

ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ

УДК 631.363:636.086.5

<https://doi.org/10.26897/2687-1149-2026-4-51-58>**Дробилка пророщенного высушенного зерна:
конструктивные параметры и режимы работы****Ю.В. Саенко^{1✉}, В.Ю. Страхов², К.В. Казаков³**^{1,2,3} Белгородский ГАУ имени В.Я. Горина; п. Майский, Россия¹ yuriy311300@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0003-2750-7090>² strakhov_vy@belgau.ru; <https://orcid.org/0009-0003-7559-3154>³ kazakov_kv@belgau.ru; <https://orcid.org/0000-0001-9907-3936>

Аннотация. Измельченное пророщенное зерно целесообразно использовать в качестве витаминной добавки к кормам. Разработана дробилка пророщенного высушенного зерна с двумя соосно расположенными барабанами. Внешний барабан оснащен молотками, а внутренний – ножами. Исследования проведены с целью определения конструктивных параметров дробилки и оптимальных параметров режима ее работы для получения модуля помола зерна 1,2...1,3 мм. Измельченную массу из пророщенных высушенных зерен ячменя и пшеницы просеивали на расसेве У1-ЕРЛ. В результате просеивания массы ячменя получили 90,26% требуемой фракции, 9,6% недоизмельченной фракции и 0,14% потерь. После просеивания пророщенной пшеницы получили 92,19% требуемой фракции, 7,6% недоизмельченной фракции и 0,21% потерь. Полученный состав фракций частиц ячменя достигнут в результате пропускной способности дробилки 510...518 кг/ч; при измельчении пшеницы производительность дробилки достигала 520...535 кг/ч. В результате регрессионного моделирования установлены факторы, влияющие на модуль помола зерна. В частности, для достижения требуемого модуля помола зерна 1,2...1,3 мм необходимо обеспечить: частоту вращения внешнего барабана 2550...2580 мин⁻¹; диаметр внешнего барабана 0,6...0,62 м; толщину молотков 0,002...0,003 м; частоту вращения барабана с ножами 2820...2840 мин⁻¹; расстояние между ножами 0,012...0,014 м; угол заточки ножа 14...15 град. Полученные значения конструктивно-режимных параметров помогут в дальнейшем разработать агрегаты для измельчения неоднородных продуктов путем дробления и резания.

Ключевые слова: дробилка пророщенного высушенного зерна; пророщенное зерно; корм; дробилка; барабан; модуль помола; производительность дробилки; конструктивные параметры; частота вращения барабана

Для цитирования: Саенко Ю.В., Страхов В.Ю., Казаков К.В. Дробилка пророщенного высушенного зерна: конструктивные параметры и режимы работы // *Агроинженерия*. 2026. Т. 28, № 4. С. 51-58. <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2026-4-51-58>

ORIGINAL ARTICLE

Sprouted dried grain crusher: design parameters and operating modes**Yu. V. Saenko^{1✉}, V. Yu. Strakhov², K. V. Kazakov³**^{1,2,3} Belgorod State Agrarian University named after V. Ya. Gorin; Mayskiy, Russia¹ yuriy311300@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0003-2750-7090>² strakhov_vy@belgau.ru; <https://orcid.org/0009-0003-7559-3154>³ kazakov_kv@belgau.ru; <https://orcid.org/0000-0001-9907-3936>

Abstract. The use of crushed sprouted grain as a vitamin-enriched feed supplement is highly advisable. The paper presents the design of a crusher for sprouted dried grain, featuring two coaxially arranged drums: an outer drum equipped with hammers and an inner drum fitted with knives. The study aimed to determine the crusher's optimal design and operational parameters to achieve a grain grinding module within the range of 1.2 to 1.3 mm. Experimental sieving of crushed sprouted dried barley and wheat was conducted using a U1-ERL sieving machine. For barley, the sieving yielded 90.26% of the target fraction, 9.6% of an under-ground fraction, and 0.14% material losses. For sprouted wheat, the corresponding values were 92.19%, 7.6%, and 0.21%, respectively. The desired particle size distribution for barley was attained at a crusher's throughput capacity of 510 to 518 kg/h, while wheat crushing showed a value of 520-535 kg/h. Through regression modeling, key factors affecting the grinding module were identified. To secure the required modulus of 1.2 to 1.3 mm, the following parameters should be maintained: outer drum speed of 2550 to 580 min⁻¹, outer drum diameter of 0.6 to 0.62 m, hammer thickness of 0.002 to 0.003 m,

knife spacing of 0.012 to 0.014 m, and knife sharpening angle of 14 to 15°. The derived design and operational values provide a useful reference for manufacturing units intended for crushing and cutting heterogeneous products.

