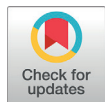


**ТЕХНОЛОГИИ, МАШИНЫ И ОБОРУДОВАНИЕ /
TECHNOLOGIES, MACHINERY AND EQUIPMENT**<https://doi.org/10.15507/2658-4123.035.202504.658-677>EDN: <https://elibrary.ru/fxrkpx>

УДК / UDK 631.362.3:633.1

Оригинальная статья / Original article

**Оценка возможности плющения
микронизированного фуражного зерна**

Ф. А. Киприянов , **П. А. Савиных**
*Федеральный аграрный научный центр
Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого,
г. Киров, Российская Федерация*

 kipriyanovfa@bk.ru*Аннотация*

Введение. Микронизация фуражного зерна, повышая усвояемость корма, приводит к его повышенной хрупкости. Это затрудняет процесс плющения из-за риска переизмельчения материала и определяет актуальность исследований в области оптимизации технологии плющения микронизированного зерна.

Цель исследования. Оценка возможности использования плющения в качестве метода подготовки микронизированного зерна для кормления сельскохозяйственных животных.

Материалы и методы. В качестве объекта исследования было выбрано зерно ячменя и ржи, микронизированное с помощью инфракрасного излучения без предварительного увлажнения. На первом этапе исследования производилось плющение микронизированного зерна без предварительной подготовки. На втором этапе плющению подвергалось увлажненное микронизированное зерно, после чего оценивалась влажность полученной хлопьевидной фракции и проводился рассев на соответствие зоотехническим требованиям.

Результаты исследования. В результате проведенных исследований был установлен оптимальный режим плющения, обеспечивающий формирование хлопьевидной фракции: частота вращения валцов 300 об/мин и зазор между ними 0,7 мм. Оптимальным режимом увлажнения является добавление влаги в микронизированный ячмень до 10 % перед плющением с продолжительностью влагонасыщения в течение 15 мин. Процесс плющения позволил получить продукт следующего состава: мучная фракция – 1,7 %, хлопьевидная – 94 % и фракция, проходящая через сито 2,5 мм – 3,95 %. Толщина плющенных зерновок при этом составила 1,67 мм. Плющение микронизированного зерна ржи на оптимальных режимах позволило получить хлопьевидную фракцию в количестве 89 % при толщине хлопьев 1,36 мм, проходе через отверстие 2,5 мм в количестве 5,16 % при мучной фракции порядка 2 %.

Обсуждение и заключение. Насыщение микронизированного зерна влагой повышает пластичность зерновок, что обеспечивает получение хлопьевидной фракции, выход которой соответствует зооветеринарным требованиям. Использование гладких валцов на плющилке положительным образом сказывается на снижении количества мучной фракции, делая плющение одним из способов подготовки микронизированного фуражного зерна для кормления сельскохозяйственных животных.

© Киприянов Ф. А., Савиных П. А., 2025



Контент доступен по лицензии Creative Commons Attribution 4.0 License.
This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 License.

Ключевые слова: хлопьевидная фракция, мучная фракция, зерно, плющение, насыщение зерна влагой, плющенное зерно

Финансирование: работа выполнялась в рамках программы исследований по теме FNWE-2022-0002 «Создание высокоэффективных машинных технологий и технических средств для механизации растениеводства и животноводства, адаптированных к особенностям климатических условий Северо-Востока Европейской части России» (№ 1021060407719-4), 2022–2024 гг.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Киприянов Ф.А., Савиных П.А. Оценка возможности плющения микронизированного фуражного зерна. *Инженерные технологии и системы.* 2025;35(4):658–677. <https://doi.org/10.15507/2658-4123.035.202504.658-677>

Assessment of the Possibility of Flattening Micronized Feed Grain

F. A. Kipriyanov[✉], P. A. Savinykh
*Federal Agricultural Research Center
of the North-East named N. V. Rudnitsky,
Kirov, Russian Federation*

[✉] kipriyanovfa@bk.ru

Abstract

Introduction. The micronization of feed grain allows improving the digestibility of grain feed. However, flattening micronized grain to feed animals is difficult because of its increased fragility that results in grain overflattening during the flattening process. This problem provides relevance of the study in the field of flattening micronized feed grains used to feed animals.

Aim of the Study. The study is aimed at evaluating the applicability of flattening as a way to prepare micronized grain for feeding agricultural animals.

Materials and Methods. The object of the study was the barley and rye grains micronized with infrared radiation without pre-moistening. On the first stage of the study, the micronized grains were flattened without preliminary moisturizing, on the second stage the moistened micronized grains were flattened and then the prepared flaky fraction moisture was evaluated and the prepared flaky fraction was sifted to verify that it meets the zootechnical requirements.

Results. It has been found that the optimal flattening mode for preparing the flaky fraction is the one when the rotational rate of the rollers is 300 r/min and spacing between the rollers is 0.7 mm. The optimal moisture regime is adding up to 10% of moisture into micronized barley grains before flattening with the moisturizing duration of 15 min. After flattening the amount of floury fraction was about 1.7% when the flaky part was 94% and the fraction passing through a 2.5 mm sieve was 3.95%, the thickness of flattened caryopsides was 1.67 mm. The flattening of micronized rye grains with the use of optimal regimes made it possible to prepare the flaky fraction in the amount of 89% with the flake thickness of 1.36 mm, passing through the sieve passage of 2.5 mm in the amount of 5.16% when the floury fraction was about 2%.

Discussion and Conclusion. Moisturing of micronized grains allows improving the plasticity of caryopsides and provides the receiving of the flaky fraction, the yield of which meets the zoo-veterinary requirements. The usage of smooth rollers for a grain flattener results in the decrease of the floury fraction amount and makes flattening one of the ways to prepare micronized feed grains for feeding of agricultural animals.

Keywords: flaked fraction, floury fraction, grain, flattening, moisturizing, flattened grain

Funding: The work was carried out within the framework of the research program on the topic FNWE-2022-0002 “The creation of highly efficient machine technologies and technical means for mechanization of plant growing and animal breeding, acclimated to conditions of the North-West of the European part of Russia” (No. 1021060407719-4), 2022–2024.

Conflict of interest: The authors declare that there is no conflict of interest.

For citation: Kipriyanov F.A., Savinykh P.A. Assessment of the Possibility of Flattening Micronized Feed Grain. *Engineering Technologies and Systems*. 2025;35(4):658–677. <https://doi.org/10.15507/2658-4123.035.202504.658-677>

ВВЕДЕНИЕ

Эффективность производства молока более чем на 50 % зависит от сбалансированности и энергонасыщенности рациона крупного рогатого скота (КРС). Основная доля энергии, поступающая из корма, как правило, содержится в концентрированных кормах, однако для обеспечения продуктивного долголетия животных доля концентрированных кормов в рационе должна быть ограничена [1]. Соответственно, ограничен и верхний порог энергии, находящейся в концентрированных кормах, что подчеркивает важность исследований, посвященных максимальному усвоению питательных веществ из ограниченного количества корма.

К. Эрхардт с коллегами приходят к выводу, что доля нерасщепленного протеина в рубце высокопродуктивных коров с удоем свыше 30 кг должна находиться на уровне 35–40 %. Задача приготовления концентрированных кормов заключается в замедлении расщепления белка в рубце животных и переводе его усвоения в тонкий кишечник¹. Одним из способов замедления расщепления протеина является его денатурация в результате термической обработки, что, согласно рекомендациям Всероссийского научно-исследовательского института кормов имени В. Р. Вильямса, позволяет увеличить количество нерасщепляемого в рубце сырого протеина в среднем до 40 %². Наряду с денатурацией белка термическая обработка является эффективным решением для повышения ферментативного переваривания крахмала в тонком кишечнике КРС, что позволяет уменьшить количество крахмала, попадающего в толстый кишечник животных [2].

