

На правах рукописи



КОЧАНОВ Дмитрий Сергеевич

**НАУЧНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПРОЦЕССА
МИКРОНИЗАЦИИ ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР И РАЗРАБОТКА
ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА КОМБИКОРМОВ
ИЗ МИКРОНИЗИРОВАННОГО ЗЕРНА**

Специальность 05.18.12 – Процессы и аппараты
пищевых производств

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Воронеж – 2014

Работа выполнена в ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный университет инженерных технологий» и ОАО «Всероссийский научно-исследовательский институт комбикормовой промышленности».

Научный руководитель – доктор технических наук, профессор
Афанасьев Валерий Андреевич

Официальные оппоненты – доктор технических наук, профессор
Плаксин Юрий Михайлович
(профессор кафедры промышленной и коммунальной энергетики
НОУ ВПО «Московский институт
энергобезопасности и энергосбережения»);
кандидат технических наук, доцент
Пойманов Владимир Викторович
(Общество с ограниченной
ответственностью «РЕТА»)

Ведущая организация – **Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Майкопский государственный технологический университет», Республика Адыгея, г. Майкоп**

Защита состоится «29» декабря 2014 г. в 13⁰⁰ на заседании совета по защите диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук Д 212.035.01 при ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный университет инженерных технологий» по адресу: 394036, г. Воронеж, проспект Революции, 19, конференц-зал.

Отзывы (в двух экземплярах) на автореферат, заверенные гербовой печатью учреждения, просим присылать ученому секретарю совета Д 212.035.01.

С диссертацией можно ознакомиться в научной библиотеке ФГБОУ ВПО «ВГУИТ». Полный текст диссертаций размещен в сети Интернет на официальном сайте ФГБОУ ВПО «ВГУИТ» www.vsuet.ru «28» октября 2014 г. Автореферат размещен в сети Интернет на официальном сайте Министерства образования и науки РФ: vak2.ed.gov.ru и на официальном сайте ФГБОУ ВПО «ВГУИТ» www.vsuet.ru «28» октября 2014 г.

Автореферат разослан «28» ноября 2014 г.

Ученый секретарь совета
по защите диссертаций
на соискание ученой степени
кандидата наук, на соискание
ученой степени доктора наук Д 212.035.01  **Л.Н. Фролова**

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Использование в кормлении животных зерносмесей снижает привес животных и конверсию корма, что сдерживает развитие животноводства. Доля зерна при выработке комбикормов в России составляет 66,2 %, тогда как в США – 53 %, во Франции – 43,7 %, в Германии – 30 %, в других странах ЕЭС – 38 %. Сокращение содержания доли зерна в структуре сырьевых ресурсов комбикормовой промышленности является важной проблемой. При этом выработка комбикормов в нашей стране по объему, ассортименту и качеству отстает от производства их в развитых капиталистических странах.

Одним из путей сокращения доли зерна при выработке комбикормов является повышение его кормовой ценности. Для повышения кормовой ценности зернофуража рекомендуется такой способ обработки, как микронизация. Ее положительное влияние проявляется в повышении переваримости крахмала, изменении белкового комплекса зерна, инактивации ингибиторов пищеварительного тракта, пастеризации (уровень грибной флоры снижается на 99,5 %, бактериальной – на 99,9 %), образовании ароматических веществ, улучшающих вкусовые качества зерна.

В процессе тепловой обработки нативный крахмал зерна превращается в модифицированный. Содержание сахаров и декстринов увеличивается в 2-3 раза, степень клейстеризации достигает 35 % и выше. Доступность крахмала для организма животных вследствие его гидролитического расщепления повышается в 2-5 раз. Однако технологический процесс микронизации зернового сырья при производстве на комбикормовых заводах используется мало, т. к. отсутствует высокопроизводительное комплектное отечественное оборудование.

Работа проводилась в соответствии с планом НИР кафедры технологии хранения и переработки зерна Воронежского государственного университета инженерных технологий по теме «Разработка энерго-, ресурсосберегающих и экологических технологий хранения и переработки сельскохозяйственного сырья в конкурентоспособные продукты с программируемыми

свойствами и соответствующим аппаратурным оформлением на предприятиях АПК» (№ гос. регистрации 01201253866, 2011-2015 гг.).

Цель диссертационной работы: научное обеспечение процесса микронизации зерновых культур и повышение эффективности процесса за счет определения рациональных технологических режимов и повышения качества готовой продукции; разработка научно-технологических решений производства комбикормов из микронизированного зерна со сбалансированными по питательной ценности компонентами, способствующих росту привесов, сокращению сроков откорма и повышению конверсии корма.

В соответствии с целью решались **следующие задачи:**

- изучение зерновых культур (пшеницы, ячменя, кукурузы) как объектов исследования, определение их оптических и теплофизических характеристик,

- изучение кинетических закономерностей процесса микронизации зерновых культур (пшеницы, ячменя, кукурузы);

- определение рациональных технологических параметров процесса микронизации зерновых культур (пшеницы, ячменя, кукурузы);

- разработка математической модели процесса микронизации зерновых культур (пшеницы, ячменя, кукурузы);

- проведение комплексной оценки качества комбикормов из микронизированного зерна со сбалансированными по питательной ценности компонентами и оценка их эффективности при скармливании животными;

- разработка конструкции микронизатора и технологии производства комбикормов из микронизированного зерна, способствующих росту привесов, сокращению сроков откорма, снижению падежа животных и птицы, повышению конверсии корма;

- оценка эффективности разработанных комбикормов и предлагаемой конструкции микронизатора;

- проведение промышленной апробации полученных результатов работы.

