

На правах рукописи



**КИСЕЛЕВ Алексей Алексеевич**

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОЦЕССА ГРАНУЛИРОВАНИЯ  
КОРМОВЫХ ДОБАВОК С ПОВЫШЕННЫМ СОДЕРЖАНИЕМ  
МЕЛАССЫ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ КОМБИКОРМОВ**

Специальности 05.18.12 – «Процессы и аппараты пищевых производств» и 05.18.01 – «Технология обработки, хранения и переработки злаковых, бобовых культур, крупяных продуктов, плодоовощной продукции и виноградарства»

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Воронеж – 2016

Работа выполнена в ОАО «Всероссийский научно-исследовательский институт комбикормовой промышленности» (ОАО «ВНИИКП»)

Научный руководитель – доктор технических наук, старший научный сотрудник

**Афанасьев Валерий Андреевич**

Официальные оппоненты – **Панин Иван Григорьевич**

доктор технических наук, старший научный сотрудник, ООО «Авита», генеральный директор

**Дранныков Алексей Викторович**

доктор технических наук, доцент, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий», декан факультета пищевых машин и автоматов

Ведущая организация – Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», г. Воронеж

Защита состоится «22» сентября 2016 г. в 13<sup>30</sup> на заседании совета по защите диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук Д 212.035.01 при ФГБОУ ВО «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 направлять в адрес диссертационного совета университета. Автореферат размещен на сайтах Высшей аттестационной комиссии при Министерстве образования и науки Российской Федерации <https://vak3.ed.gov.ru> и ВГУИТ <http://www.vsuet.ru> «07» июля 2016 г.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВО «ВГУИТ». Полный текст диссертации размещен в сети Интернет на официальном сайте ФГБОУ ВО «ВГУИТ» <http://www.vsuet.ru> «01» июля 2016 г.

Автореферат розослан «18» августа 2016 г.

Ученый секретарь совета по защите диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук Д 212.035.01  
доцент



Л. Н. Фролова

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность работы.** Одним из основных направлений «Государственной программы развития сельского хозяйства и регулирования рынков сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия на 2013-2020 годы» является развитие животноводства. По оценке Минсельхоза продовольственная безопасность по свинине и птице находится на весьма высоком уровне – 92,0 и 94,5 % соответственно, а по мясу КРС только на уровне 74-75 %. Одним из главных условий развития животноводства в нашей стране является рациональное кормление, обеспечивающее потребность животных во всех питательных веществах. Известно, что при недостатке в рационах КРС энергии и легкоусвояемых углеводов (сахара, крахмал), протеин и аминокислоты расходуются на энергетические нужды. Кроме того, наблюдается нарушение энергетического и углеводно-жирового обмена, снижается продуктивность, возникают проблемы с воспроизводством.

Решение проблемы сбалансированного кормления наиболее эффективно при производстве и использовании балансирующих кормовых добавок. Однако балансирующих добавок, содержащих, кроме белковых и минеральных компонентов, мелассу как источник сахара, практически не производят. Связано это с тем, что отсутствует технология, позволяющая вводить мелассу в количестве 20 % и получить добавку в технологичной и удобной для использования товарной форме. Развитие животноводства невозможно без научно обоснованного кормления, без производства полнорационных комбикормов, потребность в которых в России только для сельскохозяйственных организаций составляет на: 2015 г. – 35,5 млн т, а к 2020 г. – 40,7 млн т. По данным Росстата, объем производства комбикормов, БВМК и премиксов за последние годы ежегодно увеличивается на 7-10 %.

В 90-е годы XX века производство белково-витаминно-минеральных концентратов (БВМК) и премиксов практически полностью было прекращено, поэтому значительная часть премиксов и БВМК ввозилась из-за рубежа. За последние годы наблюдался постоянный рост объемов производства белково-витаминно-минеральных концентратов (БВМК) и премиксов.

Так, в частности, за 11 месяцев 2015 г. в России произвели в 1,34 раза больше БВМК, чем в аналогичном периоде 2014 г.

В области производства премиксов сохраняется тенденция на увеличение их производства, которое составило в 2014 г. 222,7 тыс. т и увеличено по сравнению с 2013 г. на 18,5 %. За 11 месяцев 2015 г. в России произвели на 14,4 % больше премиксов, чем в аналогичном периоде прошлого года, что составило 227,7 тыс. т. Однако все сырье для производства премиксов поступает из-за рубежа, а для БВМК – 75-80 %. Цены на сырье ежегодно растут, дополнительно начисляется ввозная пошлина, что оказывает влияние на стоимость комбикормов.