Keywords: sprouted dried grain crusher; sprouted grain; feed; crusher; drum; grinding module; crusher performance; design parameters; drum speed

For citation: Saenko Yu.V., Strakhov V.Yu., Kazakov K.V. Sprouted dried grain crusher: design parameters and operating modes. *Agricultural Engineering (Moscow)*. 2026;28(4):51-58. (In Russ.). <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2026-4-51-58>

Введение

В современных свиноводческих и птицеводческих комплексах поголовью выдают витаминные добавки к кормам [1]. Перед отечественными производителями кормов стоит задача получения простой дешевой кормовой добавки из отечественного, широко распространенного сырья [2, 3]. Замечено, что зерно при проращивании обогащается питательными веществами, витаминами и ферментами. При проращивании зерна запускаются мощные биохимические процессы. Питательные вещества, находящиеся в составе зерна, расщепляются: в результате химических реакций сложные углеводы превращаются в простые сахара, белки – в аминокислоты, а жиры – в жирные кислоты. Питательные вещества переходят в легкоусвояемую форму [1, 3]. В связи с этим пророщенное зерно целесообразно использовать в качестве витаминной добавки к кормам.

Особенностью пророщенного зерна является высокая влажность (более 50%), поэтому его можно хранить в течение не более 2-3 ч. Чтобы продлить срок хранения пророщенного зерна, его необходимо высушить, а затем измельчить.

Измельчение зерна считается одной из основных технологических операций по подготовке кормов¹, влияющей на усвояемость кормов, привесы животных и в целом на рентабельность отрасли животноводства и птицеводства. При измельчении зерна основная задача заключается в разрушении наружной оболочки и обеспечении доступности питательных веществ для пищеварительных ферментов² животных [4]. Прочная наружная оболочка зерновки препятствует попаданию внутрь пищеварительных ферментов, поэтому часть зерна не переваривается. В соответствии с номами³ размер частиц комбикорма для свиней должен составлять 0,9...1,5 мм.

¹ Мельников С.В. Механизация и автоматизация животноводческих ферм. Л.: Колос, 1978. 560 с.

² Долгов И.А. Уборочные сельскохозяйственные машины (конструкция, теория, расчет). Ростов-на-Дону, 2003. 706 с. EDN: QKVYPX

³ Шейко И.П., Смирнов В.С. Свиноводство. Минск: Новое знание, 2005. 384 с. EDN: CZCIWQ

Цель исследований: определить конструктивные параметры дробилки и установить параметры режима работы для получения модуля помола зерна 1,2...1,3 мм.

Материалы и методы

В экспериментальной дробилке для измельчения пророщенного зерна (рис. 1) используются два вида рабочих органов: молотки и ножи (рис. 2) [5].

На внешнем барабане установлены молотки, а на внутреннем – ножи⁴. Подачу пророщенного



Рис. 1. Дробилка пророщенного высушенного зерна:

- 1 – камера измельчения; 2 – бункер центральный;
- 3 – бункер боковой; 4 – электродвигатель для привода барабана с молотками; 5, 10 – кожух;
- 6 – опора подшипниковая; 7 – остов;
- 8 – рукав для выгрузки; 9 – электродвигатель для привода барабана с ножами; 11 – передача ременная

Fig. 1. Sprouted dried grain crusher:

- 1 – grinding chamber; 2 – central hopper; 3 – side hopper;
- 4 – electric motor for driving a drum with hammers;
- 5, 10 – casing; 6 – bearing support; 7 – frame;
- 8 – discharge sleeve; 9 – electric motor for driving a drum with knives; 11 – belt drive

⁴ Трубилин Е.И. Машины для уборки сельскохозяйственных культур (конструкция, теория, расчет). 2-е изд., перераб. и доп. Краснодар: КГАУ, 2010. 325 с. EDN: VUMACT.

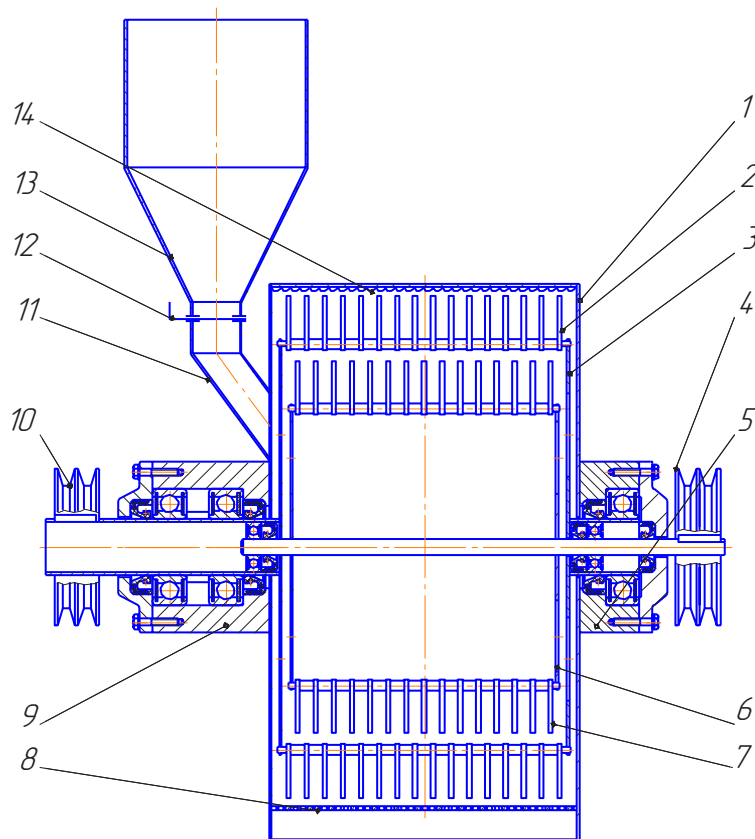


Рис. 2. Камера измельчения:

1 – корпус; 2 – молоток; 3 – барабан внешний; 4 – шкив внутреннего барабана; 5 – подшипниковый узел малый; 6 – барабан внутренний; 7 – нож; 8 – решето; 9 – подшипниковый узел большой; 10 – шкив внешнего барабана; 11 – горловина; 12 – заслонка; 13 – бункер; 14 – дека

Fig. 2. Grinding chamber:

1 – body; 2 – hammer; 3 – external drum; 4 – inner drum pulley; 5 – small bearing assembly; 6 – inner drum; 7 – knife; 8 – sieve; 9 – large bearing assembly; 10 – outer drum pulley; 11 – neck; 12 – flap; 13 – hopper; 14 – deck

зерна осуществляют через боковой бункер 3 в центр камеры измельчения 1 [6, 7].

В центре камеры измельчения масса пророщенного зерна вступает в механический контакт с барабанами 3 и 6. В большей степени масса контактирует с внутренним барабаном 6, на котором установлены ножи 7. В результате такого воздействия происходит отделение зерновки от ростка. При этом зерновке и ростку передается энергия, и они получают одинаковую начальную скорость, но имеют различные физические параметры, в том числе массу. Зерновка обладает большей массой по сравнению с ростком, поэтому имеет большую кинетическую энергию [7, 8]. В то же время зерновка имеет меньшее миделевое сечение по сравнению с ростком. Поэтому за единицу времени способна переместиться дальше от центра камеры измельчения в радиальном направлении. Росток, наоборот, перемещается на меньшее расстояние от центра камеры измельчения в радиальном направлении. Таким образом, получаются два потока, вращающиеся внутри камеры измельчения на разном расстоянии от центра и медленно

движущиеся по направлению к периферии. Измельчение ростков осуществляется ножами, а измельчение зерновок – молотками. После измельчения масса удаляется из камеры измельчения через решето. Предварительно экспериментально определили, что диаметр отверстий решета должен составлять 3 мм.

В качестве функции отклика использовали модуль помола [9, 10]. В результате предварительных экспериментов установлены факторы, влияющие на модуль помола зерна при работе внешнего барабана (табл. 1).

Экспериментально установили факторы, оказывающие влияние на модуль помола зерна при работе внутреннего барабана (табл. 2).

Методика определения крупности частиц. В расसेве У1-ЕРЛ по порядку снизу вверх установили решета с диаметром отверстий 0,5; 1; 1,5; 2; 2,5 мм. Сверху на верхнем решете размещена крышка, не допускающая, чтобы измельченная масса вышла за пределы решет в процессе вибрации. Навеску измельченного в дробилке пророщенного зерна массой 50 г помещали на верхнее решето и включали рассев

Таблица 1

Факторы, оказывающие воздействие на модуль помола пророщенного зерна при работе внешнего барабана

Table 1

Factors affecting the grinding module during the operation of the external drum

Фактор/Обозначение	Уровни варьирования факторов		
	-1	0	+1
Частота вращения барабана с молотками n_M , мин ⁻¹ / X_1	2000	2500	3000
Толщина молотка h_M , м / X_2	0,002	0,003	0,004
Диаметр барабана D_M , м / X_3	0,6	0,65	0,7

Таблица 2

Факторы, влияющие на модуль помола пророщенного зерна при работе внутреннего барабана

Table 2

Factors affecting the grinding module during the operation of the inner drum

Фактор/Обозначение	Уровни варьирования факторов		
	-1	0	+1
Угол заточки лезвия ножа γ_H , град. / X_1	10	20	30
Расстояние между ножами b_H , мм / X_2	7	14	21
Частота вращения барабана с ножами n_H , мин ⁻¹ / X_3	2000	2500	3000

на 12 мин. В процессе вибрации самая мелкая фракция проходит сквозь решета на тарелку 2, наиболее крупная остается на верхнем решете 7, на остальных решетах отсева остаются частицы в зависимости от своего размера (рис. 3). С учетом известной начальной массы навески и массы фракции с каждого решета определяли процентное соотношение каждой фракции и распределение массы по фракциям [8, 11].

Результаты и их обсуждение

В экспериментальной дробилке измельчали пророщенные высушенные зерна ячменя и пшеницы. Результаты просеивания (распределение по решетам) измельченного пророщенного ячменя изображены на рисунке 4, а пророщенной измельченной пшеницы – на рисунке 5.