Научная новизна. Изучены кинетические закономерности процесса микронизации зерновых культур (пшеницы, ячменя, кукурузы), что позволило обосновать режимы протекания процесса микронизации.

Определены зависимости теплофизических характеристик зерновых культур (пшеницы, ячменя, кукурузы). Выявлен характер изменения оптических характеристик (коэффициентов проникновения, отражения и поглощения) объектов исследования от длины волны ИК-излучения.

Разработана математическая модель процесса микронизации зерновых культур (пшеницы, ячменя, кукурузы), описывающая период убывающей скорости сушки, когда фронт испарения влаги проникает внутрь продукта.

Обоснован выбор рецептурного состава смеси для производства комбикормов из микронизированного зерна.

Новизна технического решения подтверждена положительным решением на выдачу патента по заявке № 2013125843 «Линия микронизации зерна» от 04.06.2013.

Практическая ценность. Определены рациональные параметры процесса микронизации зерновых культур в микронизаторе. Полученное микронизированное зерно обладало высокой биологической и энергетической ценностью и сбалансированным аминокислотным составом.

Разработаны четыре технологии производства комбикормов из микронизированного зерна. На основе экспериментальных исследований разработаны технические условия на микронизатор УЗ-АМЗ-2 ТУ 5144-064-00932117-2012.

Разработана конструкторская документация и изготовлен опытный образец микронизатора УЗ-КОМЗ-2. Разработана линия для производства высокоэффективных экологически чистых комбикормов из микронизированного зерна. Годовой экономический эффект от выращивания поросят с использованием комбикормов из микронизированного зерна составит 9378000 руб.

Апробация работы. Основные положения диссертационной работы докладывались и обсуждались на международных научно-технических конференциях: (Воронеж, 2013), (Москва, 2014). Результаты работы демонстрировались на

выставках и были награждены дипломами: 17-я Агропромышленная выставка «ВоронежАгро» (14-16.11.2012 г., Воронеж), 7-я Агропромышленная выставка «АГРОСЕЗОН» – 2013», «Современная техника и технологии» (13-15.03.2013 г., Воронеж), 19-я Международная специализированная торгово-промышленная выставка «Зерно-комбикорма-ветеринария» (04-07.02.2014 г., Москва).

Публикации. По теме диссертации опубликовано 6 работ, в том числе 3 статьи в ведущих научных рецензируемых журналах.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, пяти глав, основных выводов и результатов, списка литературы и приложений. Работа изложена на 177 страницах машинописного текста, содержит 50 рисунков и 34 таблицы. Список литературы включает 102 наименования, в том числе 8 на иностранных языках. Приложения к диссертации представлены на 16 страницах.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы диссертационной работы, научная новизна и практическая значимость выполненных исследований.

В первой главе дана краткая характеристика процесса микронизации, систематизированы литературные данные о современном состоянии технологий переработки зерновых культур на кормовые цели, приведен обзор современных конструкций микронизаторов, технологических линий производства комбикормов из микронизированного зерна и анализ математических моделей процесса микронизации. На основании проведенного анализа обоснован выбор объекта исследования, сформулированы цель и задачи диссертационной работы и определены методы их решения.

Во второй главе приведено исследование изменения теплофизических характеристик зерна пшеницы методом нестационарного теплового режима на установке Coesfeld RT-1394H (National Instruments). Полученные экспериментальные данные были обработаны на персональном

компьютере в среде «Microsoft Excel». В результате были получены уравнения, описывающие теплофизические характеристики зерна пшеницы.

Выявлено, что при увеличении температуры удельная теплоемкость и теплопроводность повышаются, а коэффициент температуропроводности пшеницы уменьшается.

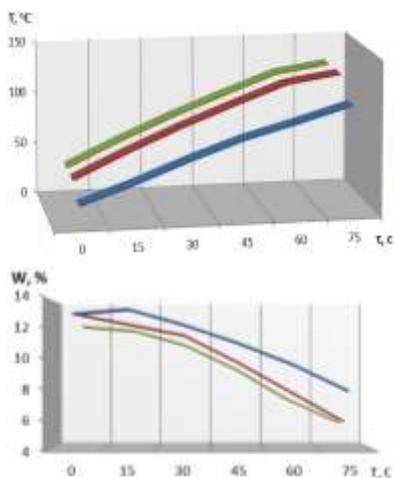


Рис. 1. Зависимость температуры и влажности зерна от продолжительности микронизации

Приведены исследования кинетических закономерностей процесса микронизации зерновых культур (пшеницы, ячменя, кукурузы), в частности, был выявлен характер изменения температуры и влажности зерна в процессе микронизации. Критерием оценки микронизации послужила влажность и степень декстринизации крахмала обрабатываемого зерна.

На рисунке 1 показано зависимость влагосодержания зерна исходной влажности от длительности обработки, производительности микронизатора и от

температуры нагрева. При малом излучении и небольшой толщине слоя зерна в рабочей камере экспериментальной установки начальная стадия прогрева зерна непродолжительна во времени и протекает в течение 10-15 с. Далее, когда температура продукта увеличивается до 60 °С и выше, происходит испарение влаги с поверхности продукта в силу небольшой термовлагопроводности зерна, которая затем является главной причиной образования во внутренней части зерна большой влажности и температуры. В следствие чего происходит образование микротрещин, которые нарушают микроструктуру нагреваемого зерна, в частности, крахмальных гранул.