Работа проводилась в соответствии с планом госбюджетной НИР кафедры технологии хлебопекарного, кондитерского, макаронного и зерноперерабатывающих производств ФГБОУ ВО «ВГУИТ» по теме «Разработка энерго-, ресурсосберегающих и экологически чистых технологий хранения и переработки сельскохозяйственного сырья в конкурентоспособные продукты с программируемыми свойствами и соответствующим аппаратурным оформлением на предприятиях АПК» на 2011-2015 гг. (№ гос. регистрации 01201253866) и научно-технической программой Союзного государства «Разработка перспективных ресурсосберегающих, экологически чистых технологий и оборудования для производства биологически полноценных комбикормов» на 2011-2013 гг., утвержденной постановлением Совета Министров Союзного государства от 6 октября 2011 г. № 27 согласно контракту № 1068/13 от 6 декабря 2011 г.

**Цель диссертационной работы** – развитие научно-практических основ процесса гранулирования кормовых углеводно-витаминно-минеральных добавок (УВМД) с повышенным содержанием мелассы (более 20 %) для крупного рогатого скота (КРС); разработка рекомендаций по проектированию и внедрению в производство высокоэффективного пресс-гранулятора, направленных на минимизацию удельных энергетических затрат, повышение качества гранулированных кормовых добавок.

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

– научное обоснование выбора рецептурного состава смеси

кормовых добавок с повышенным содержанием мелассы при производстве комбикормов для КРС;

– исследование следующих способов прессования: в брикеты, в гранулы на прессе с кольцевой матрицей, в гранулы на экструдере КМЗ-2У и в гранулы на экспериментальном пресс-грануляторе, последующий сравнительный анализ, оценка их эффективности и выбор наиболее рационального;

– исследование основных закономерностей процесса влажного и сухого гранулирования (с использованием пара и без пара) кормовых добавок с повышенным содержанием мелассы на прессе с кольцевой матрицей, на экструдере КМЗ-2У и на экспериментальном пресс-грануляторе;

– выбор и обоснование рациональных параметров процесса влажного гранулирования кормовых добавок с повышенным содержанием мелассы;

– математическое моделирование течения расплава биополимера в пресс-грануляторе;

– определение эффективности потребления гранулированных кормовых добавок с повышенным содержанием мелассы при производстве комбикормов;

– разработка конструкции пресс-гранулятора и технологии производства гранулированных кормовых добавок с повышенным содержанием мелассы;

– разработка технологии гранулированных кормовых добавок с повышенным содержанием мелассы для КРС, способствующих росту привесов, сокращению сроков откорма, увеличению среднесуточного удоя молока, снижению затрат корма, технологической линии по производству УВМД, разработка нормативно-технической документации;

– оценка энергетической эффективности технологической линии производства УВМД с помощью эксергетического анализа;

– проведение зоотехнических испытаний новых видов ГК, промышленная апробация, технико-экономическое обоснование и внедрение разработанных технологий.

**Научная новизна.** Разработан подход в создании энергоэффективного процесса гранулирования кормовой добавки с повышенным содержанием мелассы, что достигается моделированием

и оптимизацией перспективной конструкции гранулятора для гранулирования кормовой добавки с повышенным содержанием мелассы.

Обоснован выбор рецептурного состава смеси для производства гранулированных кормовых добавок с повышенным содержанием мелассы.

Выявлены основные закономерности кинетики процесса влажного и сухого гранулирования кормовых добавок с повышенным содержанием мелассы на прессе с кольцевой матрицей, на экструдере КМЗ-2У и на экспериментальном пресс-грануляторе. Выявлены основные закономерности изменения технологических параметров (температуры, давления и влажности) в зависимости от длины рабочей камеры гранулятора.

Разработана математическая модель, описывающая течение расплава смеси кормовых добавок с повышенным содержанием мелассы в пресс-грануляторе, позволяющая рассчитать скорость расплава, объемный расход, время пребывания расплава в канале пресс-гранулятора и потери давления.

**Практическая ценность.** Определены рациональные параметры процесса переработки исследуемой зерновой смеси в грануляторе. Получены гранулированные кормовые добавки с повышенным содержанием мелассы, обладающие высокой биологической и энергетической ценностью, и со сбалансированными по питательной ценности компонентами, способствующие росту привесов, сокращению сроков откорма, увеличению среднесуточного удоя молока и снижению затрат корма.

Разработана новая технология производства гранулирования кормовых добавок с повышенным содержанием мелассы. На основе экспериментальных исследований разработана техническая документация ТУ 10.91.10-045-00932117-2016 «Углеводно-витаминно-минеральная добавка для КРС», рекомендации по применению углеводно-витаминно-минеральных добавок (УВМД) в кормлении КРС, типовой технологический регламент линии производства углеводно-витаминно-минеральных добавок (УВМД) для КРС.

