

# Технология микронизированных хлопьев для престартерных, стартерных комбикормов с использованием очищенного биогаза

**Остриков Александр Николаевич**

*ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий»*

*Адрес: 394036, город Воронеж, пр-т Революции, дом 19*

*E-mail: ostrikov27@yandex.ru*

**Василенко Виталий Николаевич**

*ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий»*

*Адрес: 394036, город Воронеж, пр-т Революции, дом 19*

*E-mail: vvn\_1977@mail.ru*

**Фролова Лариса Николаевна**

*ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий»*

*Адрес: 394036, город Воронеж, пр-т Революции, дом 19*

*E-mail: fln-84@mail.ru*

**Драган Иван Вадимович**

*ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий»*

*Адрес: 394036, город Воронеж, пр-т Революции, дом 19*

*E-mail: fln-84@mail.ru*

Сдерживающим фактором в развитии животноводства является применение зерновых смесей при кормлении животных. Это приводит к снижению привеса и конверсии комбикорма. При производстве комбикормов в России на долю зерновых культур приходится 66,2%, в Германии – 30%, во Франции – 43,7%, в США – 53%, в других странах ЕЭС – 38%. Выявляется важная проблема в комбикормовой промышленности, связанная с сокращением доли зерновых культур в сырьевых ресурсах. Россия по сравнению с развитыми странами отстает в производстве комбикормов как по объему, так и по ассортименту и качеству готового продукта. Сократить долю зерновых культур в комбикорме можно, только повысив его кормовую ценность. Один из способов повышения ценности зерновой смеси – микронизация: повышается переваримость крахмала, изменяется белковый комплекс зерна, инактивируются ингибиторы пищеварительного тракта, образуются ароматические вещества, которые улучшают вкусовые свойства зерна. Происходит пастеризация зерновой смеси, благодаря этому снижается уровень грибной микрофлоры на 99,5%. Благодаря тепловой обработке нативный крахмал становится модифицированным. Происходит увеличение соединения сахаров и декстринов в два-три раза. Возрастает до 35% степень клейстеризации. Это делает крахмал более доступным для организма животных, так как его гидролитическое расщепление повышается в два-пять раз. Но из-за отсутствия отечественного оборудования на комбикормовых заводах микронизация зерна применяется редко.

**Ключевые слова:** инфракрасная обработка, тепловая обработка зерна, плющение, переваримость, биотопливо, энергосбережение, зернобобовые культуры, корма

## Введение

Одной из перспективных задач агропромышленного комплекса является решение проблем при кормлении молодняка сельскохозяйственных животных. От этого зависит рост, развитие,

приспособление к отрицательным факторам окружающей среды. Оказывается большое влияние и на последующую репродуктивность молодняка. При интенсивном ведении хозяйства на первое место выходит проблема сбалансированного и полноценного кормления. В них должны содержаться все важные компоненты питания, влияющие на

здоровье и репродуктивные функции животных. Чтобы решить проблему полноценного кормления животных, необходимо знать закономерности обмена веществ и переваримости комбикорма. Несбалансированный показатель снижает прирост живой массы животных, увеличивает расход самого комбикорма, что экономически невыгодно хозяйству (Афанасьев, Остриков, Василенко, Фролова, 2014а, с. 38-40; Surendra, Takara, Hashimoto, Hanal, 2014, р. 846-859; Афанасьев, Остриков, Василенко, Фролова, 2014b, с. 39-42; Vasilenko, Frolova, Mikhailova, Dragan, Tarkaeva, 2019, р. 575-576; Ostrikov, Ospanov, Vasilenko, Muslimov, Timurbekova, Jumabekova, 2019, р. 2875-2905; Al Seadi, Drosch, Fuchs, Rutz, Janssen, 2013, р. 267-301).

Применение престаартерных кормов позволяет решить ряд основных проблем отъемного периода: недостаток, атипичность и низкая активность пищеварительных ферментов (например, амилазы) при переходе на твердые корма; деструктивные морфологические изменения кишечного эпителия – снижение сорбции питательных веществ вследствие перехода с молока на твердые корма; недостаточный уровень желудочной секреции; отсутствие иммуноглобулинов и седативных факторов молока; низкое потребление корма; приучение к новому рациону; отъемный стресс; заболевания отъема (кишечные расстройства, анемии, респираторные болезни) (Кочанов, 2014а, с. 178; Селезнева, Ижболдина, 2016, с. 17-24; Справочник свиновода, 2007, с. 271; Афанасьев, Остриков, Василенко, Фролова, Мануйлов, 2017, с. 33-38).

В последние десятилетия большое значение уделяется изучению и внедрению в комбикормовой промышленности различных методов тепловой обработки зерна, как одному из путей повышения эффективности его использования.