В процессе нагрева зерна более 100 °С зерновка

вспучивается и становится более пластичной. В таком состоянии она лучше плющится. Предварительное пропаривание зерна ведет к незначительному увеличению длительности термообработки по отношению к зерновому сырью с исходной влажностью. Это объясняется тем, что температура пропаренного зерна перед подачей на экспериментальную установку составляет около 70-90 °С и, следовательно, количество тепловой энергии затрачивается значительно меньше на прогрев зерновых культур.

На процесс микронизации при обработке зерна в основном оказывают влияние несколько технологических приемов, таких, как пропаривание; увлажнение зерна водой с последующим отволаживанием и совместное пропаривание и увлажнение зерна.

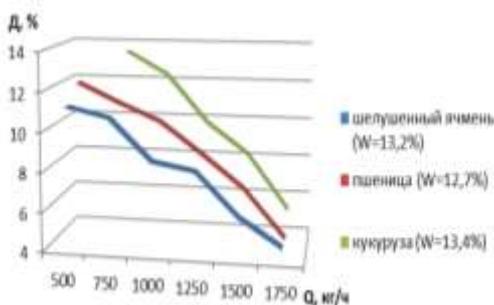


Рис. 2. Зависимость степени декстринизации крахмала зерна от производительности микронизатора

Влажность зерна в опытах изменялась от 12 до 25 %. Анализируя полученные данные (рисунок 2) и сравнивая их с допустимыми значениями влажности, можно сделать вывод, что оптимальная производительность линии микронизации зерна с исходной влажностью составляет 0,9-1,0 т/ч. А следовательно, степень декстринизации крахмала ячменя и пшеницы составила от 9 до 10 %, кукурузы – 12-13 %.

Увеличение содержания общей влаги в зерне влияет на деструкцию крахмала зерна в процессе микронизации. Установлено, что степень декстринизации зерна с увеличением влажности до 19 % растет интенсивно и достигает для ячменя и пшеницы 24...27 % (рисунки 3, а и б). Поэтому производительность экспериментальной установки и температуру нагрева зерновых компонентов установили в пределах 0,8-0,9 т/ч и 115 - 120 °С соответственно. При этом увлажнение зерновых компонентов выше 19 % не влияет на деструкцию крахмала.

Определено, что увлажнение кукурузы до 19 % является оптимальным режимом. Так как степень декстринизации крахмала ИК-обработанной кукурузы с такой же влажностью достигает свыше 30 %, это на 8-10 % больше, чем в ячмене и пшенице.

Показано (рисунок 3), что пропаривание зерновых культур значительно увеличивает процесс деструкции крахмала ИК-обработанного зерна. Так, в ИК-обработанной пшенице и ячмене с начальной влажностью от 12 до 13 % степень декстринизации составила 8 - 10 %. В зерновом сырье, прошедшем предварительное пропаривание и ИК-обработку до влажности 19 - 20 %, данный показатель повышается до 35-40 %, т. е. в 2,5 раза.

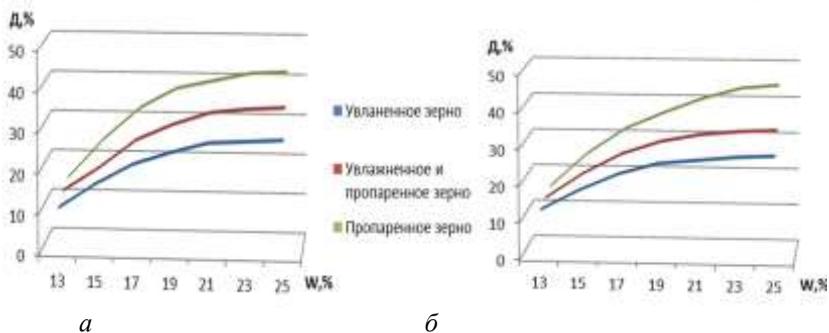


Рис. 3. Влияние влажности зерна ячменя (а) и пшеницы (б) на изменение степени декстринизации крахмала

Показатель качества пшеницы и ячменя достигается при продолжительной обработке в течение 85-90 с с температурой нагрева зерна – 115-120 °С, при этом производительность микронизатора составит – 0,9-1,0 т/ч.

На основании вышеизложенного, следует отметить, что самое значимое в процессе микронизации - пропаривание зерна до влажности 19 % с последующей термообработкой в течение 90-95 с до температуры 115-120 °С. Исследуя влияние производительности микронизатора на качество зерна, прошедшего предварительную влагообработку, следует отметить, что с уменьшением производительности степень декстринизации крахмала повышается.

Анализ влияния инфракрасного нагрева на фракционный состав белков ячменя показывает, что любые способы обработки ячменя не изменяют общего содержания азота в зерновом сырье. Уменьшение общего содержания азота случается только под воздействием одного из жестких режимов обработки – пропаривания ячменя с последующей ИК-обработкой. ИК-излучение существенно меняет соотношение белковых фракций, при этом не слишком меняя сумму азотистых веществ. Высоковосприимчивыми к ИК-нагреву считаются соле- и водорастворимые фракции белка. Поэтому в ИК-обработанном ячмене содержание соле- и водорастворимых фракций белка уменьшилось на 51,2 и 40,2 % в сравнении с содержанием их в исходном зерне. То же самое происходит и при микронизации зерна, однако общее содержание альбуминов и глобулинов в зерне уменьшается незначительно (на 37,8 и 24,2 %).