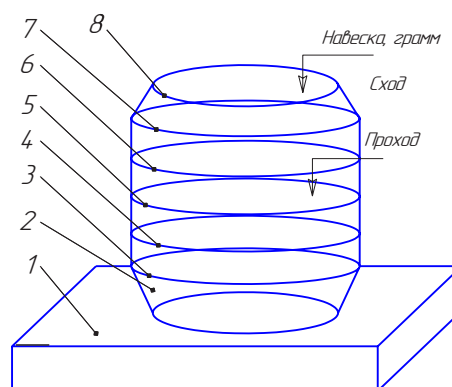


Рис. 3. Схема работы отсева:

1 – платформа; 2 – тарелка;
3, 4, 5, 6, 7 – решето; 8 – крышка

Fig. 3. Sieving operation diagram:

1 – platform; 2 – plate; 3, 4, 5, 6, 7 – sieve; 8 – lid

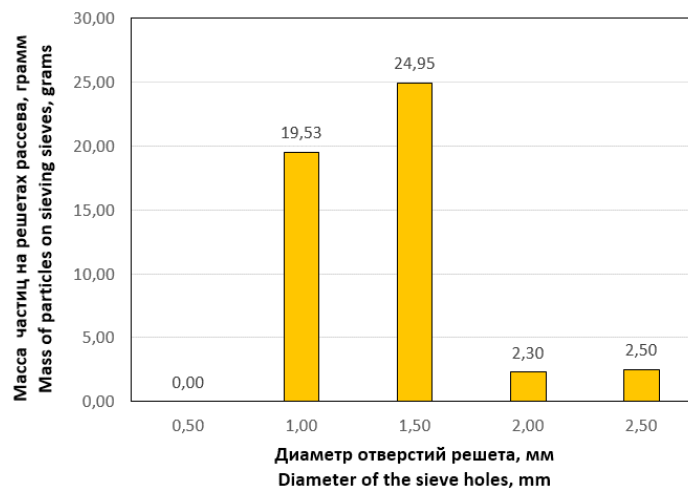


Рис. 4. Результаты просеивания массы измельченного пророщенного ячменя по решетам

Fig. 4. Results of sifting crushed sprouted barley by sieves

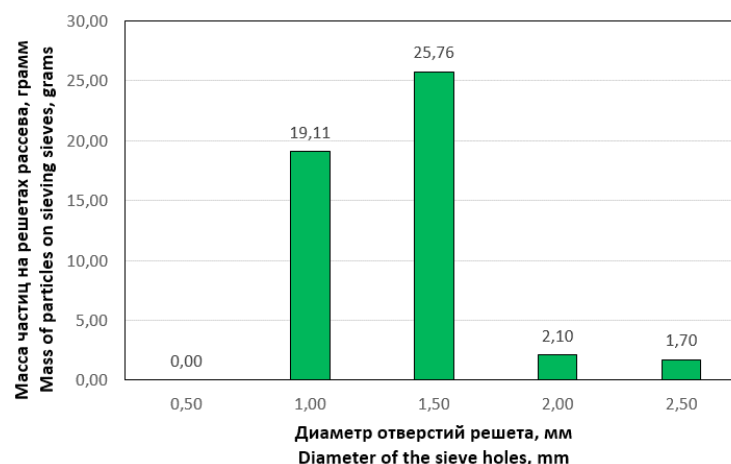


Рис. 5. Результаты просеивания массы измельченной пророщенной пшеницы по решетам

Fig. 5. Results of sifting crushed sprouted wheat by sieves

Анализируя данные рисунка 4, можно отметить, что 19,53 г пророщенного измельченного ячменя оказалось на решете с диаметром отверстий 1 мм, 24,95 г – на решете с диаметром отверстия 1,5 мм, что составило 90,26% от общей массы. Недоизмельченная фракция массой 4,8 г составила 9,6%. Потери составили около 0,14%.

Анализируя данные рисунка 5, отметим, что 19,11 г пророщенной измельченной пшеницы оказалось на решете с диаметром отверстий 1 мм, 25,76 г – на решете с диаметром отверстий 1,5 мм, что составило 92,19% от общей массы. Недоизмельченная фракция массой 3,8 г составила 7,6%, потери – около 0,21%.

В процессе разрушения зерна получают несколько фракций: рекомендуемые размеры, недоизмельченные, переизмельченные и потери. Для оценки конечного размера измельченных частиц руководствовались требованиями к кормам, предъявляемыми зоотехниками. Размер частиц⁵ должен находиться в интервале 0,9...1,5 мм. Содержание полученных фракций в измельченной массе ячменя и пшеницы отражено на рисунке 6.

Показанный на рисунке 6 состав фракций частиц ячменя получен в результате пропускной способности дробилки 510...518 кг/ч; в случае измельчения пшеницы производительность дробилки соответствовала 520...535 кг/ч.