Микронизация выступает одним из способов тепловой обработки зерна, повышающих усвоение концентрированных кормов (обработка зернового материала инфракрасным излучением) [3]. При микронизации происходит увеличение степени усвоения энергии из зерна, денатурация белка и клейстеризация крахмала, что способствует перевариванию крахмала в рубце жвачных животных [2; 4].

Тепловая обработка в целом и микронизация как один из ее видов способствуют увеличению содержания сахара в расчете на абсолютно сухое вещество вплоть до 73,4 г/кг за счет частичного гидролиза крахмала [5].

Цель исследования – оценка эффективности плющения как метода получения микронизированного зерна для кормовых целей в животноводстве.

¹ Эрхардт К., Веаутир Б., Веаутир Г. Кормовые бобы, горох и другое белковое сырье в кормлении КРС. Проект Soft-agro.com [Электронный ресурс]. URL: <https://agro-matik.ru/assets/img/upload/2018/03/30/Gorokh-KRS.pdf> (дата обращения: 15.08.2024).

² Организация полноценного кормления высокопродуктивных коров (рекомендации). М.: ФГУ РЦСК; 2008. 58 с.

Задачи исследования:

- 1) выявить особенности изменения строения и свойств зерновок после микронизации;
- 2) обосновать режимы увлажнения и последующего плющения микронизированного зерна для получения хлопьевидной фракции;
- 3) оценить плющенное микронизированное зерно на соответствие зооветеринарным требованиям.

ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

Одним из эффективных способов, позволяющих увеличить энергетическую ценность концентрированных кормов, является тепловая обработка зерна, где микронизация представляет собой наиболее перспективный вид температурного воздействия [6].

По мнению Н. П. Мишурова микронизация – наиболее эффективный вариант приготовления кормов, так как использование микронизированного зерна в рационе способствует увеличению привеса поросят-отъемышей до 15,3 % при снижении затрат кормов до 12,7 % [7]. Данный способ также обеспечивает эффективное подавление патогенных микроорганизмов в зерне, поскольку максимальная температура для термофильных микроорганизмов составляет порядка 70–80 °С. В свою очередь, ученые института технического обеспечения сельского хозяйства в исследовании, проведенном в области обеззараживания зерна, приводят следующие результаты: при микронизации ячменя с продолжительностью экспозиции 30 с степень обеззараживания поверхностной микрофлоры составляет 99,7 %, при этом глубинная микрофлора уничтожается на 98 % [8]. В ряде работ отмечается положительное влияние микронизации на питательные и антипитательные свойства зернового материала [9; 10].

Влиянию микронизированного корма в рационе на продуктивность животных посвящено значительное количество работ отечественных и зарубежных ученых, в которых фиксируется положительное воздействие его применения. В частности, И. В. Иванова отмечает положительное влияние применения микронизированных кормов на обмен веществ и биохимические показатели крови животных [11].

Включение в состав рациона телят молочного периода цельного зерна стимулирует процессы переваривания питательных веществ [12]. К аналогичному заключению пришел коллектив иностранных ученых, подчеркивающий нецелесообразность измельчения зерна при кормлении молодняка телят [13].

Кормление цельным микронизированным зерном кукурузы показало большую эффективность по сравнению с кормлением измельченным зерном, оказав лучшее влияние на рост мышечной массы и формирование скелета молодняка КРС [14].

Учитывая положительное действие цельного зерна на рост и развитие молодняка, перспективным с энергетической точки зрения может быть скармливание цельного микронизированного зерна молодняку КРС, позволяющее компенсировать энергозатраты растущего организма животного.

Однако преобладающее количество зерна, в том числе и микронизированного, часто требует дополнительной подготовки к скармливанию. Процесс дальнейшего приготовления микронизированного зерна требует более глубокого изучения. Во избежание развития патогенной микрофлоры приготовление зерна должно осуществляться непосредственно перед кормлением животных или максимально близко к нему [15].

Аналогичного взгляда о необходимости использования микронизированного зерна в измельченном или плющеном виде при кормлении сельскохозяйственных животных придерживается ряд зарубежных ученых. Так, С. Х. Эбрахими считает, что только термическая обработка не гарантирует более высокую энергетическую ценность обработанного зерна, поскольку на усвояемость будет влиять форма и размер частиц, поступающих в организм животного [2]. Измельчение – это процесс, который в большинстве случаев следует за микронизацией и воздействует на клейстеризацию крахмала [16]. Зарубежные исследователи указывают на недостаточную представленность в научной литературе сведений, подвергалось ли зерно измельчению или обработке после микронизации [17].

Таким образом, в исследованиях, посвященных микронизации и кормлению микронизированным зерном, необходимо уделить внимание как параметрам нагрева зерна, так и технологии подготовки микронизированного зерна к скармливанию.

Плющенное зерно, величина которого достигает 81–87 %, за счет своей формы обладает более эффективной энергоотдачей по сравнению с дробленным. Это связано с лучшим коэффициентом его усвояемости, обеспечиваемым за счет разрушения зерновой оболочки. При этом средний коэффициент усвояемости дробленого зерна находится на уровне 45 % [14].

Использование сухого плющеного зерна вместо традиционного дробленого позволяет повысить мясную продуктивность бычков на 11,7 %, при этом переваримость питательных веществ и, в частности сухого вещества, возрастает на 1,6 % [18].

Положительного результата по плющению изначально сухого фуражного зерна добился коллектив ученых под руководством В. А. Афанасьева [19]. Исследователи предлагают проводить влагонасыщение зерна, его пропаривание и дальнейшее плющение до уровня 18–20 %, что приведет к увеличению энергоемкости полученных хлопьев, несмотря на очевидное снижение количества мучной фракции [19].

А. А. Курдоглян отмечает, что использование плющеной зерновой смеси при раздое коров в начальный период лактации позволяет повысить продуктивность животных и качество молока [20].

Использование микронизированного зерна для получения хлопьев позволит сочетать положительные свойства микронизации и плющения зерна. А. Н. Остриков предлагает технологию получения микронизированных хлопьев, отмечая при этом улучшение вкусовых качеств зерна и снижение уровня патогенной микрофлоры на 99,5 % [21]. Однако в основе такой технологии лежит тот же длительный процесс подготовки зернового материала для обеспечения его

пластичности, включающий предварительное влагонасыщение и отволаживание, что уменьшает экономическую эффективность кормления полученными хлопьями.

Основной проблемой, препятствующей плющению микронизированного зерна без предварительной подготовки, является изменение в структуре зерновки. Происходит значительное снижение усилия разрушения зерновки [22], что требует корректировки режимов измельчения микронизированного зерна. По мнению С. В. Зверева, при измельчении микронизированного зерна свободным ударом необходимо изменение угловой скорости молотков³.

Существующие технологии получения хлопьев из микронизированного фуражного зерна энергоемки и требуют довольно больших временных затрат [21]. В связи с этим актуальными будут исследования по разработке и апробации технологии получения плющеного микронизированного зерна с минимальной продолжительностью технологического процесса.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Объект исследования

Объектами исследования является фуражное зерно ячменя и ржи, микронизированное с помощью инфракрасного излучения без предварительного увлажнения и процессы его дальнейшего плющения и насыщения влагой для получения хлопьевидной фракции.

Методы и материалы исследования

В процессе проведения исследования применялся комплекс общенаучных методов, включающий анализ литературных источников, моделирование при построении математических моделей изучаемых процессов, метод конкретизации для детального анализа влияния режимов работы вальцовой плющилки на толщину хлопьевидной фракции, метод обобщения для формулирования выводов по результатам проведенного эксперимента.