Разработана конструкторская документация и изготовлен опытный образец пресс-гранулятора. Разработана линия для про-

изводства высокоэффективных экологически чистых гранулированных кормовых добавок с повышенным содержанием мелассы. Выполнен эксергетический анализ процесса гранулирования кормовых добавок с повышенным содержанием мелассы, свидетельствующий о термодинамическом совершенстве предлагаемого способа производства углеводно-витаминно-минеральных добавок.

Годовой экономический эффект от использования гранулированных кормовых добавок с повышенным содержанием мелассы составит 4 512 900 р.

**Апробация работы.** Основные положения диссертационной работы докладывались и обсуждались на международных научно-технических конференциях: (Воронеж, 2015, 2016), (Краснодар, 2015). Результаты работы демонстрировались на межрегиональной выставке «Агросезон 2014» (Воронеж, 2014), агропромышленной выставке «Золотая осень» (Москва, ВДНХ, 2014), 18-й Международной специализированной торгово-промышленной выставке «Зерно–Комбикорма–Ветеринария – 2013» (Москва, ВВЦ, 2013), по итогам которых работа награждена дипломами и золотой медалью.

**Публикации.** По теме диссертации опубликовано 7 работ, в том числе 2 статьи в журналах, рекомендованных ВАК.

**Структура и объем работы.** Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы и приложений. Работа изложена на 191 странице машинописного текста, содержит 49 рисунков и 27 таблиц. Список литературы включает 110 наименований, в том числе 47 на иностранных языках. Приложения к диссертации представлены на 60 страницах.

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

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

**В первой главе** дана краткая характеристика исходных компонентов кормовых добавок, мелассы и процесса гранулирования, систематизированы литературные данные о современном

состоянии технологий гранулированных кормовых добавок с повышенным содержанием мелассы, приведен обзор современных конструкций грануляторов, технологических линий производства гранулирования кормовых добавок с повышенным содержанием мелассы и анализ математических моделей процесса гранулирования. На основании проведенного анализа обоснован выбор объекта исследования, сформулированы цель и задачи диссертационной работы и определены методы их решения.

**Во второй главе** приведено обоснование выбора рецептурного состава смеси для производства гранулированных кормовых добавок с повышенным содержанием мелассы для КРС с использованием программы ВНИИКП 5.0.

В качестве компонентов в состав кормовых добавок включали: пшеничные отруби, шрот подсолнечный, меласса, жмых подсолнечный, жом сушеный, кормовые фосфаты, а также минеральное сырье и премикс. Для обоснования выбора исходных компонентов кормовых добавок учитывали следующие факторы: необходимость содержания в готовом продукте большой концентрации белка; высокие показатели пищевой, энергетической и биологической ценности, обменной энергии. Были получены рецептуры балансирующих кормовых добавок для рационов КРС.

Затем были проведены исследования следующих способов прессования: в брикеты, в гранулы на прессе с кольцевой матрицей, в гранулы на экструдере КМЗ-2У и в гранулы на экспериментальном пресс-грануляторе.

На пресс-грануляторе фирмы «Simon Hessen», оборудованном кольцевой матрицей с отверстиями диаметром 10 мм, были выполнены две серии экспериментов по влажному и сухому гранулированию УВДМ (с использованием пара и без пара). В первой серии экспериментов с использованием пара под давлением 0,4 МПа смешивание измельченных компонентов и отрубей осуществляли в ленточном противоточном смесителе. Мелассу вводили непосредственно в смеситель струйным способом в процессе смешивания компонентов. Продолжительность чистого смешивания после ввода мелассы составляла 5 мин. Приготовленные смеси гранулировали при установке на прессе матрицы с отверстиями диаметром 10 мм (таблица 1).

Т а б л и ц а 1 – Технические показатели процесса гранулирования

Рецепт №	Влажность, %		Производительность пресса, кг/ч	Уд. расход эл. энергии, к Вт ч/т	Влажность готовых гранул, %
	исходной смеси	пропаренной смеси			
1	8,9	14,8	287	13,1	12,4
2	7,1	14,1	380	11,8	11,5
3	11,0	16,3	265	14,6	12,8
4	11,4	15,9	228	15,3	13,1
5	7,5	14,9	327	12,8	12,1
6	10,7	15,3	252	14,4	12,2

Из таблицы 1 видно, что технические показатели были выше при гранулировании добавок рецептов № 2 и 5, содержащих наибольшее количество подсолнечного жмыха (65 %). Производительность пресса была максимальной и составила 327-380 кг/ч, удельный расход электроэнергии 11,8-12,8 кВт ч/т.