Исследования показали, что микронизация исходного зерна существенно не влияет на изменение содержания аминокислот в белке. В процессе пропаривания ячменя с последующим процессом микронизации изменение содержания аминокислот более значительно, чем при микронизации исходного зернового сырья. При таком способе ИК-обработки общее содержание аминокислот уменьшается от 1,3 до 16,9 %. Значительное изменение в содержании наблюдается в таких аминокислотах, как гистидин, лизин, триптофан, треонин и аспарагиновая кислота. Их содержание становится ниже на 22,1; 45,2; 26,9; 29,1 и 26,8 %. Полученные данные показывают, что изменение аминокислотного состава при инфракрасной обработке ячменя значительно больше, чем при микронизации зернового сырья исходной влажности или, например, предварительно пропаренного зерна.

В процессе «поджаривания» ячменя выделяются такие незаменимые аминокислоты, как треонин, триптофан, лизин. Содержание их уменьшается на 32,2; 28,9; и 22,1 %, чем в исходном зерновом сырье. Другими аминокислотами, наиболее лабильными в этом способе обработки, являются гистидин, серин, аспарагиновая кислота и аргинин, количество которых изменяется на 43,7; 27,7; 32,8; и 18,3 %, в сравнении с исходным образцом зернового сырья. Следовательно, процесс микронизации ячменя

несущественно влияет на содержание свободных аминокислот.

Инфракрасный нагрев оказывает явное влияния на изменение белкового комплекса ячменя. При изучении изменений растворимости белков и содержания в их составе аминокислот, можно сделать вывод о сильном изменении питательной ценности обрабатываемого зернового сырья. При использовании пищеварительного фермента пепсина можно определить атакуемость белков. Для оценки был взят коэффициент переваримости белка. Данный коэффициент представляет отношение исходного количества белка в ячмене к переваримости белка. Определено (таблица 1), что при пропаривании, увлажнении и ИК-обработке зернового сырья коэффициент переваримости белков не уменьшается.

Таблица 1

Изменение коэффициента переваримости белка при микронизации ячменя

Образец ячменя	Влажность, %	Длительность облучения, мин	Содержание белка, %		Коэффициент переваримости белка, %
			Общее (№об. 5,7)	Переваримого	
Исходный	12,7	-	12,85	10,19	79,92
Микронизированный (хлопья)	7,4	50	12,92	10,21	79,02
Пропаренный	24,8	-	12,76	10,08	78,90
Пропаренный и микронизированный (хлопья)	8,5	60	12,82	10,02	78,10
Увлажненный	30,8	-	12,88	10,23	79,42
Увлажненный и микронизированный (хлопья)	8,9	60	12,81	10,07	78,61

В процессе микронизации зерновых компонентов обеззараживание зерна составляет до 90,5 % от глубинной микрофлоры, а поверхностная микрофлора зерна практически полностью погибает (таблица 2).

Таблица 2

Влияние ИК-нагрева на микрофлору зерна в процессе микронизации

Образец ячменя	Микрофлора			
	поверхностная		глубинная	
	Количество грибов в 1 г, шт.	Обеззаражено, %	Количество грибов в 1 г, шт.	Обеззаражено, %
Исходный	10200	-	42	-
Микронизированный (хлопья)	Отсутствуют	100	4	90,5

Резюмируя, можно отметить, что инфракрасный нагрев губительно действует на микрофлору зерна ячменя. В процессе тепловой обработки зернового сырья поверхностная микрофлора после облучения уничтожается через 6 с, а глубинная погибает через 120 с.

Длительный нагрев при микронизации ячменя довольно эффективно уменьшает токсичность зерновых культур, образовавшуюся в результате жизнедеятельности грибов. При изучении изменений содержания афлатоксина В1 было видно, что при искусственно зараженном зерне ячменя содержание афлатоксина В1 превышало 1000 мкг/кг. Воздействие ИК-обработки в течение 30 с уменьшило содержание афлатоксина В1 до 50-250 мкг/кг, а длительное облучение свыше 90 с привело к полной инактивации афлатоксина В1. Поэтому ИК-обработка зерновых культур является одним их эффективных способов обеззараживания зерна.

В третьей главе представлена математическая модель процесса микронизации зерна. Слой зерна, находящийся на поверхности транспортера микронизатора, будем рассматривать как горизонтальную пластину толщиной $2R$ (рисунок 4).

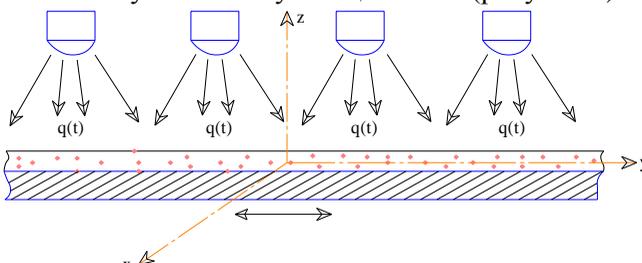


Рис. 4. Расчетная схема процесса микронизации зерна

В уравнение теплопереноса необходимо добавить слагаемое, которое должно отвечать за ИК-нагрев,

$$\tilde{q}(\tau) = Aq(\tau)\exp(k(R-z)), \quad (1)$$

так как толщина зерна очень мала, происходит понижение луча в толще продукта, значит необходимо считать уравнение линейным по координате z :

$$\frac{\partial T}{\partial \tau} = a \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} + \frac{\varepsilon r}{c} \frac{\partial U}{\partial \tau} + \frac{1}{c\rho} Aq. \quad (2)$$

Ввиду малой толщины зерна пренебрегаем процессами, которые происходят на краю зернового сырья, следовательно, граничные условия можно записывать лишь для $z = \pm R$, поэтому можно сказать, что мы рассматриваем эту задачу для бесконечной пластины.