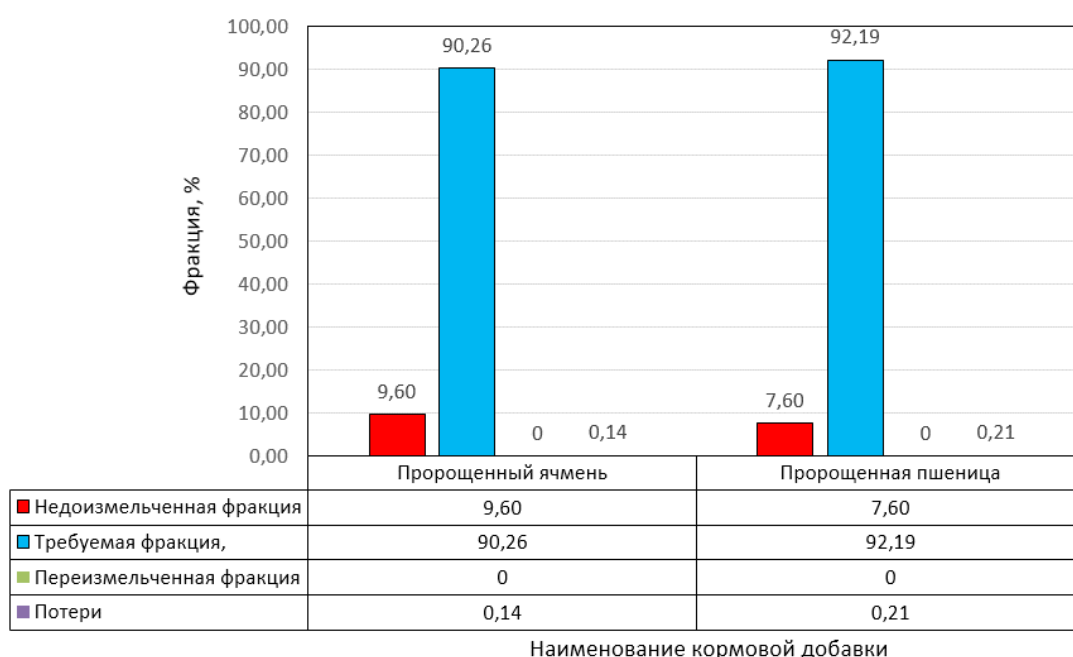


Рис. 6. Результаты просеивания измельченных частиц по фракциям

Fig. 6. Results of sieving the crushed particles into fractions

⁵ Шейко И.П., Смирнов В.С. Свиноводство. Минск: Новое знание, 2005. 384 с. EDN: CZCIWQ.

Конструктивные параметры дробилки определяли с учетом варьирования частоты вращения барабана с молотками (n_M), толщины молотка (h_M) и диаметра барабана (D_M). Получили модель, описывающую связь между указанными факторами, их влиянием на функцию отклика по завершении измельчения барабаном с молотками. Уравнение регрессии с коэффициентом корреляции $R = 87,27\%$ имеет следующий вид:

$$M_{M1} = -18,08 + 0,00069n_M + 9,97h_M + 0,569D_M + 0,0000002n_M^2 - 0,000279n_Mh_M - 0,0000649n_MD_M + 4,759h_M^2 - 0,149h_MD_M - 0,0029D_M^2. \quad (1)$$

Расчетное значение критерия Фишера 8,38 оказалось больше табличного значения 2,95, что подтверждает корректность предложенной модели и достоверность проведенных экспериментов^{6,7}.

Регрессионное моделирование уравнения (1) позволило установить необходимые параметры внешнего барабана для достижения модуля помола 1,2...1,3 мм: частоту вращения внешнего барабана (n_M) 2550...2580 мин⁻¹; диаметр внешнего барабана (D_M) 0,6...0,62 м, толщину молотков (h_M) 0,002...0,003 м.

Зависимость модуля помола зерна с учетом толщины молотков и частоты вращения барабана с молотками представлена на рисунке 7.

Согласно представленной на рисунке 7 зависимости достигнуть необходимый модуль помола 1,2...1,3 мм можно при использовании молотков

толщиной 2...3 мм и вращении внешнего барабана с частотой 2250...2670 мин⁻¹.

Определение конструктивных параметров дробилки выполняли также с учетом варьирования угла заточки лезвия ножа (γ_H), расстояния между ножами (b_H) и частоты вращения ножевого барабана (n_H).

Уравнение регрессии (2) с коэффициентом корреляции $R = 88,52\%$ показывает высокую корреляцию между влиянием отдельных факторов и их совокупным влиянием на функцию отклика:

$$M_{H2} = 1,0769 - 0,000849n_H + 0,0329b_H + 0,099\gamma_H + 0,0000002n_H^2 - 0,00000379\omega_\phi b_H - 0,0000169\omega_\phi \gamma_H - 0,00099b_H^2 - 0,00099b_H\gamma_H - 0,001099\gamma_H^2. \quad (2)$$

При верификации адекватности модели получили $F_p = 9,427 > F_{табл} = 2,95$, что подтверждает корректность предложенной модели и достоверность выполненных исследований.