Тепловая обработка зерна считается одним из эффективных приемов в технологическом процессе при производстве комбикормов, позволяющим решить следующие задачи: улучшить поедаемость и вкусовые качества кормов, увеличить питательную ценность кормов с помощью расщепления труднопереваримых веществ, снизить внутренние энергозатраты организма животного на переваримость кормов, увеличить усвоение корма животными и коэффициент использования, снизить прочностные свойства зерновых, что позволит уменьшить расход энергии на измельчение корма при поедании,

улучшить водопоглотительную способность корма и так далее (Высокотемпературная микронизация в производстве зернопродуктов, 2009, с. 222; Кочанов, 2013, с. 18-21; Кочанов, 2014b, с. 25-27; Линия производства престаартерных комбикормов, 2015, с. 1-7; Кочанов, 2014а, с. 178; Способ микронизации зерна и устройство для его осуществления, 2016, с. 1-8; Варакин, Саломатин, Варакина, Саломатина, 2013, с. 12-14).

Микронизация зерновых культур является одним из эффективных способов тепловой обработки.

Сущность способа микронизации заключается в быстром нагреве зерна ИК-лучами до 170-180°C в течение 35-60 с в зависимости от вида зерна и его состояния. В результате за счет скоростного образования паровоздушной смеси из внутренней влаги зерна происходит его вспучивание. Зерно становится мягким и пластичным (Устройство для микронизации зерна, 2012, с. 1-7; Афанасьев, Мещеряков, Кочанов, 2014, с. 52-56; Афанасьев, Желтоухова, Кочанов, 2014, с. 6-10; Шевцов, Василенко, Евдокимов, 2004, с. 26-28; Остриков, Рудометкин, Василенко, 2002, с. 14-18). В таком состоянии оно легко плющится.

### Экспериментальная часть

Одним из основных параметров, определяющих режим термообработки при ИК-нагреве зерна, является плотность падающего потока излучения.

На Рисунке 1 приведены температурные кривые зерна ячменя влажностью 12,7% при различных значениях плотности падающего потока излучения  $E$  в процессе его ИК-обработки. Представленные на графике зависимости получены методом последовательного наложения ряда опытов, проведенных при одних и тех же значениях исследуемых параметров.

Анализ кривых показывает, что при ИК-обработке ячменя наиболее интенсивный нагрев зерновой массы происходит при плотности падающего потока излучения 20,5 кВт/м<sup>2</sup>.

В этом случае уже через 3 мин нагрева температура зерна достигала 200°C. Однако за этот промежуток времени при данном значении плотности падающего потока излучения происходит обгорание цветковых пленок зерна, что ухудшает его товарный вид.

## Результаты и их обсуждения

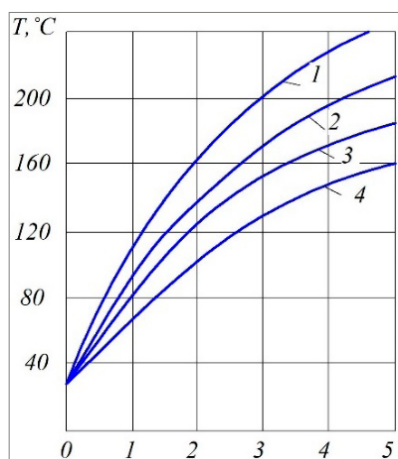


Рисунок 1. Температурные кривые зерна ячменя, полученные при различных значениях плотности падающего потока излучения в процессе ИК-обработки: 1 –  $E = 20,5 \text{ кВт/м}^2$ ; 2 –  $E = 16,3 \text{ кВт/м}^2$ ; 3 –  $E = 12,5 \text{ кВт/м}^2$ ; 4 –  $E = 8 \text{ кВт/м}^2$ .

Результаты полученных данных показывают, что при плотности потока излучения  $16,3 \text{ кВт/м}^2$ , температуре нагрева зерна  $170\text{--}180^\circ\text{C}$  и длительности обработки 4 мин в зерне образуется максимальное количество декстринов (до 9,4%). При этом коэффициент переваримости белка практически не снижается по сравнению с его значением в исходном зерне.

Увеличение плотности падающего потока излучения до  $20,5 \text{ кВт/м}^2$ , хотя и сокращает длительность обработки зерна до 3,5 мин, но приводит к некоторому уменьшению содержания декстринов в зерне (Таблица 1). При этом режиме обработки их количество в зерне снижается на 17,1% по сравнению с зерном, ИК-обработанным при  $E = 16,3 \text{ кВт/м}^2$ .

