

На правах рукописи



АЛЕКСАНДРОВ Алексей Ильич

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОЦЕССА СМЕШИВАНИЯ
ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ВЫСОКОУСВОЯЕМЫХ
КОМБИКОРМОВ С МУЛЬТИФЕРМЕНТНЫМИ
КОМПЛЕКСАМИ**

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 – 2020

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Воронежский государственный университет инженерных технологий» (ФГБОУ ВО «ВГУИТ»)

Научные руководители – заслуженный деятель науки РФ,
доктор технических наук, профессор
Остриков Александр Николаевич,
доктор технических наук, доцент
Фролова Лариса Николаевна

Официальные оппоненты – **Панин Иван Григорьевич**
доктор технических наук,
старший научный сотрудник
(ООО «Авента»), генеральный директор

Богомолов Игорь Сергеевич
кандидат технических наук,
(АО «Научно-производственный центр
«ВНИИ комбикормовой промышленности»)),
первый заместитель генерального директора

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

Защита состоится «29» мая 2020 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 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 в сети Интернет на официальных сайтах Высшей аттестационной комиссии при Министерстве науки и высшего образования Российской Федерации <https://vak.minobrnauki.gov.ru> и ФГБОУ ВО «ВГУИТ» <http://www.vsuet.ru> «27» марта 2020 г.

С диссертационной работой можно ознакомиться в научной библиотеке ФГБОУ ВО «ВГУИТ». Полный текст диссертации размещен в сети Интернет на официальном сайте ФГБОУ ВО «ВГУИТ» <http://www.vsuet.ru> «10» марта 2020 г.

Автореферат разослан «15» апреля 2020 г.

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



А.В. Дранников

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. В последние годы динамично развивалась комбикормовая промышленность, объем производства комбикормов в которой в 2019 г. составил 29,2 млн т, в 2020 г. по прогнозу Минсельхоза объем производства комбикормов достигнет 30,8 млн т. Внутреннее потребление зерна в России составляет около 80 млн т в год, из них на корм животным идет 55-60 %. В результате отсутствия оптимальной структуры, низкого качества фуражного зерна, недостатка белка и энергии на производство животноводческой продукции затрачивается в 1,2-1,5 раза большее количество кормов. Серьезной проблемой, сдерживающей развитие животноводства, является несбалансированность кормов. Для наращивания производства продукции животноводства, повышения рентабельности и снижения зависимости от импортных поставок важный и своевременной является разработка технологий, направленных на обеспечение производства высокоусвояемых комбикормов с научнообоснованным содержанием кормовых добавок.

По уровню использования ферментов Россия пока сильно отстает от ведущих зарубежных стран. Проблемой российского рынка ферментов является очень высокая импортозависимость: он почти на 80 % обеспечивается поставками из-за рубежа. Потенциал российского рынка составляет 16,4 тыс. т.

Обогащение кормовых рационов ферментными препаратами снижает падеж молодняка, значительно повышает усвоение кормов и снижает их затраты на единицу продукции, позволяет частично заменять дорогостоящие и дефицитные корма животного происхождения более дешевыми растительными, а также повышать продуктивность животных.

Сдерживающими факторами в применении мультиферментных комплексов являются отсутствие научного обоснования их применения для повышения усвояемости и поедаемости комбикормов, обеспечение расщепления трудноперевариваемых биополимерных соединений и инактивацию антипитательных веществ зерна.

В связи с этим весьма актуально обоснование выбора мультиферментных комплексов в рецептуре комбикормов, изучение основных кинетических закономерностей процесса смешивания для равномерного распределения ферментов по всему объему комбикорма, а также необходима разработка новых видов смесителей.

Теоретические основы процессов смешивания и производства высокоусвояемых комбикормов с ферментами отражены в работах Лаврентьева А.Ю., Кононенко С.И., Куприянова С.В., Шулаева Г., Егорова И. и др.

Работа проводилась в соответствии с планом госбюджетной НИР кафедры технологии жиров, процессов и аппаратов химических и пищевых производств ФБГОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий».

Цель диссертационной работы – развитие научно-практических основ процессов производства высокоусвояемых комбикормов с мультиферментным комплексом (МФК); разработка перспективной технологии, направленной на повышение питательной ценности, усвояемости, поедаемости и доброкачественности комбикормов для свиней.

