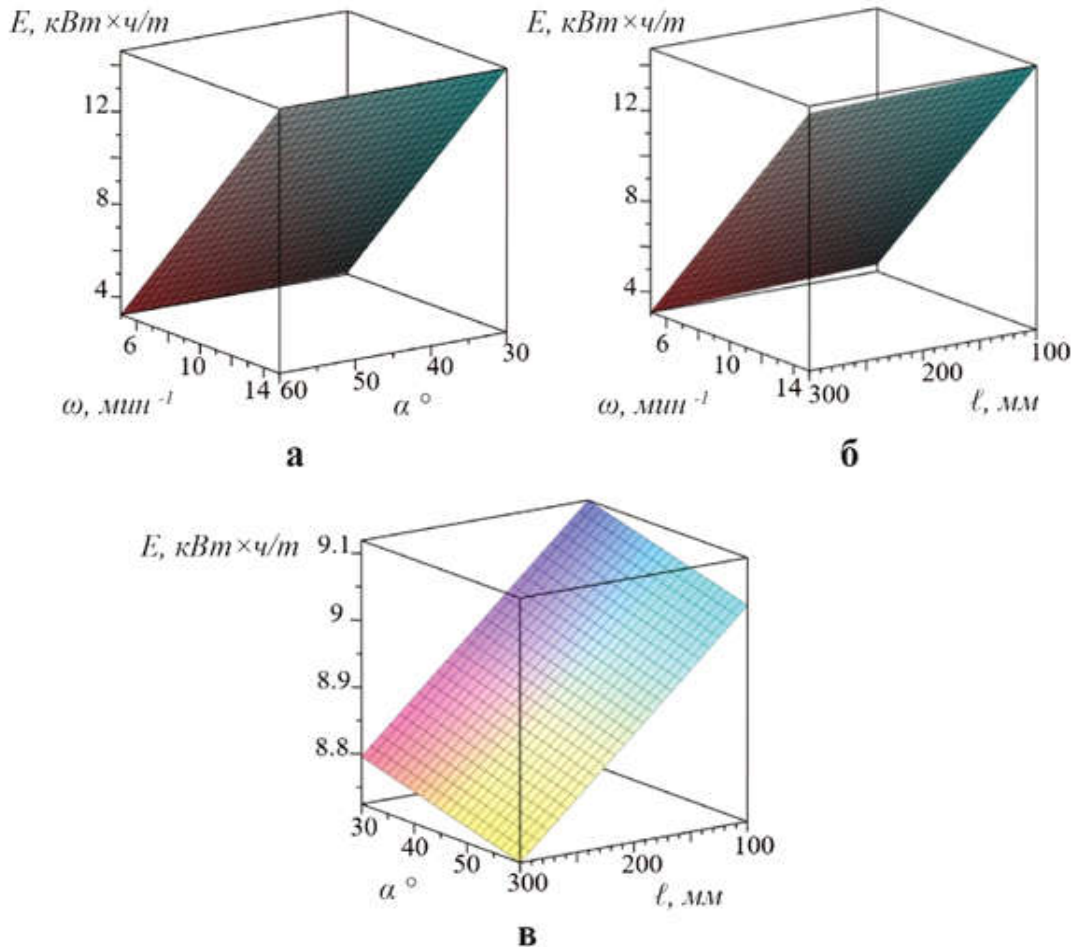


Рисунок 3. Поверхности откликов зависимостей: а – E от ω и α ; б – E от ω и ℓ ; в – E от α и ℓ

Анализ уравнений регрессии (4, 5, 6) и соответствующих им графических зависимостей поверхностей откликов (3а, 3б, 3в) показывает, что основными факторами, оказывающими влияние на энергоёмкость процесса, являются частота оборотов вала отволаживателя (ω) и шаг установки лопастей на валу (ℓ). Увеличение скорости вращения вала и уменьшение шага установки лопастей приводят к росту силы трения рабочих органов о слой

зерна. Также отмечено, что угол установки лопастей α на валу практически не оказывает влияния на величину потребляемой энергии.