Таблица 1

Изменение содержания декстринов в зерне ячменя при ИК-обработке и коэффициента переваримости белка (*in vitro*) в зависимости от плотности падающего потока излучения

Режимы обработки ячменя		Содержание декстринов в зерне, %	Коэффициент переваримости белка, %
Плотность падающего потока ИК-излучения, кВт/м <sup>2</sup>	Длительность облучения, мин		
Зерно исходное	-	1,1	77,8
8,0	6,0	8,7	70,8
12,0	5,0	9,2	72,4
16,3	4,0	9,4	76,4
20,5	3,5	7,8	77,2

Технологическая линия производства микронизированных хлопьев для получения стартерных и престаартерных комбикормов на основе плющенных зерен включает следующее оборудование: бункеры зерновые 1; шнековые питатели 2; магнитный сепаратор 3; увлажнительную машину 4; бункер 5 для отволаживания зерна; пропариватель 6; агрегат обжарочный инфракрасный 7 (микронизатор); плющильную машину 8; сушилку-охладитель 9; бункер 10 для хлопьев; колонку 11 очистки от сероводорода; компрессор 12; колонку 13 очистки от углекислого газа; холодильник 14; колонку 15 регенерации воды; теплообменники 16 и 17; буферную емкость 18 и парогенератор 19.

Технологическая линия производства микронизированных хлопьев для получения стартерных и престаартерных комбикормов с использованием очищенного биогаза (Рисунок 2) включает следующие технологические операции:

- контроль заданной производительности по исходному продукту посредством питателя 2, установленного на выходе из приемного бункера 1;
- очистка зерна от металломагнитных примесей в магнитном сепараторе 3;
- увлажнение зерна в увлажнительной машине 4;
- равномерное распределение влажности по всему объему подаваемого зерна в отволаживателе 5;
- влаготепловая обработка зерна в пропаривателе 6;
- микронизация пропаренного зерна в агрегате обжарочном инфракрасном 7 (микронизаторе);

- получение зерновых хлопьев в плющильной машине 8;
- сушка плющенных хлопьев и их охлаждение в сушилке-охладителе 9;
- хранение обработанного зерна в бункере 10;
- очистка исходного биогаза от сероводорода в колонке 11;
- компрессионное сжатие в компрессоре 12;
- очистка от  $\text{CO}_2$  в колонке 13;
- охлаждение воды в холодильнике 14;
- регенерация воды (очистка от  $\text{CO}_2$ ) в колонне 15 для последующей процесса абсорбции  $\text{CO}_2$  в колонке 13;
- промежуточный подогрев обогащенной  $\text{CO}_2$  воды в теплообменнике 16;
- нагрев воды в теплообменнике 17 до температуры испарения  $\text{CO}_2$ ;
- отвод очищенной от  $\text{CO}_2$  воды через теплообменник 16 и холодильник 14 в колонку 13;
- накопление очищенного биогаза в буферной емкости 19.

Примерный состав получаемого в ферментере биогаза: 50-60% метана ( $\text{CH}_4$ ); 35-45% углекислого газа ( $\text{CO}_2$ ); 50-150 ppm сероводорода ( $\text{H}_2\text{S}$ ); 1% кислорода ( $\text{O}_2$ ); ~ 1% азота ( $\text{N}_2$ ); ~ 1% водорода ( $\text{H}_2$ ). Для того чтобы биогаз не имел запаха и хорошо горел, необходимо удалить из него углекислый газ, сероводород, пары воды (Guilera, Andreu, Basset, Boeltken, Timm, Mallol, Morante, 2019, p. 1301-1308; Фролова, Василенко, Копылов, Дерканосова, Михайлова, 2015, с. 163-67; Al Seadi, Drosch, Fuchs, Rutz, Janssen, 2013, p. 267-301; Aziz, Hanafiah, 2019, p. 847-857; Zhong, Chen, Rojas-Sossa, Isaguirre, Mashburn, Marsh, Liu, Liao, 2019, p. 1358-1370).

Проведенные во Всероссийском научно-исследовательском институте комбикормовой промышленности исследования по очистке биогаза от примесей показали необходимость его подготовки для последующего использования:

- в горелках парогенератора до следующего научно обоснованного состава: метана до 60%,  $\text{H}_2\text{S}$  – до 20 мг/м<sup>3</sup>, паров  $\text{H}_2\text{O}$  не более 9 мг/м<sup>3</sup>,  $\text{CO}_2$  – до 36%;
- в горелках микронизатора до следующего научно обоснованного состава: метана ( $\text{CH}_4$ ) – 85% об углекислого газа  $\text{CO}_2$  – 11% об., паров воды – 9 мг/м<sup>3</sup>, сероводорода  $\text{H}_2\text{S}$  – 20 мг/м<sup>3</sup>.

Комбинированная технологическая линия производства микронизированных хлопьев для стартерных и престаартерных комбикормов для молодняка сельскохозяйственных животных с использованием очищенного биогаза (Рисунок 2) работает следующим образом: исходное зерновое

сырье из зернового бункера 1 шнековым питателем 2 через магнитный сепаратор 3 зерно подается в увлажнительную машину 4 до достижения влажности 20-25%. Увлажненное зерно выдерживают в бункер для отволаживания зерна (отволаживатель) 5 для равномерного распределения влажности по всему объему зерновой массы.