В результате моделирования уравнения регрессии (2) определили показатели значимых параметров внутреннего барабана для получения модуля помола 1,2...1,3 мм: частота вращения барабана с ножами (n_H) – 2820...2840 мин⁻¹; расстояние между ножами (b_H) – 12...14 мм; угол заточки лезвия ножа (γ_H) соответствовал 14...15 град.

Изменение величины модуля помола в зависимости от частоты вращения барабана с ножами и угла заточки ножа изображено на рисунке 8.

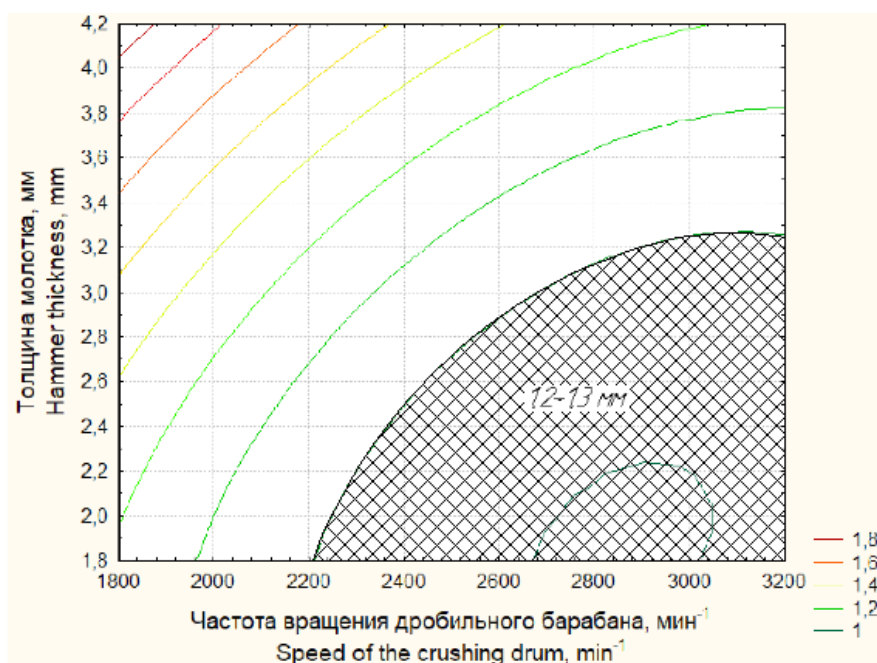


Рис. 7. Зависимость модуля помола зерна с учетом толщины молотков и частоты вращения барабана с молотками
Fig. 7. Relationship between the grain grinding module, the hammer thickness, and the speed of the drum with hammers

⁶ Веденяпин Г.В. Общая методика экспериментальных исследований и обработка опытных данных. М.: Колос, 1976. 159 с.

⁷ Белокопытов В.И. Организация, планирование и обработка результатов эксперимента. Красноярск: Сибирский федеральный университет, 2020. 132 с

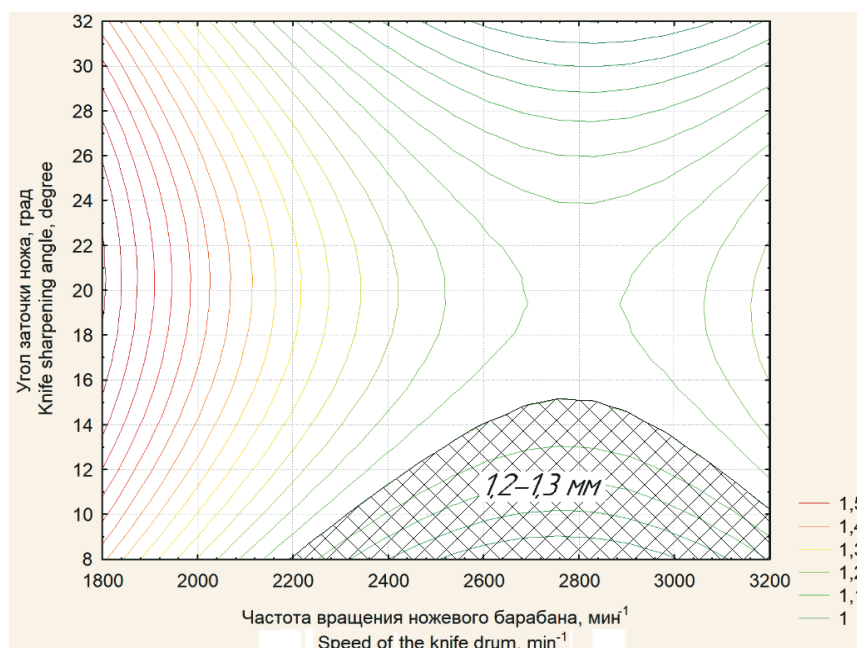


Рис. 8. Поверхность отклика модуля помола пророщенного зерна в зависимости от угла заточки ножа и частоты вращения ножевого барабана

Fig. 8. Response surface of the sprouted grain grinding module as a function of knife sharpening angle and drum speed

Согласно представленной на рисунке 8 зависимости оптимальные условия для достижения необходимого модуля помола 1,2...1,3 мм могут быть получены, если использовать нож с углом заточки лезвия 12...16 град., а частота вращения барабана с ножами составит 2200...3000 мин⁻¹.