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

– научное обоснование выбора рецептурного состава комбикорма с использованием мультиферментных комплексов, обеспечивающих расщепление трудноперевариваемых биополимерных соединений и инактивацию антипитательных веществ зерна для свиней;

– исследование кинетических закономерностей процесса смешивания компонентов комбикорма с мультиферментным комплексом с обоснованием рациональных параметров процесса смешивания;

– математическое моделирование процесса смешивания компонентов комбикормов с мультиферментным комплексом;

– разработка конструкции двухвального лопастного смесителя, реализующего квазиневесомый режим перемешивания для обеспечения высокой однородности смешивания;

– разработка технологии производства высокоусвояемых комбикормов с мультиферментным комплексом, технологической линии по производству высокоусвояемых комбикормов и разра-

ботка нормативно-технической документации;

– проведение зоотехнических испытаний разработанных видов высокоусвояемых комбикормов с мультиферментным комплексом в кормлении свиней для определения их потребления эффективности и внедрение разработанных технологии и оборудования.

Научная новизна. Разработан концептуальный подход в создании новых видов высокоусвояемых комбикормов с мультиферментным комплексом в кормлении свиней, направленных на повышение усвояемости, поедаемости и доброкачественности комбикормов.

Выявлены основные кинетические закономерности процесса смешивания компонентов комбикормов с мультиферментным комплексом с использованием квазиневесомого режима смешивания.

Получена имитационная модель процесса смешивания в двухвальном лопастном смесителе, реализующая квазиневесомый режим перемешивания компонентов комбикормовой смеси и обеспечивающая высокую (не менее 95 %) однородность смешивания.

Установлен характер влияния мультиферментного комплекса на усвояемость, поедаемость и доброкачественность разработанных видов высокоусвояемых комбикормов.

Практическая ценность. Определены и обоснованы рациональные технологические режимы процесса смешивания компонентов комбикормов с мультиэнзимным комплексом при производстве высокоусвояемых комбикормов в кормлении свиней.

Получены рецепты высокоусвояемых комбикормов с использованием мультиферментного комплекса для свиней, обладающих высокой биологической и энергетической ценностью, сбалансированных по питательной ценности компонентами, способствующими росту привесов, сокращению сроков откорма и снижению затрат корма.

Разработана конструкция двухвального лопастного смесителя для производства высокоусвояемых комбикормов с использованием мультиферментного комплекса.

Разработана новая технология производства высокоусвояемых комбикормов с использованием мультиферментного комплекса для свиней. На основе экспериментальных исследований разра-

ботан стандарт организации СТО 02068108-001-2020 (технические условия) «Высокоусвояемые комбикорма для поросят с использованием мультиферментного комплекса». Разработана технологическая линия по производству кормовых добавок для свиней.

Достоверность научных разработок подтверждена промышленным производством партии высокоусвояемых стартерных комбикормов с использованием мультиферментного комплекса для свиней на АО «Надежда» (Курская область, Большесолдатский район, деревня Саморядово).

Положения, выносимые на защиту:

- рецептуры высокоусвояемых комбикормов с использованием мультиферментного комплекса для свиней, обладающих высокой биологической и энергетической ценностью, сбалансированных по питательной ценности компонентами, способствующими росту привесов, сокращению сроков откорма и снижению затрат корма;

- выявленные кинетические закономерности процесса смешивания компонентов комбикормов с мультиферментным комплексом, эффективность и обоснование выбора рациональных параметров процесса смешивания с использованием квазиневесомого режима;

- имитационная модель процесса смешивания в двухвальном лопастном смесителе, реализующая квазиневесомый режим перемешивания компонентов комбикормовой смеси и обеспечивающая высокую однородность смешивания;

- эффективность использования высокоусвояемых стартерных комбикормов для свиней с применением мультиферментного комплекса;

- технология производства высокоусвояемых стартерных комбикормов с применением мультиферментного комплекса для свиней.

Апробация работы. Основные положения диссертационной работы докладывались и обсуждались на международных научно-технических конференциях: (Воронеж, 2019, 2020), (Дубровицы, 2019), (Москва, 2019). Результаты работы демонстрировались на выставке IX Агропромышленного конгресса и IV Международной выставке изобретений и инноваций имени Н.Г. Славянова, по ито-

гам которых работа награждена дипломами.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 9 работ, в том числе 4 статьи в журналах, рекомендованных ВАК РФ, 5 тезисов докладов.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы и приложений. Работа изложена на 274 страницах машинописного текста, содержит 52 рисунка и 44 таблицы. Список литературы включает 191 наименование, в том числе 54 на иностранных языках. Приложения к диссертации представлены на 96 страницах.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

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

В первой главе дана краткая характеристика основных компонентов комбикормов и ферментов, используемых в кормопроизводстве; систематизированы литературные данные о современном состоянии технологий по производству высокоусвояемых комбикормов с ферментами; приведен обзор конструкций оборудования для смешивания компонентов комбикормов и ферментов; дан анализ математических моделей процесса смешивания. На основании проведенного анализа сформулированы цель и задачи диссертационной работы и определены методы их решения.