Микронизация зерна осуществлялась коротковолновым источником инфракрасного излучения типа QNL мощностью 1 500 Вт. После микронизации зерна, нагрев которых ввиду неоднородности теплового поля был недостаточен для внутренних изменений, отделялись на семяочистительной машине СМ 0,15. Для определения толщины хлопьевидной фракции применялся абсолютный метод измерения, согласно которому индикаторная головка часового типа ИЧ-05 0,01 с плоским измерительным наконечником устанавливалась на плоскую поверхность с предварительным натягом 1 мм, после чего указатель шкалы головки приводился в нулевое положение. Для измерения толщины зерновки наконечник отводился от поверхности, под него помещалась зерновка, наконечник отпускался и производилось измерение толщины путем считывания показаний непосредственно со шкалы прибора (рис. 1).

³ Зверев С.В. Высокотемпературная микронизация в производстве зернопродуктов: моногр. М.: ДеЛи принт; 2009. 221 с. <https://elibrary.ru/qnhxob>



Р и с. 1. Прибор измерения толщины хлопьевидной фракции

F i g. 1. Measuring the thickness of flaky fraction

Источник: здесь и далее в статье все фотографии сделаны Ф. А. Киприяновым в ходе проведения экспериментальных исследований.

Source: hereinafter in this article the photos for the figures were made by F. A. Kipriyanov during the experimental studies.

Оборудование и процедура исследований

Для проведения экспериментальных исследования использовалось следующее оборудование: лабораторный рассев У1-ЕРЛ, электронные весы с точностью 0,01 г для измерения массы остатка на ситах лабораторного рассева, плющилка вальцовая с гладкими вальцами $d = 220$ мм, $l = 255$ мм и синхронным приводом с возможностью регулировки частоты вращения вальцов, электронные весы с точностью 1 г для контроля массы увлажняющей жидкости, пульверизатор ручной для увлажнения зерна, влагомер зерна Wile-65, шкаф сушильный электрический, индикаторная головка часового типа ИЧ-05 0,01 с ценой деления 0,01 мм на штативе для измерительных головок Ш-ПВ, программное обеспечение Statgraphics Centurion 18, MS Excel.

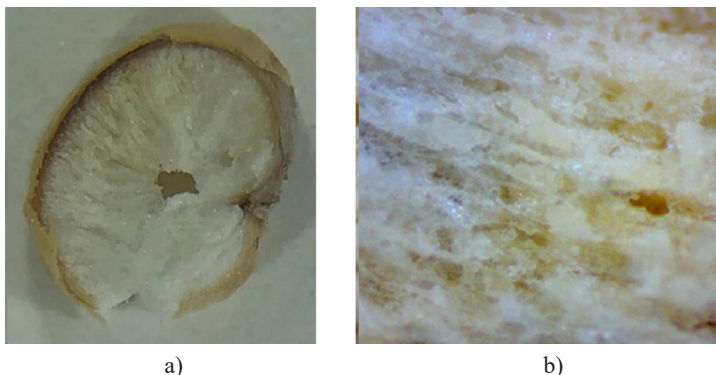
Определение влажности микронизированного зерна проводилось в два этапа: предварительная оценка с помощью влагомера Wile-65, последующее измерение в сушильном электрическом шкафу по ГОСТ 13586.5-2015⁴. Процесс плющения осуществлялся на плющилке с гладкими вальцами с последующим рассевом полученных проб. На первоначальном этапе осуществлялось плющение микронизированного зерна без предварительной подготовки. Основной этап исследований включал в себя плющение предварительно увлажненного микронизированного зерна различной влажности с последующим контролем влажности полученной хлопьевидной фракции и оценкой полученных результатов в соответствии с зоотехническими требованиями.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

На предварительном этапе установлено, что в результате микронизации происходит снижение усилия разрушения зерновки более чем в два раза, сопровождающееся изменением его внутреннего строения [23]. Структурные изменения,

⁴ ГОСТ 13586.5-2015. Зерно. Метод определения влажности. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200124082> (дата обращения: 21.11.2024).

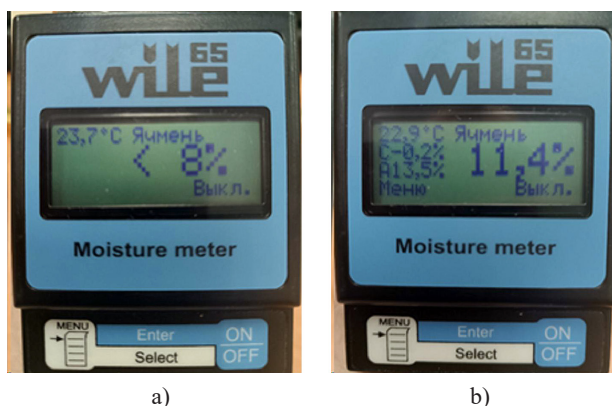
происходящие в зерновке при микронизации с образованием большого количества пустот, и потеря микронизированной зерновкой влаги в результате инфракрасного облучения делают практически невозможным получение хлопьевидной фракции после плющения. Зерновка превращается в пористый хрупкий материал (рис. 2) [23].



Р и с. 2. Внутреннее строение зерновки после микронизации:
а) поперечный разрез; б) проявление капиллярного строения

F i g. 2. Internal structure of caryopsis after the micronization:
a) cross section; b) showing the capillary structure

Для оценки степени влажности зерна до и после процесса микронизации проведено измерение содержания количества влаги в зерне. Первоначальное измерение влажности зерна проводилось с помощью влагомера модели типа Wile-65. Однако прибор оказался нечувствительным к уровню влажности микронизированного зерна (рис. 3а), в то время как влажность немикронизированного зерна была определена на уровне 11,4 % (рис. 3б).

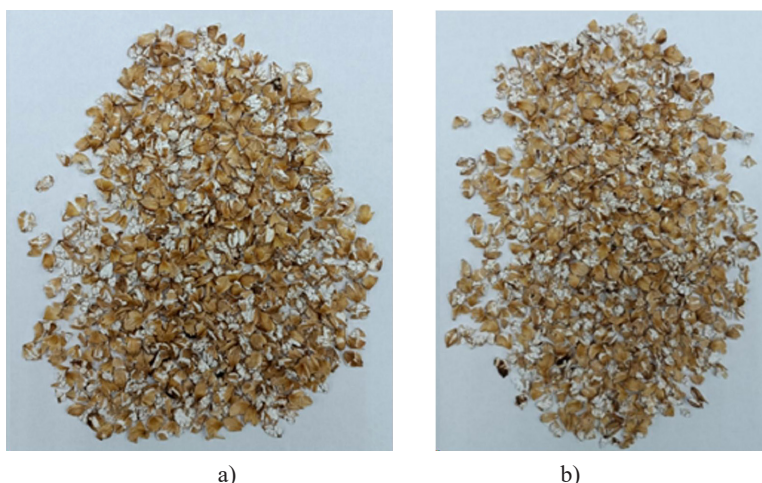


Р и с. 3. Примеры измерения влажности влагомером модели Wile-65:
а) микронизированное зерно; б) немикронизированное зерно

F i g. 3. The examples of measuring moisture with the moisture meter Wile-65:
a) micronized grain; b) non-micronized grain

Измерение влажности в сушильном шкафу позволило получить следующие значения: влажность исходного немикронизированного ячменя составила 10,9 %, в то время как влажность микронизированного зерна – 4,4 %. Таким образом, низкое значение влажности микронизированного зерна (по результатам измерения снижение влажности более чем в два раза) является основной причиной снижения пластичности зерновок, что препятствует их эффективному плющению.

Для повышения эластичности зерновок было принято решение об увлажнении микронизированного зерна. Постепенное добавление жидкости на поверхность зернового материала с последующим перемешиванием для равномерного распределения влаги в зерновках позволило определить минимальное количество жидкости для формирования хлопьевидной фракции при плющении микронизированного зерна. Так, добавление всего 5 % жидкости позволило получить приемлемые результаты по формированию хлопьевидной фракции даже при увеличении числа оборотов вальцов (рис. 4).