Далее увлажненное зерно направляется в пропариватель 6, в котором осуществляется влаготепловая обработка зерна в течение 10 мин при температуре 100-150°C, позволяющей повысить усвояемость корма до 85-88%. Пропаренное зерно подают на микронизацию в аппарат обжарочный инфракрасный 7. При включенном устройстве розжига очищенный биогаз по коллектору подается в горелки ГИК-8. В течение 40-90 секунд зерно или бобовые подвергают инфракрасному нагреву до температуры 95-125°C.

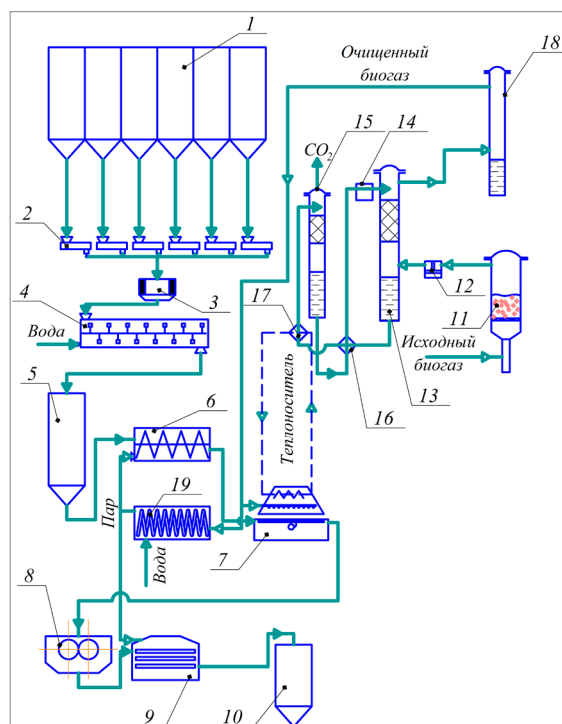


Рисунок 2. Технологическая схема линии производства микронизированных хлопьев для получения стартерных и престаартерных комбикормов.

Под действием лучей зерно интенсивно нагревается изнутри, вспучивается, размягчается и растрескивается: 90% крахмала расщепляется до сахаров, повышается переваримость и усвояемость протеина, погибают токсичные грибы и патогенная микрофлора. В результате микронизации зерна усиливается хлебный запах, улучшаются вкусовые качества, так как происходит желатинизация и декстринизация крахмала.

При микронизации нативный крахмал зерновых культур переходит в модифицированный. Происходит увеличение содержания сахаров и декстринов в два-три раза. Возрастает степень клейстеризации до 35%. Это делает крахмал более доступным для животных, так как его гидролитическое расщепление повышается в два-пять раз.

Затем микронизированное зерно пропускают через вальцы плющильной машины 8 с зазором между вальцами 0,40-0,55 мм и получают зерновые хлопья.

В сушилке-охладителе 9 осуществляют сушку зерновых хлопьев при температуре 80-90°C и скорости сушильного агента 0,4-0,7 м/с при снижении влажности до 8-9%.

В зоне охлаждения сушилки-охладила снижают температуру высушенных плющенных зерен до температуры окружающей среды атмосферным воздухом. Охлажденные микронизированные хлопья отводят в бункер 10, из которого они направляются на производство стартерных и престартерных комбикормов для молодняка сельскохозяйственных животных.

Для реализации процессов пропаривания, микронизации и сушки очистку биогаза следует осуществлять до содержания сероводорода 0,001%, углекислого газа 8-23%, влагосодержание 3-5%.

После очистки исходного биогаза от сероводорода в колонке 11 с помощью компрессора 12 под давлением 0,5 МПа с температурой 50-60°C и расходе 60 м<sup>3</sup>/ч подается в колонку 13 для очистки от СО<sub>2</sub>. В колонке 13 осуществляется процесс абсорбции СО<sub>2</sub> охлажденной водой,

подаваемой из холодильника 14 в режиме противотока. Очищенный от СО<sub>2</sub> биогаз направляется в фильтр-сепаратор 18 для получения биогаза с пониженным содержанием воды 3-5%. Подготовленный биогаз отводят в буферную емкость 19.

Обогащенную СО<sub>2</sub> воду из колонки 13 регенерации Н<sub>2</sub>О нагревают до 50°C сначала в теплообменнике 16 за счет рекуперативного теплообмена с очищенной от СО<sub>2</sub> воды, а затем до 80°C в теплообменнике 17 за счет горячей воды, подготовленной путем теплообмена с отходящими газами из микронизатора 7. Испарившийся СО<sub>2</sub> отводится из колонны 15, а очищенная вода сначала отводится в теплообменник 17, затем в холодильник 14 и далее в колонку 13 очистки от СО<sub>2</sub> с образованием замкнутого термодинамического цикла.