Во второй главе приведено обоснование выбора состава мультиферментного комплекса. В результате был разработан мультиферментный комплекс, в состав которого входят ферменты: α -амилаза с активностью не менее 400 ед./г, β -глюканаза – не менее 25 ед./г, фитаза – не менее 1000 ед./г, целлюлаза – не менее 10 ед./г, ксиланаза – не менее 300 ед./г, протеаза – не менее 70 ед./г, липаза – не менее 89 ед./г, глутамат натрия (мононатриевая соль глутаминовой кислоты), а также в качестве носителя – мел.

Благодаря расщеплению некрахмалистых полисахаридов и фитатов под действием МФК высвобождается дополнительное количество обменной энергии: увеличение обменной энергии, %, для нижеприведенных компонентов комбикорма при скармливании свиньям соответственно составляет: кукуруза –

2 %; пшеница - 2,5 %; ячмень – 3,0 %; овес – 2,0 %; отруби пшеничные – 3,5 %; соевый шрот – 1,3 %; соевый жмых – 1,3 %; подсолнечный шрот – 1,8 %; рапс, рапсовый шрот – 0,7 %; тритикале – 2,4 %; просо – 3,2 %; сорго – 3,2 %; соя полножирная – 1,4 %; горох – 2,1 %.

Экспериментальные исследования процесса смешивания проводились на премиксах с различными видами наполнителей (пшеничные отруби, подсолнечный шрот, кормовые дрожжи и др.), которые включали в свой состав мультиферментный комплекс (МФК). Для оценки однородности получаемой смеси в качестве ключевых компонентов были выбраны марганец, рибофлавин и нитриты. Результаты определения марганца в премиксах приведены в таблице 1.

Т а б л и ц а 1 – Содержание марганца в премиксах в мг·%

Премикс	Пшеничные отруби			Подсолнечный шрот	
Введено марганца	24,9	163	318,5	163	318,5
Найдено марганца	22,7...25,4	147...176	290...316	152...176	291...323
Относительная ошибка, %	-9,8...+2,3	-9,8...+8,0	-9,0...-0,9	-7,9...-6,3	-6,7...+1,4

Экспериментальные исследования процесса смешивания компонентов комбикормов проводили в двухвальном смесителе на компонентах премиксов. В каждом эксперименте отбирали 10 проб. Качество готовой смеси определяли по критерию однородности, который является количественным показателем распределения ключевого компонента в смеси. Эффективность работы смесителя определяли по однородности распределения ключевых компонентов металломагнитной примеси, витамина В₂ и соли микроэлементов MnSO₄.

Зависимость коэффициента вариации от времени смешивания измельченной пшеницы (наполнителя) различными ключевыми компонентами (марганец сернокислый) и витамином В₂ (рисунок 1) показывает, что смеситель обеспечивает однородность смеси 95 % за короткое время равное 60 с.

Зависимость коэффициента вариации от времени

смешивания наполнителя (измельченная пшеница) с ключевым компонентом (металломагнитная примесь 0,1 %) при различных нагрузках смесителя (рисунок 2), при частоте вращения лопастного вала 30 мин^{-1} и окружной скорости 1,45 м/с показывает, что однородность смеси составила 94-95 % за 60 с.

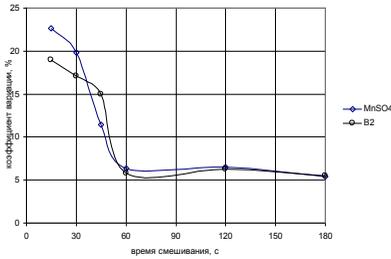


Рисунок 1 — Зависимость коэффициента вариации от времени смешивания наполнителя с различными ключевыми компонентами

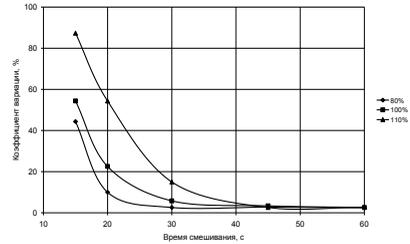


Рисунок 2 — Зависимость коэффициента вариации от времени смешивания при различных нагрузках смесителя

Таким образом, подобранный режим при различных ключевых компонентах с разной массой обеспечивает получение высокоомогенной смеси 95 % за короткий промежуток времени.