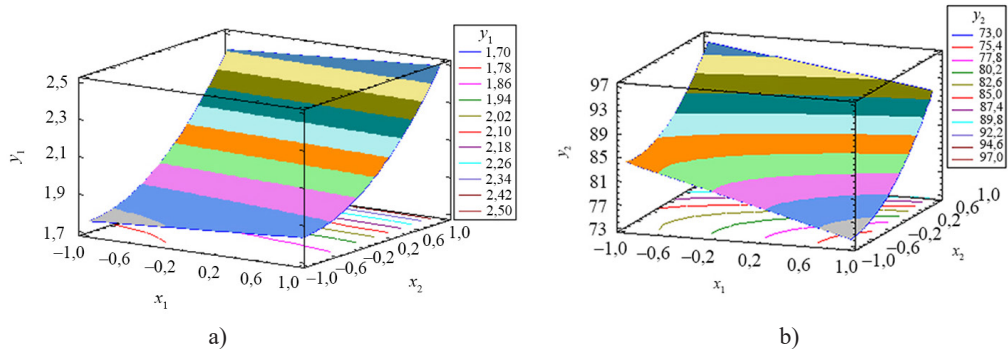


Р и с. 4. Примеры плющеного микронизированного зерна с добавлением 5 % влаги:
а) зазор 1 мм, $n = 300$ об/мин; б) зазор 1 мм, $n = 600$ об/мин

F i g. 4. The samples of flattened grains with addition of 5% moisture:
a) clearance gap 1 mm, $n = 300$ r/min; b) clearance gap 1 mm, $n = 600$ r/min

Следующий этап исследований посвящен поиску режима плющения микронизированного зерна, соответствующего зоотехническим требованиям. Так, для КРС толщина хлопьев после плющения должна находиться в интервале от 1 до 1,8 мм [24; 25]. Для поиска оптимального значения проведен полнофакторный эксперимент, в котором варьируемыми факторами являлись частота вращения вальцов с уровнями варьирования 100, 300 и 500 об/мин, а также зазор между вальцами с уровнями варьирования 0,7, 1,0 и 1,3 мм. Критериями оптимизации приняты: y_1 – толщина плющенных зерновок, мм; y_2 – количество хлопьевидной фракции, % (остаток на сите Ø 4 мм).

По результатам обработки экспериментальных данных получены поверхности отклика (рис. 5) и описывающие их математические модели (1), (2).



Р и с. 5. Графическое представление математических моделей:
а) толщина плющенных зерновок; б) количество хлопьевидной фракции
F i g. 5. Graphical representation of mathematical models:
a) the thickness of flattened caryopsides; б) the amount of flaky fraction

Источник: графики составлены авторами статьи в программе Statgraphics Centurion 18.

Source: the graphics were prepared by the authors of the article in the program Statgraphics Centurion 18.

$$y_1 = 1,97 + 0,04x_1 + 0,34x_2 + 0,16x_2^2; \quad (1)$$

$$y_2 = 82,33 - 3,83x_1 + 7,33x_2 + 1,25x_1x_2 + 4,0x_2^2, \quad (2)$$

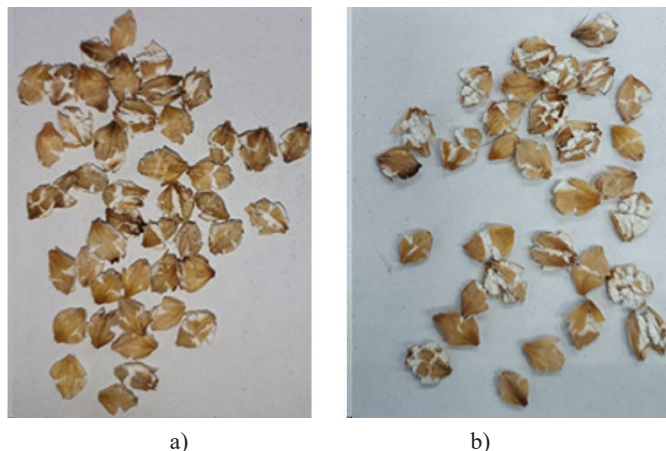
где x_1 – частота вращения валцов, об/мин; x_2 – зазор между валцами, мм; y_1 – толщина плющенных зерновок, мм; y_2 – количество хлопьевидной фракции, %.

Коэффициент детерминации для полученных уравнений: для уравнения (1) $R^2 = 99,4 \%$; для уравнения (2) $R^2 = 99,6 \%$. Можно констатировать, что полученные математические зависимости довольно точно описывают рабочий процесс.

Основным фактором, влияющим на толщину хлопьев и количество хлопьевидной фракции, является зазор между валцами, при увеличении которого толщина хлопьев (1) и количество хлопьевидной фракции (2) будут ожидаемо увеличиваться. Повышение частоты вращения будет приводить к снижению количества хлопьевидной фракции. В связи с этим необходимо подобрать режимы плющения микронизированного зерна, обеспечивающие соответствие зоотехническим требованиям.

Обеспечение толщины хлопьев для кормления КРС будет достигнуто при обработке зернового материала с зазором между валцами 0,7 мм в диапазоне частот вращения валцов от 100 до 500 об/мин. Наиболее оптимальным режимом при этом будет частота вращения валцов 300 об/мин, что при существующих размерах валцов обеспечит линейную скорость в зоне плющения 3,45 м/с, что значительно ниже значений скорости, необходимой для плющения (8–8,5 м/с), полученных другими исследователями [26]. Выход хлопьевидной фракции, по полученной математической модели (2) составит порядка 79 % при количестве мучной фракции 2,1 %. Очевидно, что при увеличении зазора количество хлопьевидной фракции повысится при снижении мучной фракции, однако толщина зерновок превысит оптимальные для кормления КРС значения.

Следует также отметить, что при плющении с зазором 0,7 мм увеличение числа оборотов с 100 до 300 об/мин способствует лучшему раскрытию внутреннего строения зерновки (рис. 6), что стимулирует более полное усвоение питательных веществ в организме животного.



Р и с. 6. Плющенное микронизированное зерно:
а) зазор 0,7 мм, $n = 100$ об/мин; б) зазор 0,7 мм, $n = 300$ об/мин

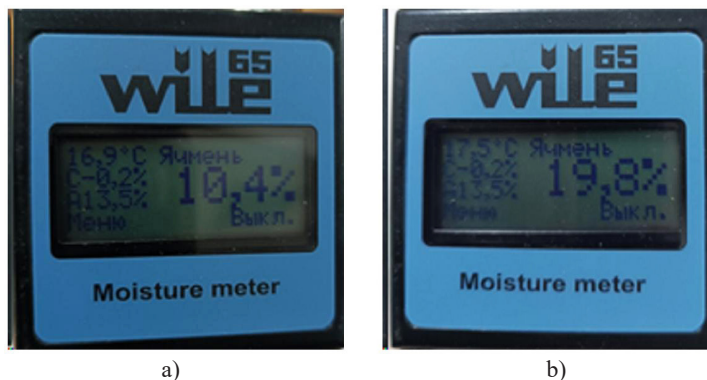
F i g. 6. Flattened micronized grains:
а) clearance gap 0.7 mm, $n = 100$ r/min; б) clearance gap 0.7 mm, $n = 300$ r/min

При экспериментальной проверке оптимального режима плющения зерновок, определенного по математической модели (2) на соответствие толщины зерновок зоотехническим требованиям, установлено, что при плющении микронизированного зерна после добавления 5 % жидкости на гладких вальцах с зазором 0,7 мм и частотой вращения $n = 300$ об/мин толщина хлопьевидной фракции составляет 1,77 мм, что соответствует зоотехническим требованиям по толщине плющенных зерновок для КРС.

В ходе эксперимента по плющению увлажненного микронизированного зерна выявлено, что добавление 5 % жидкости к массе микронизированного зерна для повышения эластичности зерновок существенно не сказалось на влажности хлопьевидной фракции и при измерении влажности образца электронным влагомером не превышает порога чувствительности используемого прибора (влажность на приборе указывалась как $< 8 \%$).