Пренебрегая бародиффузией и термовлагопроводностью, запишем граничное условие для уравнения массопереноса в виде условия третьего рода на поток влаги, испаряющейся через поверхность пластины:

$$-\lambda_m(R, \tau) \frac{\partial U}{\partial z}(R, \tau) = \beta(R, \tau) \frac{\rho_s \rho_w (U(R, \tau) + 1)}{\rho_w + \rho_s U(R, \tau)} (U(R, \tau) - U_{\text{ср}}), \quad (3)$$

Запишем задачу массопереноса при сделанных допущениях:

$$\begin{cases} \frac{\partial U}{\partial \tau}(z, \tau) = B \frac{\partial^2 U}{\partial z^2}(z, \tau), \\ U(z, \tau_0) = C_0 + C_2 z^2, \\ \frac{\partial U}{\partial z}(R, \tau) = KU(R, \tau). \end{cases} \quad (4)$$

Система уравнений (4) является начально-краевой задачей третьего рода для уравнения теплопроводности. Тогда ее решение при $Bi \sim 1$ имеет вид

$$U(z, \tau) = D_1 \exp(-B\mu^2 \tau) \cos \mu x + D_0, \quad (5)$$

где D_1 , μ , D_0 – константы, которые определены из начального и граничного условия.

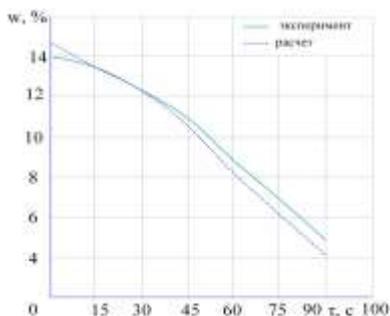


Рис. 5. Сравнение расчетных и экспериментальных данных

процесса микронизации пшеницы

Численное решение системы уравнений для периода убывающей скорости сушки осуществим с помощью математического пакета Maple 14. На рисунке 5 представлены расчетные и экспериментальные данные изменения влагосодержания пшеницы в процессе микронизации.

Полученные зависимости адекватно описывают изменение влагосодержания и температуры пшеницы в процессе микронизации: среднеквадратичное отклонение по абсолютному значению было не выше: для температуры - 10 % и для влагосодержания - 7 %.

В четвертой главе представлено исследование химического состава и питательности микронизированного зернового сырья. Опыты по оценке эффективности скармливания микронизированного ячменя в составе комбикормов-стартеров группам телят и поросят проводили совместно с ВИЖем на ферме «Овечкино» агрофирмы «Иваново» и в экспериментальном хозяйстве ВИЖа «Кленово-Чегодаево». Для проведения опытов создали по три примерно равные группы телят и поросят общей численностью соответственно 69 и 110 голов. Для контроля за ростом и развитием телят проводили их ежемесячное взвешивание. Опыт продолжался по достижении телятами 120-дневного возраста (учетный период составил 86 дней). Для опыта по принципу аналогов (с учетом породы, живой массы, сроков опороса, количества поросят в гнезде и их выравненности) были подобраны 3 группы маток по 9 голов в каждой с количеством поросят по 104 головы в 1 и 3 группах и 102 во 2-й. Содержание маток было индивидуальное, кормление двухразовое с

увлажненным комбикормом, одинаковым для всех групп.

Из анализа результатов исследований углеводного комплекса ячменя видно, что с увеличением температуры экспозиции обработки происходит постепенное уменьшение содержания крахмала. Так, например, при температуре 115 °С и времени обработки 30 с содержание крахмала уменьшилось с 45,57 - 37,54 %. Рациональный режим обработки ячменя - температура 140 °С и время обработки 40 с. При этом режиме уменьшение крахмала составляет 22,46 %.

Из данных видно, что изменение степени клейстеризации и декстринизации крахмала находится в зависимости от температуры и времени обработки. Так, например, при температуре 115 °С и времени обработки 30 с степень клейстеризации достигает 35 %, степень декстринизации – 27,7 %, а при температуре 140 °С и времени обработки 40 с 40 и 60,7 %.