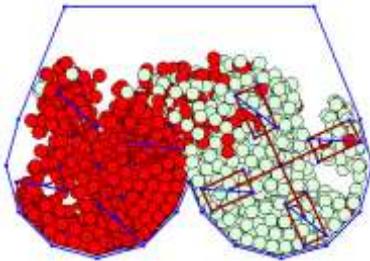


Рисунок 3 — Представление смесителя и компонентов в модели

Для моделирования механического поведения смеси используется метод динамики частиц. Будем считать, что компоненты смеси состоят из множества элементов шарообразной формы с диаметром порядка 10^{-4} – 10^{-3} м.

Дифференциальные уравнения, описывающие движение

В третьей главе приведена имитационная модель процесса смешивания в двухвальном смесителе. Смесь компонентов комбикорма представляется как совокупность множества (порядка 10^3 – 10^5) элементов. Элементы смеси механически взаимодействуют как между собой, так и с рабочими поверхностями

ЭЛЕМЕНТОВ

$$m \frac{d^2 x}{dt^2} = k_1 \frac{dx}{dt} + k_2 x + k_3 \quad \text{или} \quad ma = k_1 v + k_2 x + k_3,$$

где m – масса элемента; x – искомая функция (зависимость координата x , y или z от времени); t – время; k_1, k_2, k_3 – величины, не зависящие от x , но зависящие от других искомым функций системы дифференциальных уравнений; a – ускорение (соответствующая декартова компонента a_x, a_y или a_z); v – скорость (соответствующая декартова компонента v_x, v_y или v_z).

Для решения дифференциальных уравнений такого вида используется численный метод – Рунге-Кутта второго порядка (модифицированный метод Эйлера-Коши).

В предлагаемой модели приняты следующие допущения: частицы смеси являются шарообразными; в пределах одного элемента вещество считается сплошной средой с постоянной по всему объему плотностью; элементы движутся по законам классической механики; механическое взаимодействие между элементами и поверхностями смесителя носит линейный упруго-вязкий характер; корпус и лопатки смесителя могут быть представлены совокупностью треугольников конечного размера.

Для количественной характеристики однородности смеси использовался коэффициент вариации k_c (неоднородности). Средняя концентрация компонента c и коэффициент k_c рассчитывались по формулам

$$\langle c \rangle = \frac{1}{4} \left(\frac{\sum_{i=1}^{N_3} \begin{cases} 0, & \begin{cases} t_i \neq 1 \\ x_i < 0 \\ y_i < 0 \end{cases} \\ 1, & \begin{cases} t_i = 1 \\ x_i > 0 \\ y_i > 0 \end{cases} \end{cases}}{\sum_{i=1}^{N_3} \begin{cases} 0, & \begin{cases} t_i \neq 1 \\ x_i < 0 \\ y_i > 0 \end{cases} \\ 1, & \begin{cases} t_i = 1 \\ x_i > 0 \\ y_i < 0 \end{cases} \end{cases}} + \frac{\sum_{i=1}^{N_3} \begin{cases} 0, & \begin{cases} t_i \neq 1 \\ x_i > 0 \\ y_i < 0 \end{cases} \\ 1, & \begin{cases} t_i = 1 \\ x_i < 0 \\ y_i > 0 \end{cases} \end{cases}}{\sum_{i=1}^{N_3} \begin{cases} 0, & \begin{cases} t_i \neq 1 \\ x_i > 0 \\ y_i > 0 \end{cases} \\ 1, & \begin{cases} t_i = 1 \\ x_i < 0 \\ y_i < 0 \end{cases} \end{cases}} + \frac{\sum_{i=1}^{N_3} \begin{cases} 0, & \begin{cases} x_i > 0 \\ y_i < 0 \end{cases} \\ 1, & \begin{cases} x_i < 0 \\ y_i > 0 \end{cases} \end{cases}}{\sum_{i=1}^{N_3} \begin{cases} 0, & \begin{cases} x_i > 0 \\ y_i > 0 \end{cases} \\ 1, & \begin{cases} x_i < 0 \\ y_i < 0 \end{cases} \end{cases}} + \frac{\sum_{i=1}^{N_3} \begin{cases} 0, & \begin{cases} x_i < 0 \\ y_i > 0 \end{cases} \\ 1, & \begin{cases} x_i > 0 \\ y_i < 0 \end{cases} \end{cases}}{\sum_{i=1}^{N_3} \begin{cases} 0, & \begin{cases} x_i < 0 \\ y_i < 0 \end{cases} \\ 1, & \begin{cases} x_i > 0 \\ y_i > 0 \end{cases} \end{cases}} \right);$$