Для определения допустимого увлажнения микронизированного ячменя производилось последовательное, пошаговое увлажнение зерна, добавлялось 10 и 15 % воды от массы увлажняемого зерна. После этого проводилось его плющение, оценивалась влажность хлопьевидной фракции.

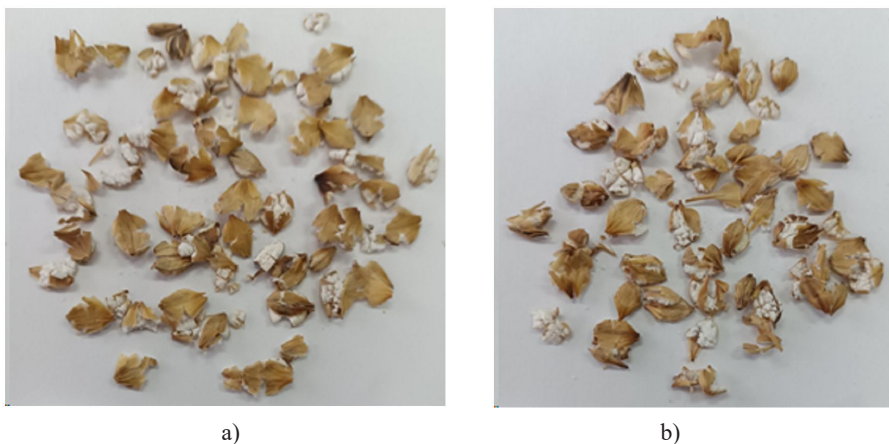
В результате эксперимента установлено, что при добавлении 10 % жидкости к массе микронизированного зерна при проверке влагомером влажность хлопьевидной фракции не превышает допустимого значения, для сухого фуражного зерна (рис. 7 а), тогда как добавление 15 % жидкости приводит к переувлажнению зерна (рис. 7 б).



Р и с. 7. Влажность хлопьевидной фракции после плющения увлажненных хлопьев:
а) 10 %; б) 15 %

F i g. 7. Flaky fraction moisture after flattening of moistened flakes:
а) 10%; б) 15%

По результатам рассева плющеного зерна при добавлении 10 % жидкости количество мучной фракции составило порядка 2 %, при количестве хлопьевидной фракции 90 % (рис. 8 а). Добавление увлажняющей жидкости до 15 % снижает количество мучной фракции в рассеве до 1 % при увеличении хлопьевидной фракции до 93 % (рис. 8 б).

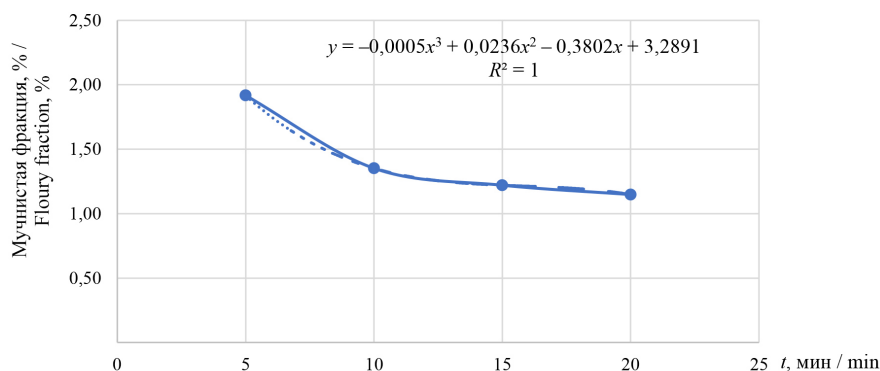


Р и с. 8. Фрагмент хлопьевидной фракции после плющения увлажненного микролизированного зерна:
а) 10 %; б) 15 %

F i g. 8. Fragment of flaky fraction after flattening of moistened micronized grain:
а) 10%; б) 15%

Однако, учитывая, что 15 % увлажнение приводит к переувлажнению хлопьевидной фракции и может отрицательно сказаться на сохранности зерна, наиболее оптимальным режимом увлажнения является добавление 10 % жидкости к массе микролизированного зерна.

В ходе проведенных исследований по оценке влияния увлажнения на количество мучной фракции выдвинута рабочая гипотеза: продолжительность увлажнения окажет влияние на результаты рассева плющеного зерна. Для изучения высказанного предположения проведена серия экспериментов, в ходе которых изменялась продолжительность увлажнения зерновок: время увлажнения составило 5, 10, 15 и 20 мин. В результате исследований получена зависимость влияния продолжительности увлажнения на количество мучной фракции (рис. 9), с высокой точностью аппроксимируемая полиномом 3-й степени.



Р и с. 9. Влияние продолжительности увлажнения на количество мучной фракции
F i g. 9. The influence of moistening duration on the amount of floury fraction

Источник: график составлен авторами статьи.

Source: the graphic was prepared by the authors of the article.

Количество мучной фракции при увлажнении в течение 10 мин составило 1,35 %, что на 29 % меньше, чем при увлажнении в течение 5 мин. Увлажнение в течение 15 мин позволило снизить количество мучной фракции до 1,22 %, что относительно десятиминутного увлажнения меньше на 10 %. Уровень снижения относительно увлажнения в течение 15 мин составил 6 %, несмотря на то, что дальнейшее увеличение продолжительности увлажнения до 20 мин также позволило снизить количество мучной фракции. Таким образом, увлажнение более 15 мин нецелесообразно, для практических целей можно порекомендовать увлажнение в интервале от 10 до 15 мин.

Сравнительная оценка плющения немикронизированного зерна ячменя на установленных режимах (зазор между вальцами 0,7 мм, частота вращения вальцов 300 об/мин) позволила сделать вывод, что, несмотря на относительно невысокое количество мучной фракции (табл. 1), хлопьевидную составляющую сформировать не удалось (рис. 10).

Остаток на решетке 4 мм (рис. 10 а) по внешнему виду существенно отличается от хлопьевидной фракции, полученной при плющении микронизированного увлажненного зерна (рис. 8 а). Увлажнение немикронизированного зерна несколько увеличило выход крупной составляющей (табл. 1), но принципиального влияния на качество хлопьев не оказало (рис. 10 б).

Таблица 1

Table 1

Распределение фракций по решетам лабораторного рассева (ручная подача), %

Distribution of fractions on the screen of laboratory plansifter (hand feeding), %

Диаметр отверстий решета, мм / Diameter aperture of screen, mm	Режимы подготовки зерна / Regimes of grain preparation		
	микронизированное увлажненное / micronized moistened	немикронизированное / non-micronized	немикронизированное увлажненное / non-micronized moistened
4,0	94,7	31,4	74,8
3,5	0,8	17,7	11,9
3,0	0,5	8,5	2,4
2,5	0,5	11,5	2,7
2,0	0,5	12,5	2,3
1,5	0,5	8,7	2,4
1,0	0,7	4,8	1,6
0,5	0,5	2,3	1,0
0	1,2	2,6	1,1



а)



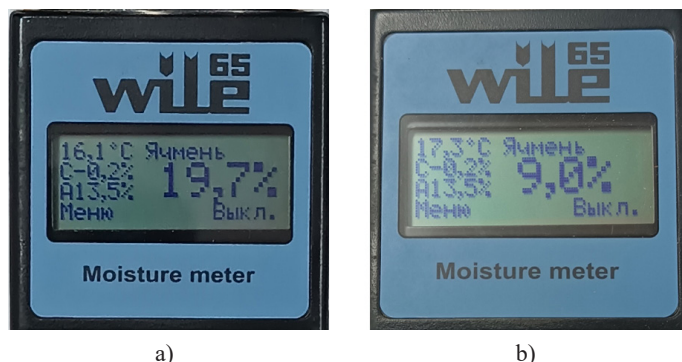
б)

Рис. 10. Результаты плющения немикронизированного зерна, зазор 0,7 мм, $n = 300$ об/мин
а) сухое; б) увлажненноеFig. 10. The results of the flattening non-micronized grain, clearance gap 0.7 mm, $n = 300$ r/min
a) dry; b) moistened

Анализ вида зерновок после плющения немикронизированного зерна на режимах для микронизированного зерна (рис. 10) показал, что режим плющения микронизированного увлажненного зерна не подходит для плющения немикронизированного зерна. В частности, наличие целых зерновок говорит о необходимости уменьшения зазора между вальцами.