Таблица 3

Результаты исследований степени клейстеризации и декстринизации крахмала в ячмене, кукурузе и пшенице

Наименование культуры	Температура, °С	Время обработки, с	Степень клейстеризации, %	Степень декстринизации, %
<i>Ячмень</i>				
Исходный	-	-	30,0	-
Микронизированный	115	30	35,0	27,7
	120	35	37,0	36,8
	140	40	40,0	60,7
	150	50	45,0	59,4
	165	60	57,0	59,2
	170	70	65,0	59,2
<i>Кукуруза</i>				
Исходный	-	-	40,0	-
Микронизированный	120	35	45,0	19,8
	145	45	57,0	41,9
	160	60	58,0	41,1
<i>Пшеница</i>				
Исходный	-	-	40	-
Микронизированный	115	30	55	28,5
	150	45	68	56,4
	175	60	68	54,6

Результаты исследования белкового комплекса ячменя, подвергнутого микронизации, показывают, что общее содержание белков с увеличением температуры и экспозиции обработки не изменяется и равно 12,06 - 12,43 %. Однако ИК-излучение приводит к существенным изменениям белковых фракций. Установлено, что водорастворимые фракции белка уменьшаются в 1,2 - 1,6 раза, солерастворимые - в 1,1 - 1,3, спирторастворимые - в 1,3 раза. При этом одновременно увеличиваются щелочерастворимые фракции (в 1,0 - 1,2 раза) и белки нерастворимого остатка (в 1,4 - 1,6 раза). Общее содержание белков пшеницы и кукурузы не изменяется и равно соответственно 13,51 - 13,29 % и 14,86 - 14,47 %. Так как оптимальным режимом ИК-обработки для кукурузы является температура 145 °С и время обработки 45 с, то при данном режиме уменьшение водо-соле-спирторастворимых фракций снижается: альбумины в 1,2 раза; глобулины в 1,2 раза; проламины в 1,3 раза.

Для исследования питательности микронизированного зерна были приготовлены опытные партии комбикормов по следующему рецепту, %: кукуруза – 20; пшеница – 52; шрот хлопковый – 3,0; шрот подсолнечный – 11,0; отруби – 4,0; лизин – 0,5; травяная мука – 1,0; рыбная мука – 4,5; сухое обезжиренное молоко – 1,0; трикалийфосфат – 1,5; премикс – 1,0.

Результаты предварительных исследований показали, что питательность микронизированного зерна повышается по сравнению с исходным. Так, например, в результате ИК-обработки зерна кукурузы, пшеницы, ячменя повышается по сравнению с необработанным зерном уровень обменной энергии соответственно с 14,3 до 15,8; с 12,9 до 14,4; с 11,5 до 13,7 мДж/кг.

Для телят опытных групп за период с рождения и до шестимесячного возраста среднесуточный прирост превысил контроль на 19 - 50 г или на 2,5 - 6,8 %. Такие различия были статистически достоверны между телятами 1 и 2 групп, что говорит о благоприятном влиянии корма из обработанного ячменя на прирост живой массы телят.

Таблица 4

Прирост подопытных телят

Наименование показателей	Группы		
	1	2	3
Среднесуточный прирост, г:			
с рождения до начала опыта	466,0±21,90	470±24,18	474±20,47
за период опыта	859±26,98	947±35,23	885±24,22
с рождения до 6-месячного возраста	759±15,84	809±17,61	778±17,09
Затраты кормов на 1 кг прироста, к.ед.	4,87	4,42	4,43

В таблице 4 представлены данные по динамике живой массы и прирост подопытных телят с рождения до 6-месячного возраста. Среднесуточный прирост телят с рождения до начала опыта между группами различался несущественно и колебался в пределах от 466 до 474 г. За период опыта среднесуточный прирост телят увеличился на 26 - 88 г или на 3 – 10 %

Таким образом, резюмируя вышеизложенное по приросту, можно сделать вывод, что использование в составе стартерных комбикормов микронизированного ячменя позволяет повысить среднесуточный прирост живой массы телят по сравнению со скормливанием комбикорма с нативным ячменем.

Кормление комбикормом с ячменем, обработанным способом микронизации, положительно сказалось на росте привеса поросят. В процессе кормления уже на 3-й день поросята 2-й группы полностью съедали контрольный образец корма. А уже на 5-й день есть начали корма поросята и 3-й группы, получавшие корма со сниженным содержанием сухого обезжиренного молока. Животные контрольной группы начали есть корма на 7-й день.

Тенденция к увеличению среднесуточного потребления корма сохранилась как в послеотъемный период, так и в целом за опыт (таблица 5). В целом за опыт поросята, получавшие комбикорм с обработанным зерном, съели комбикорма больше по сравнению с контролем на 4,31 и 8,15 %.

Таблица 5

Итоговые результаты научно-производственного опыта на поросятах

Наименование показателей	Группы		
	1	2	3
Съедено корма за опыт, кг	20,85	21,75	22,55
Среднесуточный прирост, г	291	337	304
Среднесуточный прирост, %	100,0	115,8	104,4
Среднесуточное потребление корма, г	417	435	451
Затраты кормов на 1 кг прироста, к.ед.	1,432	1,290	1,480
Затраты кормов на 1 кг прироста, % к контролю	100,0	90,0	103,3
Сохранность, %	82,9	95,1	92,3

Таким образом, можно констатировать, что обработанный ячмень, входящий в состав стартерного комбикорма повышает прирост живой массы поросят.

Энергетическая ценность рационов рассчитана на основе данных о фактическом потреблении кормов. Она находилась в пределах от 3,0 до 3,1 корм. ед. или 27,1 - 28,0 МДж обменной энергии.

Содержание в рационах животных клетчатки, сырого и перевариваемого протеина, кальция и фосфора было приведено в соответствие с нормами кормления телят. Однако необходимо отметить низкое содержание жира в рационах телят. Это, очевидно, связано с тем, что существующие нормы рассчитаны на высокий расход цельного молока при кормлении телят. По степени удовлетворения энергии, биологически активным и питательным веществом, качественной и количественной оценке потребности телят можно говорить о динамике живой массы и величине ее прироста.