Готовые гранулы добавок имели удовлетворительное качество. Прочность гранул всех рецептов, характеризующая содержанием мелкой фракции частиц (проход через сито с отверстиями диаметром 2 мм – 1,3-4,3 %), была сравнительно невысокой.

Углеводно-витаминно-минеральные добавки в зависимости от рецепта содержали 12,5-21,5 % сырого протеина; 4,2-10,7 % жира; 4,0-5,8 % растворимых углеводов (сахаров); 10,7-18,9 % клетчатки (рисунок 1).

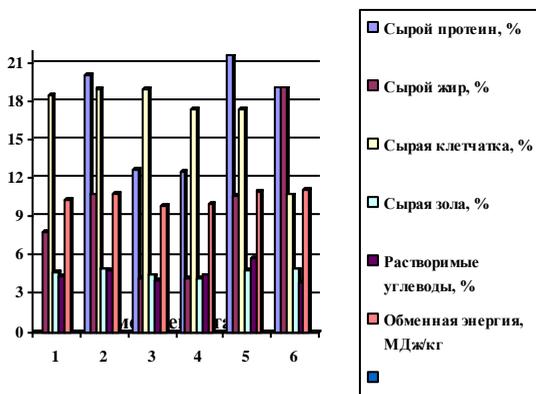


Рисунок 1 – Питательность углеводно-витаминно-минеральных добавок

Во второй серии экспериментов содержание мелассы в добавках увеличили до 20-25 % и гранулировали на прессе без пара. Для снижения вязкости и лучшего

распределения мелассу в добавки вводили в виде водного раствора в соотношении 5:1 – 2:1. Результаты исследований показали, что резкое ухудшение технологических свойств добавок далось при вводе мелассы свыше 8-10 %. При больших количествах ввода мелассы добавки теряют сыпучесть, становятся, то есть нетехнологичными. Высушенная углеводная добавка имела хорошую сыпучесть и включала мелкую фракцию и крошку с частицами размером от 5 до 20-25 мм. После охлаждения они становились более прочными и твердыми.

Полученные результаты позволяют сделать вывод о том, что гранулирование добавок, содержащих мелассу в количестве 20-25 %, без пара очень затруднительно, качество получаемых гранул неудовлетворительное и не гарантируется из-за нестабильности процесса гранулирования.

Выявлено, что в процессе влажного гранулирования УВМД на экструдере КМЗ-2У влажность добавок снижалась на 8-9 % и составляла 10,0-10,8 %. Уменьшение влажности было вызвано нагревом продукта за счет возникающих сил трения при гранулировании. В целом процесс гранулирования добавок на экструдере КМЗ-2У происходил хуже, чем при использовании пресса, при резком снижении производительности с 300-500 до 50 кг/ч.

Основные показатели питательности гранулированных УВМД при использовании пресс-гранулятора фирмы «Simon Hesse» и экструдера КМЗ-2У представлены в таблице 2.

Т а б л и ц а 2 – Показатели питательности гранулированных добавок

Рецепт добавки, №	Вид оборудования	Растворимые углеводы, %	Сырой протеин, %	Обменная энергия, МДж/кг
2 (углеводная)	Пресс	19,9	12,7	8,55
	Экструдер	20,4	13,2	8,55
3 (комплексная)	Пресс	16,2	15,5	8,50
4 (комплексная)	Пресс	13,7	14,1	8,56
	Экструдер	19,3	14,7	8,56
5 (комплексная)	Пресс	16,3	13,8	9,39
6 (комплексная)	Пресс	15,7	12,4	9,56
7 (комплексная)	Пресс	20,7	14,9	9,24

Наиболее оптимальной для гранулирования была комплексная добавка рецепта № 4, обеспечивающая получение приемлемого качества гранул. Ее состав можно варьировать по количественному содержанию отдельных компонентов и тем самым адресно готовить для различных групп КРС.

Более перспективным является способ влажного гранулирования УВМД на шнековом прессе со сменными матрицами с отверстиями диаметром 6-15 мм. Получаемые при этом гранулы по своим органолептическим и физическим показателям отвечают требованиям, предъявляемым к гранулированным комбикормам (крошимость их составляет 2,0 - 7,5 %, а содержание мелкой фракции не превышает 7,0 %). Мелассу в добавки вводили в виде водного раствора в соотношении 3:1 – 5:1 струйным способом при непрерывном перемешивании с остальными компонентами в смесителе. Установлено, что с увеличением ввода водного раствора мелассы влажность и объемная масса добавки увеличивается, а сыпучесть незначительно снижается.