Также в процессе увлажнения немикронизированного зерна отметили, что скорость впитывания увлажняющей жидкости существенно ниже, чем при увлажнении микронизированного зерна. Отмеченная особенность косвенным образом

отразилась на влажности хлопьев увлажненного немикронизированного зерна после плющения, влажность которых составила 19,7 %, тогда как влажность хлопьев после увлажнения микронизированного зерна в течение 15 мин не превысила 10 % (рис. 11).



а)

б)

Р и с. 11. Влажность хлопьев после плющения:
а) увлажненное немикронизированное; б) увлажненное микронизированное

Fig. 11. Moisture of flakes after the flattening:
a) moistened non-micronized; b) moistened micronized

Проведение эксперимента по плющению микронизированного увлажненного зерна при бункерной подаче и рассев полученных проб показал, что при количестве хлопьевидной фракции для ячменя свыше 90 %, для ржи около 90 % количество мучной фракции составило 1,69 и 2,13 % соответственно (табл. 2).

Т а б л и ц а 2

Table 2

Остаток на решетках рассева при бункерной подаче зерна, %
The grain residue on the screens of plansifter when using bunker feeding of grain, %

Диаметр отверстий решета, мм / Diameter of screen holes, mm	Ячмень / Barley	Рожь / Rye
4,0	94,23	89,04
3,5	0,81	3,14
3,0	0,48	1,46
2,5	0,54	1,20
2,0	0,49	0,88
1,5	0,56	0,81
1,0	0,65	0,72
0,5	0,56	0,61
0	1,69	2,13

Толщина плющенных зерновок по результатам измерения: ячмень – 1,67 мм; рожь – 1,36 мм. Проход сита 2,5 мм составил для ячменя 3,95 %, для ржи 5,16 %, что соответствует требованиям ТУ 8-22-39-88⁵ и составляет для ячменных хлопьев 6 %.

⁵ ТУ 8-22-39-88. Хлопья ячменные и перловые. URL: <https://www.standards.ru/document/3273962.aspx> (дата обращения: 21.11.2024).

ОБСУЖДЕНИЕ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Плющение микронизированного зерна ячменя и ржи с формированием хлопьевидной фракции на уровне 90 % и выше возможно при добавлении 10 % жидкости к массе зерна при продолжительности распределения влаги в зерне от 10 до 15 мин. Использование гладких валцов с частотой вращения 300 об/мин и зазором 0,7 мм позволит обеспечить толщину зерновок в интервале от 1 до 1,8 мм, что соответствует зооветеринарным требованиям, при этом проход сита 2,5 мм не превышает требования ТУ 8-22-39-88 и составляет для ячменя 3,95 %, для ржи – 5,16 %.

Полученные результаты позволяют обеспечить плющение микронизированного зерна, тем самым увеличив его усвояемость организмом, что положительным образом скажется на продуктивности животных. Однако, учитывая повышенную хрупкость микронизированного зерна, затрудняющую его плющение, необходима разработка установки для увлажнения микронизированного зерна, обеспечивающей заданный уровень насыщения зерновок влагой.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Попов В.Д., Могиляницкий В.М., Перекопский А.Н., Шить И.С. Пути развития кормовой базы в Северо-Западном регионе России. *Технологии и технические средства механизированного производства продукции растениеводства и животноводства*. 2001;(72):22–27. <https://elibrary.ru/sztrhx>
2. Varasteh F., Ebrahimi S.H., Naserian A.A., Zerehdaran S., Miri V.H. Effect of Micronization and Meal Size of Corn Grain on Glycemic Response and in Vitro Hindgut Acidosis Potential in Horses. *Journal of Equine Veterinary Science*. 2024;132:104982. <https://doi.org/10.1016/j.jevs.2023.104982>
3. Sajjadi H., Ebrahimi S.H., Vakili S.A., Rohani A., Golzarian M.R., Miri V.H. Operational Conditions and Potential Benefits of Grains Micronization for Ruminant: A Review. *Animal Feed Science and Technology*. 2022;287:115285. <https://doi.org/10.1016/j.anifeeds.2022.115285>
4. Kalantari R.K., Rouzbehan Y., Fazaeli H., Direkvandi E., Salem A.Z.M. The Effect of Three Levels of Concentrate and Grain Processing on Feeding Behavior, Nutrient Digestibility, Blood Metabolites and Fecal pH of Turkish Horses. *Journal of Equine Veterinary Science*. 2021;104:103690. <https://doi.org/10.1016/j.jevs.2021.103690>
5. Ситников В.А., Юнусова О.Ю., Панышев А.И., Попов А.Н. Использование питательных веществ рационов дойными коровами в зависимости от способа подготовки концентратов к скормливанию. *Пермский аграрный вестник*. 2016;(1):64–69. URL: https://agrovest.psaa.ru/wp-content/uploads/2017/09/agr_vest13.pdf (дата обращения: 03.02.2025).
6. Мишуров Н.П., Давыдова С.А., Давыдов А.А. Перспективные технологии повышения качества комбикормов. *Вестник Всероссийского научно-исследовательского института механизации животноводства*. 2019;(3):4–11. <https://elibrary.ru/qlphlq>
7. Мишуров Н.П., Давыдова С.А., Давыдов А.А. Инновационные способы тепловой обработки комбикормов. *Техника и оборудование для села*. 2019;(3):2–7. <https://doi.org/10.33267/2072-9642-2019-3-2-7>
8. Благов Д.А., Митрофанов С.В., Панферов Н.С., Тетерин В.С., Гапеева Н.Н. Влияние физических факторов на качественные показатели зерновых кормов. *Все о мясе*. 2021;(3):19–25. <https://doi.org/10.21323/2071-2499-2021-3-19-25>
9. Белов А.А. Влияние микроволновой обработки на антипитательные вещества соевых бобов. *Тракторы и сельскохозяйственные машины*. 2024;91(4):386–393. <https://doi.org/10.17816/0321-4443-627483>
10. Белов А.А. Влияние микроволновой обработки на питательные факторы соевых бобов. *Техника и оборудование для села*. 2024;32–35. <https://doi.org/10.33267/2072-9642-2024-8-32-35>