Биогаз для работы экспериментальной установки отбирался на биостанции «Зазерье», принадлежащей Республиканскому Унитарному Предприятию НПЦ НАН Беларуси. Зерно и бобовые для рецептов комбикормов при контрольном откорме животных и птиц вырабатывались партиями, по запросу животноводов. Общее количество зерна и бобовых, прошедшее инфракрасную обработку на экспериментальной линии для рецептов комбикормов контрольного откорма, приведены в Таблице 2.

При работе экспериментальной линии зерновое сырье подвергалось предварительному увлажнению с отлежкой в бункерах в течение 4-6 часов.

Рациональный режим инфракрасной обработки, зерна и бобовых, которые поддерживались в процессе работы на установке УМГ-70, приведены в Таблице 3.

Таблица 2

*Количество микронизированного зерна и бобовых, выработанного на экспериментальной линии для опытных партий комбикормов*

Вид зерна, бобовых	Рецепт	% ввода в комбикорм	Количество за период откорма, кг
	Животные		
Ячмень шелушенный	СКР-1	55	1010
Кукуруза	Телята	15	30
Ячмень шелушенный	СКР-2 Поросята	66,5	9800
Кукуруза	-	20	277
Пшеница	Утята	32	443
Горох термообработанный	СК-3 Поросята	10	210
Горох термообработанный	СК-4 Поросята	10	260

Таблица 3

Режим обработки зерна и бобовых культур на экспериментальной установке УМГ-70

Вид зерна, бобовых культур	Время обработки, с	Температура зерна на выходе, °С	Влажность, %
Пшеница	40-50	105	18,5
Кукуруза	45-65	120	19,5
Ячмень	50-55	110	19
Овес	40-45	100	20,5
Соевые бобы	65-90	130	13-14
Горох	45-60	115	12-13
Люпин	55-70	125	14

### Выводы

Из изложенного можно сделать вывод, что оптимальное значение плотности падающего потока излучения при поджаривании зерна соответствует 16,3 кВт/м<sup>2</sup>. При этом режиме обработки ИК-обработанный ячмень приобретает наилучшие качества.

Разработана ресурсосберегающая линия инфракрасной обработки зерна, бобовых культур для партий престаартерных, стартерных комбикормов для молодняка животных и птицы с использованием очищенного биогаза из отходов животноводческих комплексов.

### Литература

Афанасьев В.А., Желтоухова Е.Ю., Кочанов Д.С. Математическое моделирование процесса микронизации зерна // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. 2014. № 3(61). С. 6-10.

Афанасьев В.А., Мещеряков И.Б., Кочанов Д.С. Комплект оборудования для микронизации зерна с последующим плющением // Комбикорма. 2014. № 10. С. 52-56.

Афанасьев В.А., Остриков А.Н., Василенко В.Н., Фролова Л.Н. Мобильные комбикормовые заводы для развития малых и средних фермерских хозяйств // Кормопроизводство. 2014b. № 6. С. 39-42.

Афанасьев В.А., Остриков А.Н., Василенко В.Н., Фролова Л.Н. Разработка мобильной установки для приготовления кормолекарственных // Хранение и переработка сельхозсырья. 2014a. № 5. С. 38-40.

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. С. 33-38.

Варакин А.Т., Саломатин В.В., Варакина М.А., Саломатина М.В. Молочная продуктивность коров и качество молока при использовании в рационах новых кормовых добавок // Зоотехния. 2013. № 2. С. 12-14.

Высокотемпературная микронизация в производстве зернопродуктов / под ред. С.В. Зверева. М.: ДеЛи принт, 2009. 222 с.

Кочанов Д.С. Анализ изменения температуры и влажности зерна в процессе его микронизации // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. 2013. № 4(58). С. 18-21.

Кочанов Д.С. Влияние засоренности зерна на процесс микронизации // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. 2014b. № 2(60). С. 25-27.

Кочанов Д.С. Научное обеспечение процесса микронизации зерновых культур и разработка технологии производства комбикормов из микронизированного зерна: дис.... канд. техн. наук: 05.18.12, 05.18.01. Воронеж, 2014a. 178 с.

Линия производства престаартерных комбикормов: пат. 2543271 Рос. Федерация. № 2013129162/13 / Афанасьев В.А., Петров Н.В., Трунова Л.А., Бехметьев Р.Д.; заявл. 25.06.13; опубл. 27.02.15, Бюл. № 6. 5 с.

Остриков А.Н., Рудометкин А.С., Василенко В.Н., Автоматическое управление и регулировка давления в зоне преждевременной обработки экструдеров // Автоматизация и современные технологии. 2002. № 8. С. 14-18.

Селезнева Н.В., Ижболдина С.Н. Использование престаартерных и стартерных комбикормов при выращивании молодняка крупного рогатого скота // Кормление сельскохозяйственных животных и кормопроизводство. 2016. № 9. С. 17-24.

Способ микронизации зерна и устройство для его осуществления: пат. 2573376 Рос. Федерация.