В таблице 6 представлены данные по динамике живой массы и приросте подопытных телят с рождения до шестимесячного возраста. Показано, что живая масса телят в период формирования групп была практически одинаковой. В конце опыта живая масса телят на 2,0 - 6,7 кг или на 2 - 6 % была выше, чем в контрольной группе, т. е. можно говорить о положительном влиянии термообработки ячменя, входящего в состав стартерных комбикормов.

Таблица 6

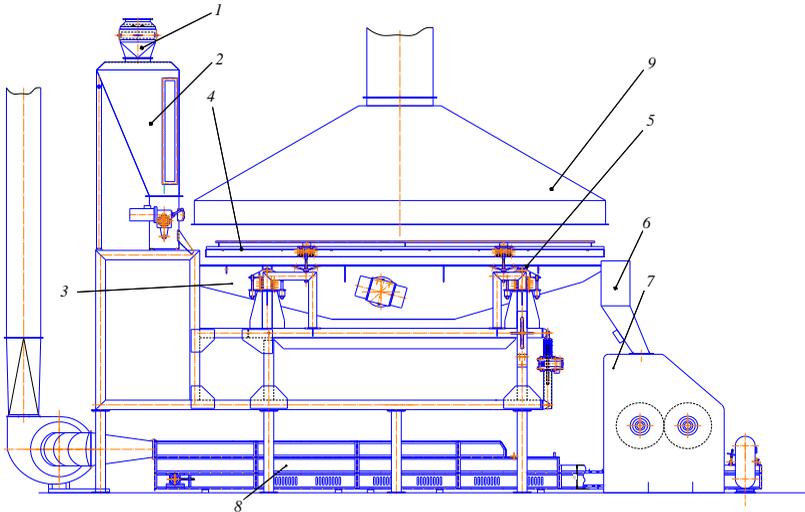
Динамика живой массы и прирост подопытных телят

Показатели	Группа		
	1	2	3
<i>Живая масса, кг</i>			
При постановке на опыт	43,3±1,52	42,4±1,78	43,1±1,5
При снятии с опыта	117,2±2,87	123,9±3,90	119,2±2,97
В 6-месячном возрасте	165,8±3,03	173,8±3,32	168,3±3,11
<i>Валовый прирост, кг</i>			
За период опыта	73,9±2,32	81,5±3,03	76,1±2,08
С рождения до 4-х месяцев	90,3±2,77	98,2±3,78	92,8±3,10
С рождения до 6-месячного возраста	138,9±2,90	148,1±3,22	142,4±3,12
<i>Среднесуточный прирост, г</i>			
С рождения до начала опыта	466,0±21,90	470±24,18	474±20,47
За период опыта	859±26,98	947±35,23	885±24,22
С рождения до 6-месячного возраста	759±15,84	809±17,61	778±17,09
Затраты кормов на 1 кг прироста, к.ед.	4,87	4,42	4,73

Валовый прирост телят с рождения и до начала опыта был различен несущественно и составил 16,4 - 16,7 кг. Наибольший валовый прирост живой массы за опытный период был отмечен у животных 2-й группы, которые в составе рациона получали стартерный комбикорм на основе СКР-I с микронизированным ячменем. Среднесуточный прирост телят с рождения до начала опыта между группами различался несущественно и менялся в пределах от 466 до 474 г. За опытный период среднесуточный прирост телят контрольной группы уменьшился и составил от 26 до 88 г или 3 - 10 %. За период с рождения до шестимесячного возраста прирост телят увеличился на 19 - 50 г или 2,5 - 6,8 %.

Таким образом, можно сделать вывод, что использование в составе стартерных комбикормов микронизированного ячменя позволяет повысить среднесуточный прирост живой массы телят по сравнению со скармливанием комбикорма с нативным ячменем. Кроме того, микронизация ячменя позволяет исключить из состава комбикорма-стартера такие дорогостоящие и дефицитные компоненты, как сухое обезжиренное молоко и сахар, без ущерба для роста и развития телят.

В пятой главе приводится описание разработанного комплекта оборудования для микронизации зерна (рисунок 6), включающего магнитный сепаратор 1, бункер-дозатор 2, микронизатор в составе вибротранспортера 3, блок газовых беспламенных ИК-горелок 4, газораспределительную аппаратуру 5, вытяжной зонт 9, приемный бункер 6, плющильную машину 7, охладитель 8.



1 – магнитный сепаратор; 2 – бункер-дозатор; 3 – вибротранспортер;
4 – блок газовых беспламенных ИК-горелок; 5 – газораспределительная
аппаратура; 6 – приемный бункер; 7 – плющильная машина; 8 –
охладитель; 9 – вытяжной зонт

Рис. 6. Комплект оборудования микронизации зерна:

Условные обозначения

α – коэффициент температуропроводности продукта, $\text{м}^2/\text{с}$; ε – коэффициент фазового превращения; δ – термоградиентный коэффициент; c – удельная массовая теплоемкость вещества, $\text{кДж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$; b – коэффициент массопереноса (диффузии), $\text{м}^2/\text{с}$; r – удельная теплота испарения воды, $\text{кДж}/\text{кг}$; T – температура, К ; t , τ – время, с ; A – коэффициент поглощения; k – коэффициент инстинкции (коэффициент ослабления луча); λ_m – коэффициент массопроводности; β – коэффициент

массоотдачи; U_{cp} – влагосодержание окружающей среды; W – влажность, %; u – влагосодержание, кг/кг; ∇ – градиент.