$$k_c = \frac{100}{\langle c \rangle \sqrt{3}} \left(\frac{\sum_{i=1}^{N_z} \left\{ \begin{array}{l} 0, \left[\begin{array}{l} t_i \neq 1 \\ x_i < 0 \\ y_i < 0 \end{array} \right] \\ 1, \left[\begin{array}{l} t_i = 1 \\ x_i > 0 \\ y_i > 0 \end{array} \right] \end{array} \right\}}{\sum_{i=1}^{N_z} \left\{ \begin{array}{l} 0, \left[\begin{array}{l} x_i < 0; \\ y_i < 0; \end{array} \right] \\ 1, \left[\begin{array}{l} x_i > 0; \\ y_i > 0; \end{array} \right] \end{array} \right\}} - \langle c \rangle \right)^2 + \left(\frac{\sum_{i=1}^{N_z} \left\{ \begin{array}{l} 0, \left[\begin{array}{l} t_i \neq 1 \\ x_i < 0 \\ y_i > 0 \end{array} \right] \\ 1, \left[\begin{array}{l} t_i = 1 \\ x_i > 0 \\ y_i < 0 \end{array} \right] \end{array} \right\}}{\sum_{i=1}^{N_z} \left\{ \begin{array}{l} 0, \left[\begin{array}{l} x_i < 0; \\ y_i > 0; \end{array} \right] \\ 1, \left[\begin{array}{l} x_i > 0; \\ y_i < 0; \end{array} \right] \end{array} \right\}} - \langle c \rangle \right)^2 + \left(\frac{\sum_{i=1}^{N_z} \left\{ \begin{array}{l} 0, \left[\begin{array}{l} t_i \neq 1 \\ x_i > 0 \\ y_i < 0 \end{array} \right] \\ 1, \left[\begin{array}{l} t_i = 1 \\ x_i < 0 \\ y_i > 0 \end{array} \right] \end{array} \right\}}{\sum_{i=1}^{N_z} \left\{ \begin{array}{l} 0, \left[\begin{array}{l} x_i > 0; \\ y_i < 0; \end{array} \right] \\ 1, \left[\begin{array}{l} x_i < 0; \\ y_i > 0; \end{array} \right] \end{array} \right\}} - \langle c \rangle \right)^2 + \left(\frac{\sum_{i=1}^{N_z} \left\{ \begin{array}{l} 0, \left[\begin{array}{l} t_i \neq 1 \\ x_i > 0 \\ y_i > 0 \end{array} \right] \\ 1, \left[\begin{array}{l} t_i = 1 \\ x_i < 0 \\ y_i < 0 \end{array} \right] \end{array} \right\}}{\sum_{i=1}^{N_z} \left\{ \begin{array}{l} 0, \left[\begin{array}{l} x_i > 0; \\ y_i > 0; \end{array} \right] \\ 1, \left[\begin{array}{l} x_i < 0; \\ y_i < 0; \end{array} \right] \end{array} \right\}} - \langle c \rangle \right)^2.$$

где t_i – тип i -го элемента; фигурная скобка $\{ \dots \}$ означает одновременное выполнение условий; квадратная скобка $[\dots]$ – выполнение любого из условий.

Средняя мощность $N_{\text{ср}}$, потребляемая смесителем, рассчитывается по формуле:

$$N_{\text{ср}} = \frac{\sum_{\tau=1}^{\lceil t_{\text{кэ}} / \Delta t \rceil} \sum_{i=1}^{N_z} \sum_{j=1}^{N_{\text{п}}} \vec{v}_i \cdot \vec{F}_{ij}}{\lceil t_{\text{кэ}} / \Delta t \rceil} + 4N_{\text{ст}} + 4\alpha_{\text{вт}} \omega_{\text{в}},$$

где $t_{\text{кэ}}$ – длительность компьютерного эксперимента; Δt – шаг интегрирования; $\lceil \dots \rceil$ – операция округления до целого числа; N_z и $N_{\text{п}}$ – количество элементов и элементарных поверхностей треугольной формы; \vec{v}_i – скорость i -го элемента на текущем шаге интегрирования τ ; \vec{F}_{ij} – сила взаимодействия i -го элемента с j -м элементарным треугольником рабочей поверхности; знаком « \cdot » обозначается скалярное произведение векторов; $N_{\text{ст}}$ – мощность, расходуемая в подшипнике вала на сухое трение; $\alpha_{\text{вт}}$ – коэффициент трения в подшипнике вала; $\omega_{\text{в}}$ – угловая скорость вала.