Приготовленные смеси УВМД гранулировали на шнековом прессе при установке матрицы с отверстиями диаметром 10 мм. Следует отметить, что процесс прессования добавок протекал стабильно, продукт непрерывно, свободно выходил из отверстий матрицы. Анализ зависимости изменения температуры УВМД от длины рабочей камеры гранулятора указывает на экспоненциальный рост температуры (рисунок 2).

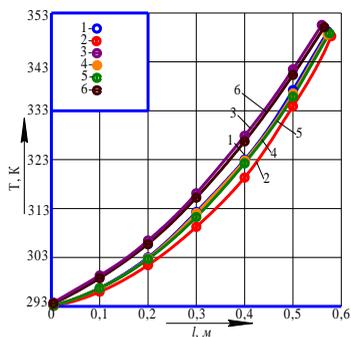


Рисунок 2 – Зависимость изменения температуры УВМД по длине гранулятора

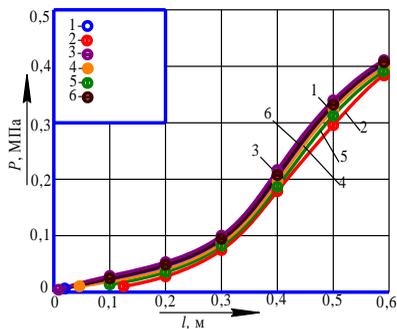


Рисунок 3 – Зависимость изменения давления УВМД по длине гранулятора

При этом характер изменения температуры УВМД по длине рабочей камеры гранулятора аналогичен (рисунок 3).

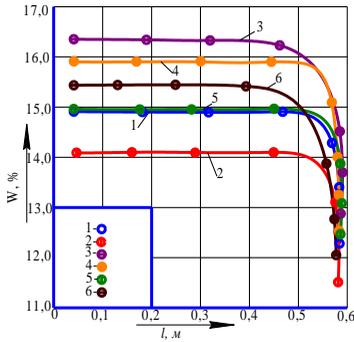


Рисунок 4 – Зависимость изменения влажности УВМД по длине гранулятора

Отличительной особенностью изменения влажности УВМД по длине гранулятора (рисунок 4) являлось практически постоянная влажность продукта по всей длине рабочей камеры гранулятора и резкое снижение за счет частичного испарения влаги из горячих гранул на выходе из пресса.

Результаты анализов показали, что гранулированные добавки характеризуются достаточно высокими прочностными свойствами. Так, крошимость гранул не превышала предельного значения, установленного для гранулированных комбикормов (не более 10 %).

Другой важный показатель гранулированного продукта, проход через сито с отверстиями диаметром 2 мм, находился на уровне 5-7 % и был значительно меньше допустимого предельного значения (не более 22 %).

**В третьей главе** разработана математическая модель для неизотермического течения расплава в грануляторе. Было получена формула для расчета скорости сдвига для течения расплава в грануляторе:

$$v_z(r) = \frac{R^2 \Delta p}{4\eta L} \left[ 1 - \left( \frac{r}{R} \right)^2 + 2\sqrt{\frac{k^2 - 1}{2 \ln k}} \ln \left( \frac{r}{R} \right) \right], \quad (1)$$

и выражение для максимальной скорости потока  $(v_2)_{\max}$ :

$$(v_z)_{\max} = \frac{R^2 \Delta p}{4\eta L} \left\{ 1 - \frac{k^2 - 1}{2 \ln k} \left[ 1 - \ln \left( \frac{k^2 - 1}{2 \ln k} \right) \right] \right\}. \quad (2)$$

Средняя скорость рассчитывается по уравнению

$$\bar{v}_z = \frac{R^2 \Delta p}{4\eta L} \left[ \frac{1-k^4}{1-k^2} - \frac{k^2-1}{2 \ln k} \right]. \quad (3)$$

Умножая выражение для средней скорости на площадь поперечного сечения кольцевого зазора, получаем уравнение для определения объемного расхода  $Q$ :

$$Q = \pi R^2 (1-k^2) \cdot \bar{v}_z = \frac{\pi R^4}{4L} \left[ (1-k^4) - 0,7(k^2-1)^{3/2} \ln k \right] \frac{\Delta p}{\eta}. \quad (4)$$

Среднее время пребывания расплава в канале обратно пропорционально средней скорости:

$$\bar{t} \approx L / \bar{v}_z = \frac{8\eta L^2}{R^2 \Delta p} \left[ \frac{1-k^4}{1-k^2} - \sqrt{\frac{k^2-1}{2 \ln k}} \right]^{-1}. \quad (5)$$

Расчет осевой скорости также проводился для  $N$  участков (рисунки 5 и 6). Результаты расчетов по полученным уравнениям хорошо согласуются с экспериментальными данными, средне-квадратичное отклонение по абсолютному значению не превышало для осевой скорости 16,5 % и объемного расхода 19,0 %.