Заключение. Были выявлены следующие диапазоны изменения продолжительности и энергоёмкости процесса отволаживания. Минимальное время отволаживания составило 1,35 ч при скорости вращения вала 15 мин⁻¹, угле наклона лопастей 60° и расстоянии между ними

300 мм. Максимальное значение – 3,34 ч отмечено при частоте вращения вала 10 мин⁻¹, угле наклона лопастей 30° и шаге установки лопастей 200 мм. Энергоемкость варьировала от минимальной величины 2,71 кВт·ч/т при оборотах вала 5 мин⁻¹, угле наклона лопастей 45° и установке лопастей на расстоянии 300 мм до максимальной – 15 кВт·ч/т при скоростях вращения вала 15 мин⁻¹, угле наклона лопастей 60° и расположении лопастей с шагом 100 мм.

Таким образом решалась компромиссная задача, направленная на обеспечение оптимального баланса между

временем и энергоемкостью отволаживания. Проведенные исследования позволили установить оптимальные конструктивно-режимные параметры устройства для отволаживания зерна: обороты вала 5 мин⁻¹, угол наклона лопастей 60° и шаг установки лопастей 200 мм. При данных параметрах время отволаживания составляет 2,61 ч, а энергоемкость процесса отволаживания – 3,24 кВт·ч/т.

Использование запатентованного устройства для отволаживания зерна позволит снизить затраты на подготовку сырья при производстве кормов для животноводства и птицеводства.

Список источников

1. Сабиев У.К., Есмаганбетов Е.С. Смеситель-увлажнитель гравитационного действия // Вестник Омского ГАУ. 2024. № 3 (55). С.144-150. EDN: FPWDKZ
2. Некоторые показатели мясной продуктивности кур-несушек на ОАО "Улан-Удэнская птицефабрика" / М.Р. Башкуева, В.А. Ачитуев, А.Д. Манханов, Т.П. Иринчинова // Вестник Бурятской государственной сельскохозяйственной академии имени В.Р. Филиппова. 2022. № 4 (69). С. 48-54. DOI: 10.34655/bgsha.2022.69.4.006. EDN: BСНУМО
3. Малявко И.В., Малявко В.А. Усвоение кальция дойными коровами в первые сто дней лактации при их повышенном уровне кормления в предотельный период // Вестник Бурятской государственной сельскохозяйственной академии имени В.Р. Филиппова. 2021. № 2 (63). С.145-149. DOI: 10.34655/bgsha.2021.63.2.021. EDN: ОТСТАО
4. Сабиев У.К., Сергеев Н.С. Универсальный измельчитель для сельскохозяйственного производства // Вестник Омского ГАУ. 2019. № 4. С.168-175. EDN: OGDJMZ
5. Савиных П.А., Исупов А.Ю., Киприянов Ф.А. Термическая обработка зерна как способ повышения его усвояемости // Международный технико-экономический журнал. 2021. № 2. С. 31-40. DOI: 10.34286/1995-46-46-2021-77-2-21-40. EDN: PDFHOC
6. Обоснование направления совершенствования конструкции дробилок зерна / В.Е. Чуйков, В.В. Коновалов, Н.В. Донцова, С.С. Петрова // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. 2023. № 3. С. 45-55. DOI: 10.55170/19973225_2023_8_3_45. EDN: WKAMGI
7. Расчет конструктивных параметров ножей для измельчения пророщенного зерна / С.В. Вендин, В.А. Самсонов, Ю.В. Саенко, М.А. Семерина // Вестник аграрной науки Дона. 2020. №1 (49). С. 59-65. EDN: СКСКDC
8. Сабиев У.К., Садов В.В. Показатели эффективности измельчителей фуражного зерна // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2021. № 6 (200). С. 93-99. EDN: BSZFPO
9. Федоренко И.Я. Методологические аспекты экспериментальной оптимизации процесса измельчения кормового зерна // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2021. № 5 (199). С.101-107. EDN: ХСТРАV
10. Ширококов В.И., Федоров О.С., Ипатов А.Г. Анализ качества измельченного зерна при использовании дробилок открытого и закрытого типов // Вестник Ижевской государственной сельскохозяйственной академии. 2019. № 2 (58). С. 68-69.
11. Булатов С.Ю., Негаев В.Н., Сергеев А.Г., Шлыков А.Е. Оценка показателей работы модернизированной молотковой дробилки зерна ДКР-1 в режиме дозированной подачи материала // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2024. №12 (242). С.72-77. DOI: 10.53083/1996-4277-2024-242-12-72-77. EDN: JAUOAC
12. Камышов Ю.Н., Ситников А.А., Баумтрог В.Э. Оптимизация режимных параметров измельчения зернового материала на примере малогабаритной установки для приготовления жидких кормов // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2024. № 8 (238). С. 87-93. DOI: 10.53083/1996-4277-2024-238-8-87-93. EDN: DEETBN
13. Обоснование конструктивных и технологических параметров рабочего органа фрезерного измельчителя зерна / А.В. Алешкин, С.Ю. Булатов, В.Н. Нечаев, С.Л. Низовцев // Инженерные технологии и системы. 2023. Т. 33. №1. С. 37-51. DOI: 10.15507/2658-4123.033.202301.037-051. EDN: VJAXEG