11. Иванова И.В., Кузнецов А.Ф., Зенков К.Ф., Мебония Е.Г. Сравнительная оценка эффективности применения микронизированных кормовых добавок при выращивании телят на молочном комплексе. *Международный вестник ветеринарии*. 2018;(4):88–93. URL: <https://spbguv.m.ru/wp-content/uploads/2018/12/MBB-20184.pdf> (дата обращения: 15.02.2025).
12. Богданович И.В. Влияние включения цельного зерна кукурузы в рацион телят молочного периода выращивания на их дальнейшую продуктивность и переваримость питательных веществ кормов. *Зоотехническая наука Беларуси*. 2023;58(1):160–171. URL: <https://zootech.belal.by/jour/article/view/1748> (дата обращения: 15.02.2025).
13. Kamyab-Fard A., Yazdi M.H., Kazemi-Bonchenari M., Mahjoubi E. Inclusion of Whole Corn Grain in Forage-Free Starter Feeds in Holstein Dairy Calves: Determination of Optimum Level on Growth Performance, Rumen Fermentation, and Blood Metabolites. *Animal Feed Science and Technology*. 2023;304:115742. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2023.115742>
14. Malekhhahi M., Ahmadi-zadeh M., Razzaghi A. Micronized Versus Super-Conditioned Corn: Effects on Starch Digestion, Performance, and Blood Metabolites of Holstein Dairy Calves. *Journal of Dairy Science*. 2025;108(3):2381–2392. <https://doi.org/10.3168/jds.2024-24973>
15. Khiaosa-ard R., Czermak S., Hollmann M., Penagos-Tabares F., Sulyok M., Krska R. и др. Changes in Nutritional and Hygienic Quality Due to Storage of Common Native and Processed Grain Cereals Intended for Horse Feeding. *Journal of Stored Products Research*. 2024;106:102310. <https://doi.org/10.1016/j.jspr.2024.102310>
16. Schwandt E.F., Hubbert M.E., Thomson D.U., Vahl C.I., Bartle S.J., Reinhardt C.D. A Survey of Starch Availability of Steam-Flaked Corn in Commercial Feedlots Evaluating Roll Size and Flake Density. *The Professional Animal Scientist*. 2016;32(5):550–560. <https://doi.org/10.15232/pas.2015-01496>
17. Pathiratne S.M., Shand P.J., Pickard M., Wanasundara J.P.D. Generating Functional Property Variation in Lentil (*Lens Culinaris*) Flour by Seed Micronization: Effects of Seed Moisture Level and Surface Temperature. *Food Research International*. 2015;76(1):122–131. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2015.03.026>
18. Морозова Н.И., Мусаев Ф.А., Морозов С.А., Шестакин А.Ю. Мясная продуктивность бычков герефордской породы при скормливании в рационах экструдированного корма. *Вестник Мичуринского государственного аграрного университета*. 2019;(2):148–150. URL: https://www.mgau.ru/sciense/journal/PDF_files/vestnik_2_2019.pdf (дата обращения: 25.02.2025).
19. Афанасьев В.А., Остриков А.Н., Василенко В.Н., Фролова Л.Н., Мануйлов В.В. Оценка эффективности технологии получения зерновых хлопьев для производства комбикормов для молодняка крупного рогатого скота. *Кормопроизводство*. 2017;(6):33–38. <https://elibrary.ru/yuhlvv>
20. Курдоглян А.А., Миколайчик И.Н., Морозова Л.А., Дмитриева Ж.А. Использование плющеной зерносмеси при раздое коров. *Аграрный вестник Урала*. 2008;(4):46–48. <https://elibrary.ru/ijxcbv>
21. Остриков А.Н., Василенко В.Н., Фролова Л.Н., Драган И.В. Технология микронизированных хлопьев для престартерных и стартерных комбикормов с использованием очищенного биогаза. *Хранение и переработка сельхозсырья*. 2020;(1):127–136. <https://doi.org/10.36107/spfp.2020.204>
22. Некрашевич В.Ф., Корнилов С.В., Воробьева И.В., Силушин П.А. Показатель для оценки достаточности микронизации зерна и определение его величины для пшеницы. *Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П. А. Костычева*. 2013;(2):66–69. URL: https://vestnik.rgau.ru/archive/2_2013.pdf (дата обращения: 02.02.2025).
23. Киприянов Ф.А., Савиных П.А. Результаты исследования механизма и особенностей микронизации фуражного зерна. *Техника и оборудование для села*. 2024;(11):24–27. <https://doi.org/10.33267/2072-9642-2024-11-24-27>
24. Нечаев В.Н. Оптимизация настроечных параметров пассивного измельчителя при приготовлении ржаной патоки. *Агроинженерия*. 2023;25(3):41–48. <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2023-3-41-48>

25. Алешкин А.В., Булатов С.Ю., Нечаев В.Н., Низовцев С.Л. Обоснование конструкционных и технологических параметров рабочего органа фрезерного измельчителя зерна. *Инженерные технологии и системы*. 2023;33(1):37–51. <https://doi.org/10.15507/2658-4123.033.202301.037-051>
26. Сысуев В.А., Савиных П.А., Казаков В.А., Сычугов Ю.В. Исследования и сравнительные испытания плющилки зерна с питающим устройством. *Инженерные технологии и системы*. 2022;32(2):207–221. <https://doi.org/10.15507/2658-4123.032.202202.207-221>

REFERENCES

1. Popov V.D., Mogilnitskiy V.M., Perekopskiy A.N., Shit I.S. [The Ways of Development of the Fodder Base in the North-Western Region of Russian]. *Technologii i technicheskie sredstva mekhanizirovannogo proizvodstva produktii rastenievodstva i zhivotnovodstva*. 2001;(72):22–27. (In Russ.) <https://elibrary.ru/sztrhx>
2. Varasteh F., Ebrahimi S.H., Naserian A.A., Zerehdaran S., Miri V.H. Effect of Micronization and Meal Size of Corn Grain on Glycemic Response and in Vitro Hindgut Acidosis Potential in Horses. *Journal of Equine Veterinary Science*. 2024;132:104982. <https://doi.org/10.1016/j.jevs.2023.104982>
3. Sajjadi H., Ebrahimi S.H., Vakili S.A., Rohani A., Golzarian M.R., Miri V.H. Operational Conditions and Potential Benefits of Grains Micronization for Ruminant: A Review. *Animal Feed Science and Technology*. 2022;287:115285. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2022.115285>
4. Kalantari R.K., Rouzbehan Y., Fazaali H., Direkvandi E., Salem A.Z.M. The Effect of Three Levels of Concentrate and Grain Processing on Feeding Behavior, Nutrient Digestibility, Blood Metabolites and Fecal pH of Turkmen Horses. *Journal of Equine Veterinary Science*. 2021;104:103690. <https://doi.org/10.1016/j.jevs.2021.103690>
5. Sitnikov V.A., Yunusova O.Yu., Panyshv A.I., Popov A.N. Rations Digestibility in Milking Cows Depending on the Method of Feeding Concentrates Preparation. *Perm Agrarian Journal*. 2016;(1):64–69. (In Russ., abstract in Eng.) Available at: https://agrovest.psaa.ru/wp-content/uploads/2017/09/agr_vest13.pdfj (accessed 03.02.2025).
6. Mishurov N.P., Davydova S.A., Davydov A.A. Promising Technologies of Compound Feed's Quality Improving. *Journal of VNIIMZH*. 2019;(3):4–11. (In Russ., abstract in Eng.) <https://elibrary.ru/qlphlq>
7. Mishurov N.P., Davydova S.A., Davydov A.A. Innovative Methods of Heat Treatment of Compound Feed. *Machinery and Equipment for Rural Area*. 2019;(3):2–7. (In Russ., abstract in Eng.) <https://doi.org/10.33267/2072-9642-2019-3-2-7>
8. Blagov D.A., Mitrofanov S.V., Panfyorov N.S., Teterin V.S., Gapeeva N.N. The Effect of Physical Factors on Grain Feed Quality Characteristics. *Vsyo o myase*. 2021;(3):19–25. (In Russ., abstract in Eng.) <https://doi.org/10.21323/2071-2499-2021-3-19-25>
9. Belov A.A. Effect of the Microwave Treatment on Anti-Nutrients of Soybeans. *Tractors and Agricultural Machinery*. 2024;91(4):386–393. (In Russ., abstract in Eng.) <https://doi.org/10.17816/0321-4443-627483>
10. Belov A.A. Effect of Microwave Treatment on Nutritional Factors of Soybeans. *Machinery and Equipment for Rural Area*. 2024;32–35. (In Russ., abstract in Eng.) <https://doi.org/10.33267/2072-9642-2024-8-32-35>
11. Ivanova I.V., Kuznetsov A.F., Zenkov K.F., Mebonia E.G. Comparative Evaluation of the Effectiveness of Micronized Feed Supplements for Growing of Calves on Dairy Farms. *International Bulletin of Veterinary Medicine*. 2018;(4):88–93. (In Russ., abstract in Eng.) Available at: <https://spbguvu.ru/wp-content/uploads/2018/12/MBB-20184.pdf> (accessed 15.02.2025).
12. Bogdanovich I.V. Effect of Whole Corn Grain Included in the Diet of Prewaned Calves on Their Further Productivity and Increase of Digestibility of Feed Nutrients. *Zootechnical Science of Belarus*. 2023;58(1):160–171. (In Russ., abstract in Eng.) Available at: <https://zootech.belab.by/jour/article/view/1748> (accessed 15.02.2025).