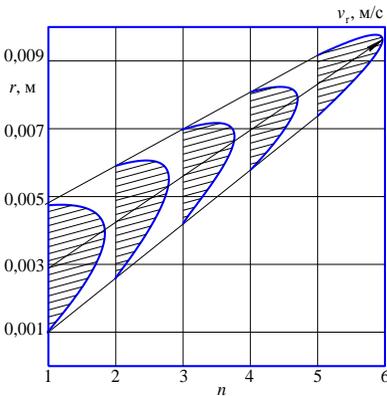


Рисунок 5 – Распределение осевых скоростей течения расплава в грануляторе на его разных участках аппроксимации

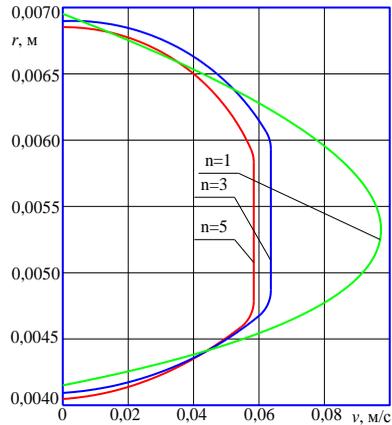


Рисунок 6 – Распределение осевых скоростей течения расплава в грануляторе при различных индексах течения

**В четвертой главе** приведены результаты зоотехнических исследований по определению эффективности использования УВМД дойными коровами и КРС. Определение эффективности использования сельскохозяйственными животными УВМД осуществляли в двух научных опытах, проведенных в ООО «Ермоловское» Воронежской области.

В первом опыте зоотехнические исследования проводили на дойных коровах, из которых было сформировано две группы, одна – контрольная, другая – опытная.

Контрольная группа коров на фоне основного рациона получала простую зерносмесь. В рационе коров опытной группы зерносмесь предварительно смешивали с УВМД (70 % зерносмеси и 30 % УВМД). Состав УВМД был следующим: отруби пшеничные – 45 %, жмых подсолнечный – 7 %, цеолит – 3 %, фосфаты кормовые – 6,7 %, соль поваренная – 3 %, премикс – 3,3 %, меласса – 24 %. Продолжительность опыта составила 90 дней. В опыте учитывали продуктивность животных и конверсию корма и определяли содержание жира в молоке (таблица 3).

Исследования показали, что обогащение зерносмеси УВМД в рационе опытной группы оказало благоприятное влияние на их молочную продуктивность за счет балансирования рациона по углеводам, минеральным и биологически активным веществам.

Т а б л и ц а 3 – Эффективность скармливания коровам УВМД

Показатели	Группы	
	контрольная	опытная
Состав концентратов	Зерносмесь	Зерносмесь + УВМД
Удой натурального молока за опытный период, кг	1526	1672
Содержание жира в молоке, %	3,97	4,23
Среднесуточный удой молока базисной жирности, кг	19,8	23,1
То же к контролю, %	100,0	116,7
Затраты кормов на 1 кг молока базисной жирности ЭКЕ*	0,70	0,64
То же к контролю, %	100,0	91,4
Концентраты, г	-	250
То же к контролю, %	100,0	95,8

\*ЭКЕ - энергетическая кормовая единица.

Так, среднесуточный удой молока коров опытной группы превосходил контроль на 16,7 %, а затраты кормов на единицу молочной продукции были ниже на 4,2-8,6 %.

Во втором опыте определяли эффективность использования УВМД молодняком КРС на откорме. Для опыта были отобраны бычки в возрасте 13 месяцев, из которых сформировано две группы по 10 голов в каждой. Первая контрольная группа животных получала рацион хозяйства, который включал силос кукурузный, зеленую массу и зерносмесь. Вторая опытная группа получала тот же рацион, в котором зерносмесь была обогащена (75 % зерна и 25 % добавки). В состав добавки включали следующие компоненты: отруби пшеничные – 38 %, фосфаты кормовые – 8 %, соль поваренная – 4 %, цеолит – 6 %, премикс – 4 % и раствор мелассы – 40 %. Продолжительность опыта составляла 90 дней. Анализ полученных данных показал, что продуктивность животных опытной группы, получавшей в составе рациона УВМД, повысилась на 11,6 %, а затраты корма снизились на 11,2 % по сравнению с контрольной группой. Таким образом, обогащение зерносмеси балансирующей добавкой способствует повышению молочной и мясной продуктивности КРС.