14. Результаты экспериментальных исследований экструдирования кормов, содержащих зерно пшеницы и биомассу личинок черной львинки / В.И. Пахомов, С.В. Брагинец, О.Н. Бахчевников и др. // *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2020. № 21 (1). С. 28-42. DOI: 10.30766/2072-9081.2020.21.1.28-42. EDN: YFQWQU
15. Исследование влияния влажности зерна на процесс экструзии и качество готовой продукции / В.В. Матюшев, А.В. Семенов, И.А. Чаплыгина, А.С. Миржигот, Р.С. Погребнов // *Вестник КрасГАУ*. 2022. № 7. С. 228-234. DOI: 10.36718/1819-4036-2022-7-228-234. EDN: VIPLXQ
16. Бузоверов С.Ю., Балабов А.А. Разработка бункера для отволаживания зерна в процессе его гидротермической обработки // *Вестник Алтайского государственного аграрного университета*. 2018. № 2 (160). С. 181-185. EDN: VXDACT
17. Бузоверов С.Ю. Повышение эффективности увлажнения зерна перед помолом путем модернизации бункера отволаживателя // *Современные технологии сельскохозяйственного производства в мировой экономике*. XVII Международная научно-практическая конференция. Москва, 2018. С. 316-321. EDN: ZGQPTR
18. Бузоверов С.Ю. Разработка устройства для увлажнения и отволаживания зерна пшеницы // *Вестник Алтайского государственного аграрного университета*. 2019. № 2 (172). С. 161-167. EDN: AKEMQR
19. Исупов А.Ю., Иванов И.И., Плотникова Ю.А., Сухопаров А.И. Исследование показателей работы роторно-центробежного измельчителя // *АгроЭкоИнженерия*. 2021. № 3 (108). С. 90-99. DOI: 10.24412/2713-2641-2021-3108-90-99. EDN: TYAVLX
20. Theoretical description of the motion of a material particle in pan vibrating batchers for agricultural purposes / U.K. Sabiev, A.S. Soyunov, V.V Myalo [et al.] // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. Series "International Conference on World Technological Trends in Agribusiness, WTTA 2021", 2-22. P. 012067.
21. Патент на полезную модель №201660 U1 Российская Федерация, МПК В02В 1/04, В02В 1/06. Устройство для переработки зерна; №2020114261; заявл. 07.04.2020; опубл. 28.12.2020 / В.В. Матюшев, А.В. Семенов, И.А. Чаплыгина, А.С. Миржигот, Н.В. Мяснов; заявитель ФГБОУ "Красноярский ГАУ".
22. Исследование режимов работы установки для отволаживания зерна / В.В. Матюшев, А.С. Миржигот, А.В. Семенов, И.А. Чаплыгина // *Вестник КрасГАУ*. 2022. №12. С. 297-303. DOI: 10.36718/1819-4036-2022-12297-303. EDN: AQCQGU