Основные выводы и результаты

1. Изучены зерновые культуры (пшеница, ячмень, кукуруза) как объекты исследования. Методом нестационарного теплового режима определены теплофизические характеристики микронизированного зерна для интервала температур 20...80 °С. Установлено, что с увеличением температуры удельная теплоемкость, коэффициенты теплопроводности и температуропроводности микронизированного зерна повышаются. Определены оптические характеристики микронизированного зерна: установлено, что коэффициенты проникновения, отражения понижаются, а коэффициент поглощения повышается с увеличением длины волны ИК-излучения.

2. Выявлены основные кинетические закономерности процесса микронизации зерновых культур (пшеницы, ячменя, кукурузы). Совместный анализ спектральных характеристик зерна, волновых характеристик ИК-излучателей и энергетических параметров процесса микронизации при одностороннем энергоподводе определил рациональные технологические параметры процесса микронизации зерновых культур (пшеницы, ячменя, кукурузы): обработка монослоя зерна, движущегося со скоростью 0,083 - 0,125 м/с с поворачиванием зерен, при плотности потока излучения 25 - 35 кВт/м².

3. Разработана математическая модель процесса микронизации зерновых культур (пшеницы, ячменя, кукурузы), описывающая период убывающей скорости сушки, когда фронт испарения влаги проникает внутрь продукта.

4. Комплексная оценка качества комбикормов из микронизированного зерна со сбалансированными по питательной ценности компонентами показала полное уничтожение бактериальной обсемененности и грибной микрофлоры.

5. Установлено, что с увеличением влажности зерна деструкция крахмала зерна повышается. Наиболее эффективно проходит процесс микронизации пропаренного зерна с влажностью 19 %, когда степень декстринизации и переваримость крахмала (in vitro) ячменя и пшеницы увеличилась до 30 % и 40 - 45 мг/г, это в 2,5 - 3 раза выше, чем в зерне с исходной влажностью. В обработанной кукурузе эти показатели повышаются до 40 % и 55 мг/г соответственно или в 3,5 раза.

6. Оценка эффективности использования комбикормов при скармливании показала, что среднесуточный прирост телят опытных

групп был выше контроля на 19 - 50 г или на 2,5 - 6,8 %. Поросята, получавшие комбикорм с обработанным зерном, съели комбикорма больше по сравнению с контролем на 4,31 и 8,15 % соответственно, что свидетельствует о повышении его поедаемости, а среднесуточный прирост составил 291 - 337 г.

7. Разработана конструкция микронизатора с плоскими газовыми излучателями и вибрационным транспортирующим органом и четыре технологии производства комбикормов из микронизированного зерна для кормления сельскохозяйственных животных, обеспечивающие производство ячменя увлажненного микронизированного; производство хлопьев из ячменя увлажненного микронизированного; производство кукурузы, пшеницы увлажненной микронизированной; производство хлопьев из кукурузы, пшеницы увлажненной микронизированной.

8. Разработана рабочая документация, изготовлен и испытан комплект оборудования производительностью 2 т/ч. В составе: магнитный сепаратор, бункер-дозатор, микронизатор, плющильная машина, горизонтальный охладитель. Проведенные производственно-технологические испытания на ООО «КЗГО» показали соответствие параметров комплекта оборудования микронизации зерна техническим условиям и высокую эксплуатационную надежность в условиях производства.

**Основные положения диссертации опубликованы
в следующих работах:**

1. **Кочанов, Д.С.** Анализ изменения температуры и влажности зерна в процессе его микронизации [Текст] / Д. С. Кочанов // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. – 2013. – № 4 (58). – С. 18-21.
2. **Кочанов, Д.С.** Влияние засоренности зерна на процесс микронизации [Текст] / Д. С. Кочанов // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. – 2014. – № 2 (60). – С. 25-27.
3. **Афанасьев, В.А.** Оценка изменения белкового комплекса зерна при микронизации [Текст] / В.А. Афанасьев, Д.С. Кочанов // Материалы Международной научно-технической конференции «Инновационные технологии в пищевой промышленности: наука, образование и производство» - 2013. С. 430-435.
4. **Афанасьев, В.А.** Влияние микронизации на санитарное состояние зерна [Текст] / В.А. Афанасьев, Д.С. Кочанов // Материалы Международной научно-технической конференции «Инновационные технологии в пищевой промышленности: наука, образование и производство» - 2013. С. 846-848.
5. **Афанасьев, В.А.** Математическое моделирование процесса микронизации зерна [Текст] / В.А. Афанасьев, Е.Ю. Желтоухова, Д.С. Кочанов // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. – 2014. – № 3 (61). – С. 6-10.
6. **Афанасьев, В. А.** Комплект оборудования для микронизации зерна с последующим плошением [Текст] / В.А. Афанасьев, И.Б. Мещеряков, Д.С. Кочанов // Комбикорма. – 2014. – № 10. – С. 52-56.

Подписано в печать 27.10.2014. Формат 60×84 ¹/₁₆.
Усл. печ. л. 1,0. Тираж 100 экз. Заказ 221.

ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный университет инженерных технологий»
(ФГБОУ ВПО ВГУИТ)
Отдел полиграфии ФГБОУ ВПО «ВГУИТ»
Адрес университета и отдела полиграфии
394036, Воронеж, пр. Революции, 19