- № 2014113307/13 / Некрашевич В.Ф., Корнилов С.В., Липин В.Д., Воробьева И.В., Силушин П.А.; заявл. 04.04.14; опубл. 20.01.16, Бюл. № 6. 5 с.
- Справочник свиновода: учеб. пособие для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению подготовки Зоотехния / под ред. Г.М. Бажова, Л.А. Бахиревой, А.Г. Бажова. СПб.: Лань, 2007. 271 с.
- Устройство для микронизации зерна: пат. 117268 Рос. Федерация. № 2012103206/13 / Силушин П.А., Некрашевич В.Ф., Корнилов С.В., Мамонов Р.А.; заявл. 30.01.12; опубл. 27.06.12, Бюл. № 18. 6 с.
- Фролова Л.Н., Василенко В.Н., Копылов М.В., Дерканосова А.А., Михайлова Н.А. Оптимизация параметров процесса получения биотоплива методами математического моделирования // Вестник Международной академии холода. 2015. № 3. С. 63-67.
- Шевцов А.А., Василенко В.Н., Евдокимов В.А. Алгоритм управления теплофизической сушильной установкой для термолабильных материалов // Автоматизация и современные технологии. 2004. № 7. С. 26-28.
- Al Seadi T., Drog B., Fuchs W., Rutz D., Janssen R. Biogas digestate quality and utilization // The Biogas Handbook Science, Production and Applications Woodhead Publishing Series in Energy. Ed. by A. Wellinger, J. Murphy, D. Baxter. Cambridge: Woodhead Publishing, 2013. P. 267-301.
- Aziz N.I.H.A., Hanafiah M.M. Life cycle analysis of biogas production from anaerobic digestion of palm oil mill effluent // Renewable Energy. 2019. No. 145. P. 847-857. DOI: 10.1016/j.renene.2019.06.084
- Guilera J., Andreu T., Basset N., Boeltken T., Timm F., Mallol I., Morante J.R. Synthetic natural gas production from biogas in a waste water treatment plant // Renewable Energy. 2019. No. 146. P. 1301-1308. DOI: 10.1016/j.renene.2019.07.044
- Ostrikov A.N., Ospanov A.A., Vasilenko V.N., Muslimov N.Zh., Timurbekova A.K., Jumabekova G.B. Melt flow of biopolymer through the cavities of an extruder die: Mathematical modelling // Mathematical Biosciences and Engineering. 2019. Vol. 16. No. 4. P. 2875-2905. DOI: 10.3934/mbe.2019142
- Surendra K.C., Takara D., Hashimoto A., Hanal S. Biogas as a sustainable energy source for developing countries: Opportunities and challenges // Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2014. Vol. 31. No. 3. P. 846-859.
- Vasilenko V.N., Frolova L.N., Mikhailova N.A., Dragan I.V., Tarkaeva D.A. Resource-Saving Press for Oil Extrusion from Plant Sources // Russian Engineering Research. 2019. Vol. 39. No. 7. P. 575-576.
- Zhong Y., Chen R., Rojas-Sossa J.-P., Isaguirre C., Mashburn A., Marsh T., Liu Y., Liao W. Anaerobic co-digestion of energy crop and agricultural wastes to prepare uniform-format cellulosic feedstock for biorefining // Renewable Energy. 2019. No. 147. P. 1358-1370. DOI: 10.1016/j.renene.2019.09.106

# Technology of Micronized Cereals for Prestarter, Starter Mixed Fodder with the Use of Purified Biogas

**Alexsandr N. Ostrikov**

*Voronezh State University of Engineering Technologies  
19, Revolution Ave., Voronezh, 394036, Russian Federation  
E-mail: ostrikov27@yandex.ru*

**Vitalii N. Vasilenko**

*Voronezh State University of Engineering Technologies  
19, Revolution Ave., Voronezh, 394036, Russian Federation  
E-mail: Vvn\_1977@mail.ru*

**Larisa N. Frolova**

*Voronezh State University of Engineering Technologies  
19, Revolution Ave., Voronezh, 394036, Russian Federation  
E-mail: Fln-84@mail.ru*

**Ivan V. Dragan**

*Voronezh State University of Engineering Technologies  
19, Revolution Ave., Voronezh, 394036, Russian Federation  
E-mail: Fln-84@mail.ru*

A limiting factor in the development of animal husbandry is the use of grain mixtures when feeding animals. This leads to a decrease in weight gain and conversion of feed. In the production of feed in Russia, the share of grain crops accounts for 66.2%, in Germany – 30%, in France – 43.7%, in the United States – 53%, in other countries of the EEC – 38%. An important problem in the feed industry associated with the reduction of the share of grain crops in raw materials is identified. Russia in comparison with the developed countries lags behind in the production of compound feeds both in volume and in the range and quality of the finished product. Reducing the share of grain crops in feed can only increase its feed value. One of the ways to increase the value of the grain mixture is micronization: the digestibility of starch increases, the protein complex of the grain changes, inhibitors of the digestive tract are inactivated, aromatic substances are formed that improve the taste properties of the grain. Pasteurization of the grain mixture occurs, thereby reducing the level of fungal microflora by 99.5%. Due to heat treatment, the native starch becomes modified. There is an increase in the compound of sugars and dextrans in two to three times. The degree of gelatinization increases to 35%. This makes starch more accessible to the animal body, because its hydrolytic cleavage increases two to five times. But due to the lack of domestic equipment at feed mills micronization of grain is rarely used.