Выводы

1. Размещение двух барабанов с ножами и молотками соосно в одной камере измельчения позволило измельчить пророщенное зерно размером 25...30 мм до требуемого размера частиц 1,2...1,3 мм. Такая конструкция позволила сократить габаритные размеры камеры измельчения и исключить затраты энергии на транспортировку измельчаемого продукта от одних рабочих органов до других.

Список источников

1. Мысик А.Т., Походня Г.С., Косов А.В. и др. Влияние скармливания высушенного пророщенного зерна ячменя свинкам на их воспроизводительную функцию // Зоотехния. 2023. № 4. С. 6-9. EDN: AIRBOV
2. Бахарев Г.Ф., Дролова Л.И., Емельянова Л.Н. Исследование процесса суточного проращивания зерна на корм животным // Достижение науки и техники. 2007. № 1. С. 30-31. EDN: IRGIYB
3. Походня Г.С., Вендин С.В., Саенко Ю.В. Апробация применения пророщенного зерна ячменя в рационах свиней // Зоотехния. 2019. № 12. С. 9-13. EDN: ZHFIFE
4. Вольвак С.Ф., Бахарев Д.Н., Вертий А.А., Корчагина Е.Е. Теоретическое обоснование затрат мощности на измельчение стебельчатых кормов измельчителем с шарнирно подвешенными комбинированными ножами // Инновации в АПК: проблемы и перспективы. 2017. № 1. С. 23-32. EDN: WIADHR

2. При измельчении пророщенного ячменя в дробилке производительностью 510...518 кг/ч получили 90,26% требуемой фракции и 9,6% недоизмельченной фракции. Общие потери массы составили 0,14%.

3. При измельчении пророщенной пшеницы в дробилке производительностью 520...535 кг/ч получили 92,19% требуемой фракции и 7,6% недоизмельченной фракции. Общие потери массы составили 0,21%.

4. Для достижения требуемого модуля помола продукта 1,2...1,3 мм необходимо обеспечить частоту вращения внешнего барабана 2550...2580 мин⁻¹, диаметр внешнего барабана 0,6...0,62 м, толщину молотков 0,002...0,003 м; частоту вращения барабана с ножами 2820...2840 мин⁻¹, расстояние между ножами 0,012...0,014 м, угол заточки ножа 14...15 град.

References

1. Mysik A.T., Pokhodnya G.S., Kosov A.V. et al. The effect of feeding dried sprouted barley grain to sows on their reproductive function. *Zootekhnika*. 2023;4:6-9. (In Russ.) <https://doi.org/10.25708/ZT.2023.97.66.002>
2. Bakharev G.F., Drolova L.I., Yemelyanova L.N. Investigation of the process of daily germination of grain for animal feed. *Achievements of Science and Technology*. 2007;1:30-31. (In Russ.)
3. Pokhodnya G.S., Vendin S.V., Saenko Yu.V. Approbation of application of sprouted barley grain in pig diets. *Zootekhnika*. 2019;12:9-13. (In Russ.) <https://doi.org/10.25708/ZT.2019.11.28.003>
4. Volvak S.F., Bakharev D.N., Vertiy A.A. et al. Theoretical basis of costs for power feed grinding stalk shredders is pivotally suspended combined with knives. *Innovations in Agricultural Complex: Problems and Perspectives*. 2017;1:23-32. (In Russ.)
5. Vendin S.V., Saenko Yu.V., Kazakov K.V., Semernina M.A. Grinding plant of sprouted dried grains: Pat. 2692559

5. Дробилка пророщенного высушенного зерна: Патент № 2692559 Российская Федерация C1 МПК B02C13/00, B02C18/00, B02C9/00, B02C23/00, СПК B02C13/00, B02C18/00, B02C9/00, B02C23/00 / С.В. Вендин, Ю.В. Саенко, К.В. Казаков, М.А. Семернина; заявл. 09.10.2018, опубл. 25.06.2019. Бюл. № 18. 13 с. EDN: GEZPWL

6. Вендин С.В., Саенко Ю.В. Разработка средств механизации для измельчения пророщенного зерна на витаминный корм свиньям // Вестник Всероссийского научно-исследовательского института механизации животноводства. 2017. № 3. С. 33-38. EDN: ZMJMFV

7. Саенко Ю.В., Семернина М.А., Страхов В.Ю. Обоснование конструктивных и режимных параметров дробилки с двумя типами рабочих органов // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2025. Т. 18, № 3. С. 38-47. EDN: VICVVT

8. Вендин С.В., Саенко Ю.В. Разработка средств механизации для измельчения пророщенного зерна на витаминный корм свиньям // Вестник Всероссийского научно-исследовательского института механизации животноводства. 2016. № 4. С. 61-66. EDN: WTRMJP