References

- Sabiyev U.K., Esmanganbetov E.S. Gravity mixer humidifier. *Vestnik of Omsk SAU*. 2024;3(55):144-150 (In Russ.)
- Bashkueva M.R., Achituev V.A., Mankhanov A.D., Irinchina T.P. Some indicators of meat productivity of laying hens at OJSC "Ulan-Udй poultry farm". *Vestnik of Buryat State Academy of Agriculture named after V.R. Philippov*. 2022;4 (69):48-54 (In Russ.). DOI: 10.34655/bgsha.2022.69.4.006
- Malyavko I.V., Malyavko V.A. Calcium absorption by dairy cows in the first 100 days of lactation with their increased level of feeding in period before calving. *Vestnik of Buryat State Academy of Agriculture named after V.R. Philippov*. 2021;2(63):145-149 (In Russ.). DOI: 10.34655/bgsha.2021.63.2.021
- Sabiyev U.K., Sergeev N.S. Universal grinder for agricultural production. *Vestnik of Omsk SAU*. 2019;4:168-175 (In Russ.)
- Savinykh P.A., Isupov A.Yu., Kipriyanov F.A. Thermal treatment of grain as a way to increase its digestibility. *International Technical and Economic Journal*. 2021;2:31-40 (In Russ.). DOI: 10.34286/1995-46-46-2021-77-2-21-40
- Chuykov V.E., Konovalov V.V., Dontsova N.V., Petrova S.S. Justification of the improving direction design of grain crushers. *Bulletin Samara state agricultural academy*. 2023;3:45-55 (In Russ.). DOI: 10.55170/19973225_2023_8_3_45
- Vendin S.V., Samsanov V.A., Saenko Yu.V., Semerina M.A. Calculation of structural parameters of knives for grinding germinated grains. *Don agrarian science bulletin*. 2020;1(49):59-65 (In Russ.)
- Sabiyev U.K., Sadov V.V. Performance indicators of feed grain crushers // *Bulletin of Altai State Agrarian University*. 2021;6(200):93-99 (In Russ.)
- Fedorenko I.Ya. Methodological aspects of experimental optimization of the process of crushing fodder grain. *Bulletin of Altai State Agrarian University*. 2021;5(199):101-107 (In Russ.)
- Shirobokov V.I., Fyodorov O.S., Ipatov A.G. Analysis of quality of crushed grain when using open-type and closed-type crushers. *Bulletin of Izhevsk State Agricultural Academy*. 2019;2(58):68-69 (In Russ.)
- Bulatov S.Yu., Negaev V.N., Sergeev A.G., Shlykov A.E. Evaluation of performance indicators of modernized hammer mill DKR-1 under metered material supply mode. *Bulletin of Altai State Agrarian University*. 2024;12(242):72-77. DOI: 10.53083/1996-4277-2024-242-12-72-77.
- Kamyshov Y.N., Sitnikov A.A., Baumtrog W.E. Optimization of operational parameters of grain grinding on an example of compact installation for preparation of liquid feeds. *Bulletin of Altai State Agrarian University*.

2024;8(238):87-93. DOI: 10.53083/1996-4277-2024-238-8-87-93 (In Russ.)

13. Aleshkin A.V., Bulatov S.Yu., Nechaev V.N., Nizovtsev S.L. Influence of suction hole diameter of precision seed machine on the characteristics of feeding corn and sunflower seeds. *Engineering Technologies and Systems*. 2023;Vol.33, No1:37-51. DOI: 10.15507/2658-4123.033.202301.037-051

14. Pakhomov V.I., Braginets S.V., Bahchevnikov O.N. et al. Results of experimental studies of extrusion of animal feed containing wheat grain and black soldier fly larvae biomass. *Agrarian Science of Euro-North-East*. 2020;21(1):28-42 (In Russ.). DOI: 10.30766/2072-9081.2020.21.1.28-42.