Далее приводится описание разработанной совместно с ООО «ДзержинскТЕХНОМАШ» пресс-гранулятора (рисунок 7) и линии производства гранулированных кормовых добавок с повышенным содержанием мелассы (рисунок 8).

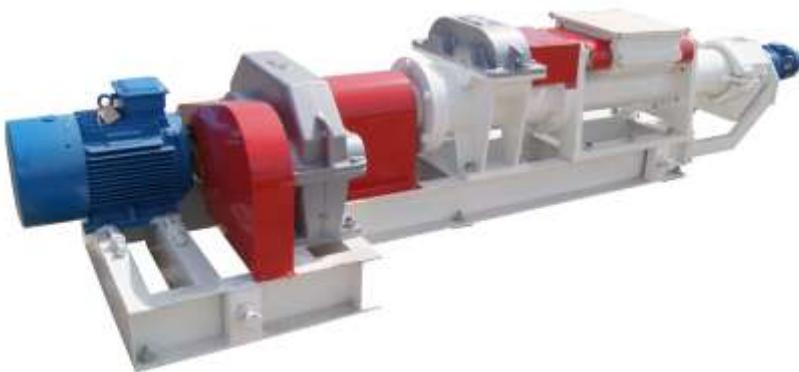


Рисунок 7 – Пресс-гранулятор



Рисунок 8 – Линия производства кормовых добавок с повышенным содержанием мелассы

Выполнен расчет экономического эффекта от производства и использования гранулированных кормовых добавок с повышенным содержанием мелассы, который применительно к выращиванию КРС составил 4 512 900 руб.

В результате выполненного эксергетического анализа был составлен эксергетический баланс теплотехнологической системы приготовления углеводных и комплексных кормовых добавок с повышенным содержанием мелассы. В процессе построения эксергетических диаграмм Грассмана-Шаргута абсолютным эксергетическим параметром

выбрана эксергетическая мощность  $E$ , кДж/ч, учитывающая и энергетическую составляющую в виде удельной эксергии, и материальную в виде расхода вещества в потоке. Значение полученного эксергетического КПД составило 8,01 %, что на 3,7 % выше, чем при использовании технологии-прототипа.

#### Условные обозначения

$v_x$ ,  $v_y$  и  $v_z$  – компоненты вектора скорости;  $v^2 = v_x^2 + v_y^2 + v_z^2$ ;  $T$  – температура расплава, К;  $v_z$  – скорость расплава вдоль оси  $z$ , м/с;  $\rho$  – плотность расплава, кг/м<sup>3</sup>;  $\eta = 1/\varphi$  – коэффициент динамической вязкости, Па·с;  $\varphi$  – показатель консистенции;  $p$  – давление, Па;  $m$  – индекс течения;  $L$  – длина выходной зоны, м;  $H$  – глубина винтового

канала, м;  $\lambda$  – коэффициент теплопроводности, Вт/(м·К);  $\delta$  – толщина зазора, м;  $k$  – отношение внутреннего радиуса к внешнему;  $r$ ,  $R$  – текущий радиус и радиус кольцевого канала, м;  $Q$  – объемный расход, м<sup>3</sup>/с;  $t$  – время, с.

### Основные выводы и результаты

1. Получены рецептуры для производства гранулированных кормовых добавок с повышенным содержанием мелассы для КРС с использованием программы ВНИИКП 5.0: углеводно-витаминно-минеральной добавки (УВМД) в виде брикетов в пластиковой упаковке с содержанием мелассы 30-40 %; углеводно-витаминно-минеральной белковой добавки в виде гранул, получаемых сухим прессованием, с содержанием мелассы до 8 %; углеводно-витаминно-минеральной добавки в виде гранул, получаемых влажным прессованием на пресс-грануляторе, с содержанием мелассы 25-30 %.

2. Проведенные исследования и последующий сравнительный анализ исследуемых способов прессования показал перспективность и преимущества влажного прессования на экспериментальном пресс-грануляторе со сменными матрицами с отверстиями диаметром 6-15 мм.

3. Выявлены основные закономерности процесса влажного и сухого гранулирования (с использованием пара и без пара) кормовых добавок с повышенным содержанием мелассы на прессе с кольцевой матрицей, на экструдере КМЗ-2У и на экспериментальном пресс-грануляторе.