9. Гулевский В.А., Вертий А.А. Математическое моделирование работы измельчителя кормов // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2018. № 3. С. 120-128. EDN: VMNUNQ

10. Гулевский В.А., Вертий А.А. Усовершенствование технологии измельчения грубых стебельчатых кормов измельчителем с шарнирно подвешенными комбинированными ножами // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2019. Т. 12, № 1. С. 73-81. EDN: XSKVXA

11. Искендеров Р.Р., Лебедев А.Т. Молотковые дробилки: достоинства и недостатки // Вестник АПК Ставрополя. 2015. № 1. С. 27-30. EDN: TXGEBB

Информация об авторах

¹ Саенко Юрий Васильевич, д-р техн. наук, доцент, профессор инженерного факультета; yuriy311300@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0003-2750-7090>; SPIN-код: 5264-5448

² Страхов Владимир Юрьевич, канд. техн. наук, старший преподаватель инженерного факультета; strakhov_vy@belgau.ru; <https://orcid.org/0009-0003-7559-3154>; SPIN-код: 4362-2616

³ Казаков Константин Владимирович, канд. техн. наук, доцент, доцент инженерного факультета; kazakov_kv@belgau.ru; <https://orcid.org/0000-0001-9907-3936>; SPIN-код: 2187-5543

^{1,2,3} Белгородский ГАУ имени В.Я. Горина; 308503, Россия, Белгородская область, Белгородский район, п. Майский, ул. Вавилова, 1

Вклад авторов

Саенко Ю.В. – методология, создание окончательной версии (доработка) рукописи и ее редактирование;

Страхов В.Ю. – создание черновика рукописи, проведение экспериментов, формальный анализ;

Казаков К.В. – визуализация.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов и несут ответственность за плагиат.

Статья поступила 02.03.2026; после рецензирования и доработки 29.06.2026; принята к публикации 03.07.2026

Russian Federation C1 IPC B02C13/00, B02C18/00, B02C9/00, B02C23/00, SEC B02C13/00, B02C18/00, B02C9/00, B02C23/00. No. 2018135786, applied on 09.10.2018, issued on 25.06.2019. (In Russ.)

6. Vendin S.V., Saenko Yu.V. The development of germinated grains grinding mechanization tools for pigs' vitamin feed. *Vestnik vserossiyskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta mekhanizatsii zhivotnovodstva*. 2017;3:33-38. (In Russ.)

7. Saenko Yu.V., Semernina M.A., Strakhov V.Yu. Justification of the design and operating parameters of a fodder grinder with two types of working bodies. *Vestnik of Voronezh State Agrarian University*. 2025;18(3):38-47. (In Russ.) https://doi.org/10.53914/issn2071-2243_2025_3_38

8. Vendin S.V., Saenko Yu.V. Development of mechanization tools for grinding sprouted grain for vitamin feed for pigs. *Vestnik vserossiyskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta mekhanizatsii zhivotnovodstva*. 2016;4:61-66. (In Russ.)

9. Gulevsky V.A., Vertiy A.A. Mathematical modeling of forage cutter operation. *Vestnik of Voronezh State Agrarian University*. 2018;3:120-128. (In Russ.) <https://doi.org/10.17238/issn2071-2243.2018.3.120>

10. Gulevsky V.A., Vertiy A.A. Improvements of technology of rough stalk forage grinding by chopper equipped with free-swinging combined knives. *Vestnik of Voronezh State Agrarian University*. 2019;12(1):73-81. (In Russ.) <https://doi.org/10.17238/issn2071-2243.2019.1.73>

11. Iskenderov R.R., Lebedev A.T. Hammer crushers: advantages and disadvantages. *Agricultural Bulletin of Stavropol Region*. 2015;1:27-30. (In Russ.)

Author Information

Yury V. Saenko¹, DSc (Eng), Associate Professor, Professor of the Faculty of Engineering; yuriy311300@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0003-2750-7090>

Vladimir Yu. Strakhov², CSc (Eng), Senior Lecturer, the Faculty of Engineering; strakhov_vy@belgau.ru; <https://orcid.org/0009-0003-7559-3154>

Konstantin V. Kazakov³, CSc (Eng), Associate Professor, Associate Professor of the Faculty of Engineering; kazakov_kv@belgau.ru; <https://orcid.org/0000-0001-9907-3936>

^{1,2,3} Belgorod State Agrarian University named after V.Ya. Gorin; 308503, Russia, Belgorod Region, Belgorod District, Maysky, Vavilova Str., 1

Author Contribution

Saenko Yu.V. – methodology; writing – review and editing of the manuscript;

Strakhov V.Yu. – writing – original draft; investigation; formal analysis;

Kazakov K.V. – visualization.

Conflict of interests

The authors declare no conflict of interests regarding the publication of this article and are responsible for plagiarism

Received 02.03.2026; Revised 29.06.2026; Accepted 03.07.2026