**Keywords:** infrared processing, heat treatment of grain, flattening, digestibility, biofuel, energy saving, biogas, combined fodder, legumes, stern

## References

- Afanasiev V.A., Zheltouhova E.Yu., Kochanov D.S. Matematicheskoe modelirovanie processa mikronizatsii zerna [Mathematical modeling of the process the micronized substance grain]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta inzhenernyh tekhnologii [Proceedings of the Voronezh state University of engineering technologies]*, 2014, no. 3(61), pp. 6-10.
- Afanasiev V.A., Meshcheryakov I.B., Kochanov D.S. Komplekt oborudovaniya dlya mikronizatsii zerna s posleduyushchim plyushcheniyem [Set of equipment for grain micronization with subsequent flattening]. *Kombikorma [Compound Feed]*, 2014, no. 10, pp. 52-56.
- Afanasyev V.A., Ostrikov A.N., Vasilenko V.N., Frolova L.N. Mobilnyye kombikormovyye zavody dlya razvitiya malykh i srednikh



- fermerskikh khozyaystv [Mobile feed mills for the development of small and medium-sized farms]. *Kormoproizvodstvo [Fodder Production]*, 2014, no. 6, pp. 39-42.
- Afanasyev V.A., Ostrikov A.N., Vasilenko V.N., Frolova L.N. Razrabotka mobilnoy ustanovki dlya prigotovleniya kormolekarstvennykh smesey [Development of mobile installation for preparation of pharmaceutical mixtures]. *Khraneniye i pererabotka selkhozsyrya [Storage and processing of farm products]*, 2014, no. 5, pp. 38-40.
- Afanasyev V.A., Ostrikov A.N., Vasilenko V.N., Frolova L.N., Manuilov V.V. Otsenka effektivnosti tekhnologii polucheniya zernovykh khlopyev dlya proizvodstva kombikormov dlya molodnyaka krupnogo rogatogo skota [Evaluation of the efficiency of technology for obtaining grain flakes for the production of feed for young cattle]. *Kormoproizvodstvo [Fodder Production]*, 2017, no. 6, pp. 33-38.
- Varakin A.T., Salomatin V.V., Varakina M.A., Salomatina M.V. Molochnaya produktivnost korov i kachestvo moloka pri ispolzovanii v ratsionakh novykh kormovykh dobavok [Dairy productivity of cows and milk quality when using new feed additives in diets]. *Zootekhnika [Zootechnia]*, 2013, no. 2, pp. 12-14.
- Vysokotemperaturnaya mikronizatsiya v proizvodstve zernoproduktov [High-temperature micronization in the production of grain products]. Ed. by S.V. Zverev. Moscow: DeLi print, 2009. 222 p.
- Kochanov D.S. Analiz izmeneniya temperatury i vlazhnosti zerna v protsesse yego mikronizatsii [Analysis of changes in temperature and humidity of grain in the process of its micronization]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta inzhenernykh tekhnologii [Proceedings of the Voronezh state University of engineering technologies]*, 2013, no. 4(58), pp. 18-21.
- Kochanov D.S. Vliyanie zasorennosti zerna na protsess mikronizatsii [Influence of grain contamination on the process of micronization]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta inzhenernykh tekhnologii [Proceedings of the Voronezh state university of engineering technologies]*, 2014b, no. 2(60), pp. 25-27.
- Kochanov D.S. Nauchnoye obespecheniye protsessa mikronizatsii zernovykh kultur i razrabotka tekhnologii proizvodstva kombikormov iz mikronizirovannogo zerna. Diss. kand. tekhn. nauk [Scientific support of micronization process of grain crops and development of technology of production of compound feeds from micronized grain. Cand. Sci. (Engineering) thesis]. Voronezh, 2014a. 178 p.
- Liniya proizvodstva prestarternykh kombikormov [Line of prestarter feed]: Pat. 2543271 Russian Federation, IPC A23N 17/00. No. 2013129162/13. Afanasiev V.A., Petrov N.V., Trunova L.A., Bahmetiev R.D.; application and patent holder OAO «VNIIPK»; declared 25.06.2013; publ. 27.02.2015, bulletin no. 6.
- Ostrikov A.N., Rudometkin A.S., Vasilenko V.N. Avtomaticheskoe upravlenie i regulirovka davleniya v zone prezhdevremennoj obrabotki ekstrudirov [Automatic control and pressure adjustment in prematrix zone of extruders]. *Avtomatizatsiya i Sovremennye Tekhnologii [Automation and Modern Technologies]*, 2002, no. 8, pp. 14-18.
- Selezneva N.V., Izboldina S.N. Ispolzovaniye prestarternykh i starternykh kombikormov pri vyrashchivanii molodnyaka krupnogo rogatogo skota [The use of prestarter and starter compound feeds in the cultivation of young cattle]. *Kormlenie selkhozoyajstvennykh zhivotnykh i kormoproizvodstvo [Feeding of farm animals and fodder production]*, 2016, no. 9, pp. 17-24.
- Sposob mikronizatsii zerna i ustroystvo dlya yego osushchestvleniya [The method of micronization of grain and device for its implementation]: Pat. 2573376 Russian Federation, IPC A23L 1/25. No. 2014113307/13. Nekrashevich V.F., Kornilov S.V. Lipin V.D., Vorobyeva I.V., Ilushin P.A.; application and patent holder Ryazan state agrotechnological university; declared 04.04.2014; publ. 20.01.16, bulletin no. 6.
- Bazhov G.M., Bakhireva L.A., Bazhov A.G. Spravochnik svinovoda: uchebnoe posobie dlya studentov vysshikh uchebnykh zavedeniy, obuchayushchihsya po napravleniyu podgotovki Zootekhnika [Handbook of pig breeder: A textbook for students of higher educational institutions studying in the field of Zootechnics]. St. Petersburg: LAN, 2007. 271 p.
- Ustroystvo dlya mikronizatsii zerna [Device for micronization of grain]: Pat. 117268 Russian Federation, IPC A23L 1/025. No. 2012103206/13. Silushin A.P., Nekrashevich V.V., Kornilov S.V., Mamonov R.O.; applicant and patent holder Ryazan state agrotechnological university; declared. 30.01.12; publ. 27.06.12, bulletin no. 18.
- Frolova L.N., Vasilenko V.N., Kopylov M.V., Derkanosova A.A., Mikhailova N.A. Optimizatsiya parametrov protsessa polucheniya biotopliva metodami matematicheskogo modelirovaniya [Optimization of parameters of biofuel production process by methods of mathematical modeling]. *Vestnik Mezhdunarodnoy akademii holoda [Bulletin of the International Academy of cold]*, 2015, no. 3, pp. 63-67.