4. Обоснованы рациональные режимы влажного прессования УВМД с повышенным содержанием мелассы на разработанном шнековом пресс-грануляторе: влажность УВМД – 17-18 %; содержание мелассы в добавке 20-30 %; соотношение мелассы и воды в растворе 3:1-5:1; диаметр отверстий матрицы 5-15 мм; частота вращения прессующего шнека 30-60 мин<sup>-1</sup>; производительность 0,30-0,55 т/ч.

5. Разработана математическая модель, описывающая течение расплава биополимера в шнековом пресс-грануляторе, позволяющая рассчитать среднюю скорость течения расплава, объемный расход, среднее время пребывания расплава в канале и величину потерь давления в канале пресс-гранулятора.

6. Совместно с ООО «ДзержинскТЕХНОМАШ» разработана конструкторская документация и изготовлен опытный образец пресс-гранулятора. Разработана технологическая линия производства кормовых добавок с повышенным содержанием мелассы для КРС.

7. Разработана новая технология гранулированных кормовых до-

бавок с повышенным содержанием мелассы для КРС и технологическая линия производства УВМД; типовой технологический регламент линии производства УВМД; рекомендации по применению УВМД с повышенным содержанием мелассы в кормлении КРС и технические условия на готовый продукт ТУ 10.91.10-045-00932117-2016.

8. В результате проведенных в ООО «Ермоловское» Воронежской области зоотехнических исследований по определению эффективности потребления УВМД дойными коровами установлено, что обогащение зерносмеси УВМД оказало благоприятное влияние на их молочную продуктивность: среднесуточный удой молока коров возрос на 16,7 %, а затраты кормов на единицу молочной продукции снизились на 4,2-8,6 %. Оценка эффективности потребления молодняком КРС (бычки в возрасте 13 месяцев) показала, что продуктивность животных, получавших в составе рациона УВМД, повысилась на 11,6 %, а затраты корма снизились на 11,2 % по сравнению с контрольной группой.

9. Проведенный эксергетический анализ технологической линии производства УВМД показал высокую энергетическую эффективность: эксергетический КПД составил 8,01 %, что на 3,70 % выше, чем при использовании технологии-прототипа.

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

1. **Афанасьев, В.А.** Разработка технологии влажного прессования углеводно-витаминно-минеральных добавок с повышением содержания мелассы / В.А. Афанасьев, А.А. Киселев // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. – 2015. – № 1 (63). – С.70-73.

2. **Киселев, А.А.** Математическая модель течения расплава в канале гранулятора / А.А. Киселев, А.А. Аникин, Ю. В. Чернухин // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. – 2016. – № 1 (67). – С. 11-15.

3. **Афанасьев, В.А.** Влажное гранулирование углеводно-витаминно-минеральных добавок на экструдере / В.А. Афанасьев, А.А. Киселев // Материалы Международной научно-практической конференции «Инновационные технологии переработки сырья животного происхождения». – Краснодар: КубГТУ, 2015. – С. 90-93.

4. **Афанасьев, В.А.** Проектирование, конструирование и разработка современного оборудования для комбикормовых предприятий / В.А. Афанасьев, О.В. Денисов, А.А. Киселев // Материалы Междуна-

родной научно-технической конференции «Инновационное развитие техники пищевых технологий. – Воронеж, 2015. – С. 220-224.

5. **Киселев, А.А.** Влажное гранулирование углеводно-витаминно-минеральной добавки на прессе с кольцевой матрицей // Материалы III Международной научно-практической конференции «Перспективы развития науки и образования» / под общ. ред. А.В. Туголукова. – М., 2016 – С. 136-139.

6. **Афанасьев, В.А.** Разработка методики инженерного расчета и проектирование гранулятора для углеводно-витаминно-минеральных добавок с повышенным содержанием мелассы / В.А. Афанасьев, А.Н. Остриков, А.А. Киселев // Материалы Международной научно-практической конференции «Достижения и проблемы современных тенденций переработки сельскохозяйственного сырья: технологии, оборудование, экономика». – Краснодар: Экоинвест, 2016. – С. 26-29.

7. **Киселев, А.А.** Зоотехнические исследования по определению эффективности использования УВМД дойными коровами и молодняком КРС / А.А. Киселев // Электронный научный журнал. – 2016. – № 3 (6). – С. 33-37.

Подписано в печать 05.08.2016. Формат 60×84<sup>1/16</sup>.

Усл. печ. л. 1,0. Тираж 100 экз. Заказ .

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий»  
(ФГБОУ ВО «ВГУИТ»)

Отдел полиграфии ФГБОУ ВО «ВГУИТ»

Адрес университета и отдела полиграфии  
394036, Воронеж, пр. Революции, 19