13. Kamyab-Fard A., Yazdi M.H., Kazemi-Bonchenari M., Mahjoubi E. Inclusion of Whole Corn Grain in Forage-Free Starter Feeds in Holstein Dairy Calves: Determination of Optimum Level on Growth Performance, Rumen Fermentation, and Blood Metabolites. *Animal Feed Science and Technology*. 2023;304:115742. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2023.115742>
14. Malekhhahi M., Ahmadizadeh M., Razzaghi A. Micronized Versus Super-Conditioned Corn: Effects on Starch Digestion, Performance, and Blood Metabolites of Holstein Dairy Calves. *Journal of Dairy Science*. 2025;108(3):2381–2392. <https://doi.org/10.3168/jds.2024-24973>
15. Khiaosa-ard R., Czermak S., Hollmann M., Penagos-Tabares F., Sulyok M., Krska R., et al. Changes in Nutritional and Hygienic Quality Due to Storage of Common Native and Processed Grain Cereals Intended for Horse Feeding. *Journal of Stored Products Research*. 2024;106:102310. <https://doi.org/10.1016/j.jspr.2024.102310>
16. Schwandt E.F., Hubbert M.E., Thomson D.U., Vahl C.I., Bartle S.J., Reinhardt C.D. A Survey of Starch Availability of Steam-Flaked Corn in Commercial Feedlots Evaluating Roll Size and Flake Density. *The Professional Animal Scientist*. 2016;32(5):550–560. <https://doi.org/10.15232/pas.2015-01496>
17. Pathiratne S.M., Shand P.J., Pickard M., Wanasundara J.P.D. Generating Functional Property Variation in Lentil (*Lens Culinaris*) Flour by Seed Micronization: Effects of Seed Moisture Level and Surface Temperature. *Food Research International*. 2015;76(1):122–131. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2015.03.026>
18. Morozova N.I., Musaev F.A., Morozov S.A., Shestavin A.Yu. Meat Efficiency of Bulls of the Hereford Breed During Farming in Extruded Fodder Rations. *The Bulletin of Michurinsk State Agrarian University*. 2019;(2):148–150. (In Russ., abstract in Eng.) Available at: https://www.mgau.ru/sciense/journal/PDF_files/vestnik_2_2019.pdf (accessed 25.02.2025).
19. Afanasev V.A., Ostrikov A.N., Vasilenko V.N., Frolova L.N., Manuylov V.V. Effectiveness of Grain Flake Technology in Complete Feed Production for Feeding Dairy Stores. *Kormoproizvodstvo*. 2017;(6):33–38. (In Russ., abstract in Eng.) <https://elibrary.ru/yuhlvv>
20. Kurdoglyan A.A., Mikolaychik I.N., Morozova L.A., Dmitrieva Zh.A. Use the Flattened Mix of Grains at Milking Cows. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2008;(4):46–48. (In Russ., abstract in Eng.) <https://elibrary.ru/ijxcbv>
21. Ostrikov A.N., Vasilenko V.N., Frolova L.N., Dragan I.V. Technology of Micronized Cereals for Prestarter, Starter Mixed Fodder with the Use of Purified Biogas. *Storage and Processing of Farm Products*. 2020;(1):127–136. (In Russ., abstract in Eng.) <https://doi.org/10.36107/spfp.2020.204>
22. Nekrashevich V.F., Kornilov S.V., Vorobyeva I.V., Silushin P.A. Index for Evaluating Grain Micronization Sufficiency and Estimating its Size for Wheat. *Bulletin of the Ryazan State Agrotechnological University Named after P. A. Kostychev*. 2013;(2):66–69. (In Russ., abstract in Eng.) Available at: https://vestnik.rgatu.ru/archive/2_2013.pdf (accessed 02.02.2025).
23. Kipriyanov F.A., Savinykh P.A. The Results of the Study of the Mechanism and Features of Micronization of the Feed Grain. *Machinery and Equipment for Rural Area*. 2024;(11):24–27. <https://doi.org/10.33267/2072-9642-2024-11-24-27>
24. Nechaev V.N. Optimising the Setting Parameters of a Passive Grinder used for Rye Molasses Preparation. *Agricultural Engineering*. 2023;25(3):41–48. (In Russ., abstract in Eng.) <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2023-3-41-48>
25. Aleshkin A.V., Bulatov S.Yu., Nechaev V.N., Nizovtsev S.L. Substantiation of the Structural and Technological Parameters of the Working Body of the Milling Grain Shredder. *Engineering Technologies and Systems*. 2023;33(1):37–51. (In Russ., abstract in Eng.) <https://doi.org/10.15507/2658-4123.033.202301.037-051>
26. Sysuev V.A., Savinykh P.A., Kazakov V.A., Sychugov Yu.V. Research and Comparative Testing of a Grain Flatteners with a Feeding Device. *Engineering Technologies and Systems*. 2022;32(2):207–221. (In Russ., abstract in Eng.) <https://doi.org/10.15507/2658-4123.032.202202.207-221>

Об авторах:

Киприянов Федор Александрович, кандидат технических наук, доцент, старший научный сотрудник Федерального аграрного научного центра Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого (610007, Российская Федерация, г. Киров, ул. Ленина, д. 166а), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5974-4934>, SPIN-код: 8937-8109, Scopus ID: 57210311726, Researcher ID: ADI-1364-2022, kipriyanovfa@bk.ru

Савиных Петр Алексеевич, доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник Федерального аграрного научного центра Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого (610007, Российская Федерация, г. Киров, ул. Ленина, д. 166а), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5668-8479>, Researcher ID: V-6933-2017, Scopus ID: 56728791200, peter.savinyh@mail.ru

Вклад авторов:

Ф. А. Киприянов – осуществление научно-исследовательского процесса, включая выполнение сбора данных; создание и подготовка рукописи: визуализация результатов исследования.

П. А. Савиных – осуществление научно-исследовательского процесса, включая выполнение сбора данных; создание и подготовка рукописи: критический анализ черновика рукописи, внесение замечаний и исправлений членами исследовательской группы, в том числе на этапах до и после публикации.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

*Поступила в редакцию 21.02.2025; поступила после рецензирования 28.07.2025;
принята к публикации 11.08.2025*

About the authors:

Fedor A. Kipriyanov, Cand.Sci. (Eng.), Associate Professor, Senior Researcher, Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky (166a Lenin St., Kirov 610007, Russian Federation), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5974-4934>, SPIN-code: 8937-8109, Scopus ID: 57210311726, Researcher ID: ADI-1364-2022, kipriyanovfa@bk.ru

Petr A. Savinykh, Dr.Sci. (Eng.), Professor, Chief Researcher, Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky (166a Lenin St., Kirov 610007, Russian Federation), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5668-8479>, Researcher ID: V-6933-2017, Scopus ID: 56728791200, peter.savinyh@mail.ru

Authors contribution:

F. A. Kipriyanov – conducting the study, including data collection; preparing the manuscript: visualizing the study research results.

P. A. Savinykh – conducting the study, including data collection; preparing the manuscript: critical analysis of the draft manuscript, making comments and corrections by members of the research team, including at the stages before and after publication.

All authors have read and approved the final manuscript.

Submitted 21.02.2025; revised 28.07.2025; accepted 11.08.2025