- Shevtsov A.A., Vasilenko V.N., Evdokimov A.V. Algoritm upravljeniya teplofizicheskoy sushilnoj ustanovkoj dlya termolabilnyh materialov [Control algorithm of the thermal applying drying plant for thermolabile materials]. *Avtomatizatsiya i Sovremennye Tekhnologii* [Automation and Modern Technologies], 2004, no. 7, pp. 26-28.
- Al Seadi T., Drosig B., Fuchs W., Rutz D., Janssen R. Biogas digestate quality and utilization. In *The Biogas Handbook Science, Production and Applications Woodhead Publishing Series in Energy*. Ed. by A. Wellinger, J. Murphy, D. Baxter. Cambridge: Woodhead Publishing, 2013, pp. 267-301.
- Aziz N.I.H.A., Hanafiah M.M. Life cycle analysis of biogas production from anaerobic digestion of palm oil mill effluent. *Renewable Energy*, 2019, no. 145, pp. 847-857. DOI: 10.1016/j.renene.2019.06.084
- Guilera J., Andreu T., Basset N., Boeltken T., Timm F., Mallol I., Morante, J.R. Synthetic natural gas production from biogas in a waste water treatment plant. *Renewable Energy*, 2019, no. 146, pp. 1301-1308. DOI: 10.1016/j.renene.2019.07.044
- Ostrikov A.N., Ospanov A.A., Vasilenko V.N., Muslimov N.Zh., Timurbekova A.K., Jumabekova G.B. Melt flow of biopolymer through the cavities of an extruder die: Mathematical modelling. *Mathematical Biosciences and Engineering*, 2019, no. 16(4), pp. 2875-2905. DOI: 10.3934/mbe.2019142
- Surendra K.C., Takara D., Hashimoto A.G., Khanal S.K. Biogas as a sustainable energy source for developing countries: Opportunities and challenges. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2014, vol. 31, no. 3, pp. 846-859.
- Vasilenko V.N., Frolova L.N., Mikhailova N.A., Dragan I.V., Tarkaeva D.A. Resource-Saving Press for Oil Extrusion from Plant Sources. *Russian Engineering Research*, 2019, no. 39(7), pp. 575-576.
- Zhong Y., Chen R., Rojas-Sossa J.-P., Isaguirre C., Mashburn A., Marsh T., Liu Y., Liao, W. Anaerobic co-digestion of energy crop and agricultural wastes to prepare uniform-format cellulosic feedstock for biorefining. *Renewable Energy*, 2019, no. 147, pp. 1358-1370. DOI: 10.1016/j.renene.2019.09.106