15. Matyushev V.V., Semenov A.V., Chaplygina I.A., Mirzhigot A.S., Pogrebnov R.S. Study of influence of moisture content of grain on extrusion process and product quality. *Bulletin KrasSAU*. 2022;7:228-234 (In Russ.). DOI: 10.36718/1819-4036-2022-7-228-234.

16. Buzoverov S.Yu., Balabov A.A. Development of silo for moistening grain during hydrothermal processing. *Bulletin of Altai State Agrarian University*. 2018;2 (160):181-185 (In Russ.)

17. Buzoverov S.Yu. Improving efficiency of grain hydration before milling through modernization of dampener bin. *Modern technologies of agricultural production in global economy*. XVII Int. Sci. and Pract. Conf. 2018. Pp. 316-321 (In Russ.)

18. Buzoverov S.Yu. Design of device for humidifying and conditioning wheat grain. *Bulletin of Altai State Agrarian University*. 2019;2(172):161-167 (In Russ.)

19. Isupov A.Yu., Ivanov I.I., Plotnikova Yu.A., Sukhoparov A.I. Research of rotor-centrifugal crusher performance characteristics. *AgroEcoEngineering*. 2021;3 (108):90-99 (In Russ.). DOI: 10.24412/2713-2641-2021-3108-90-99.

20. Sabiyev U.K., Soyunov A.S., Myalo V.V. et al. Theoretical description of the motion of a material particle in pan vibrating batchers for agricultural purposes. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. Ser. "International Conference on World Technological Trends in Agribusiness, WTTA 2021." Pp. 012067.

21. Utility model patent no. 201660 U1 Russian Federation, IPC B02B 1/04, B02B 1/06. Device for grain processing; Application no. 2020114261; filed April 7, 2020; published December 28, 2020 / V.V. Matyushev, A.V. Semenov, I.A. Chaplygina, A.S. Mirzhigot, N.V. Myasnov; applicant FSBEI "Krasnoyarsk SAU." (In Russ.)

22. Matyushev V.V., Mirzhigot A.S., Semenov A.V., Chaplygina I.A. Investigation of operation modes of grain conditioner unit. *Bulletin KrasSAU*. 2022; 12:297-303 (In Russ.). DOI: 10.36718/1819-4036-2022-12297-303

Сведения об авторах

Александр Викторович Семенов – кандидат технических наук, доцент кафедры «Механизация и технический сервис в АПК», Красноярский государственный аграрный университет;

Василий Викторович Матюшев – доктор технических наук, профессор кафедры «Товароведение и управление качеством продукции АПК», Красноярский государственный аграрный университет;

Ирина Александровна Чаплыгина – кандидат биологических наук, доцент кафедры «Товароведение и управление качеством продукции АПК», Красноярский государственный аграрный университет;

Роман Станиславович Погребнов – студент магистратуры.

About the authors

Aleksander V. Semenov – Candidate of Science (Engineering), Associate Professor, Chair of Mechanization and Technical Service in Agricultural Products, Krasnoyarsk State Agrarian University;

Vasily V. Matyushev – Doctor of Science (Engineering), Professor, Chair of Commodity Science and Quality Management of Agricultural Products, Krasnoyarsk State Agrarian University;

Irina A. Chaplygina – Candidate of Science (Biology), Associate Professor, Chair of Commodity Science and Quality Management of Agricultural Products, Krasnoyarsk State Agrarian University;

Roman S. Pogrebnov – Master's student.

Статья поступила в редакцию 14.01.2026; одобрена после рецензирования 20.02.2026; принята к публикации 24.02.2026.

The article was submitted 14.01.2026; approved after reviewing 20.02.2026; accepted for publication 24.02.2026.