Для реализации расчета была разработана компьютерная программа для моделирования двухвального смесителя (рисунок 4) для определения рациональных конструктивных параметров двухвального смесителя.

Применение разработанной математической модели процесса смешивания сыпучих компонентов позволит подобрать рациональные технологические режимы смешивания, что даст возмож-

ность увеличить однородность смешивания до 98 % и рассчитать кинематический режим процесса смешивания в двухвальном смесителе за счет создания «квазиневесомого» гидродинамического режима смешивания и существенного ускорения процесса смешивания.

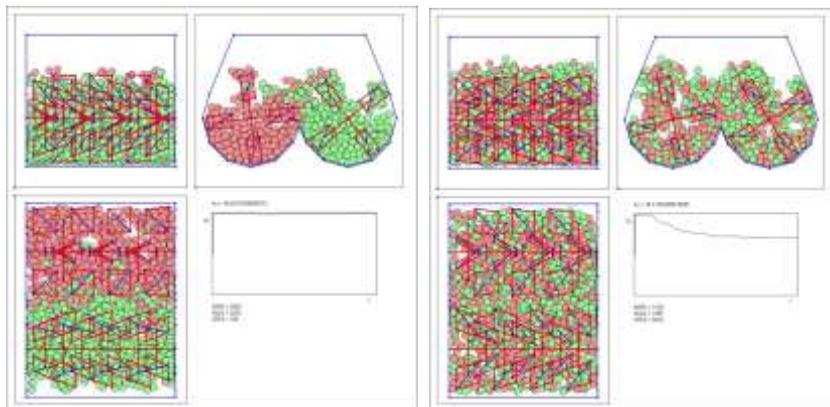


Рисунок 4 – Вывод результатов моделирования:
а – начало смешивания; *б* – завершение смешивания

В главе 4 дана комплексная оценка качества полнорационных комбикормов для свиней. Для составления рецептов полнорационного комбикорма для свиней был проведен широкий анализ сырья растительного и животного происхождения, в результате чего с помощью программы «КормОптим» составлены перспективные ресурсосберегающие рецепты.

Рецепт полнорационного комбикорма № СК-8 для ремонтного молодняка свиней в возрасте 4-8 месяцев представлен на рисунке 5.

Рецепт СК-4 – стартерный корм, рассчитанный на содержание поросят с возраста от 45 до 75 дней (рисунок 6).

Данный вид корма является «стартерным», по факту обеспечивает тот старт, с которого и начинается весь цикл роста животного. Среднесуточный привес в среднем составил 461 гр.

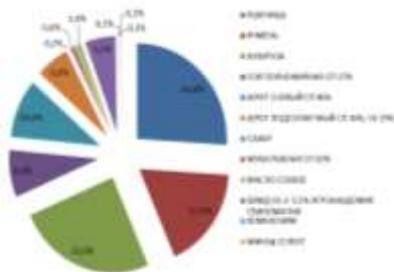


Рисунок 5 – Рецепт полнорационного комбикорма № СК-8 для ремонтного молодняка свиней в возрасте 4-8 месяцев

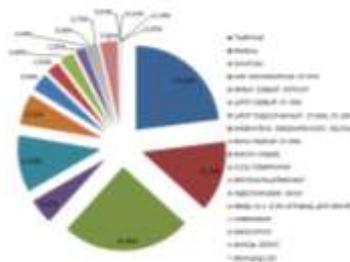


Рисунок 6 – СК-4 – стартерный корм, рассчитанный на содержание поросят с возраста от 45 до 75 дней

Рецепт СПК-5 – комбикорм основного периода откорма поросят в возрасте 75-135 дней (рисунок 7). Именно в это период происходит наиболее активный рост животного, этот же период является наиболее ответственным во всем промежутке выращивания животного, суточный привес на данном периоде доходит и превышает 1000 гр.

Рецепт СПК-5/2(6) является «финишером», т. е. комбикормом последнего перед реализацией периода откорма (рисунок 8) (период содержания со 136 до 175 дней).

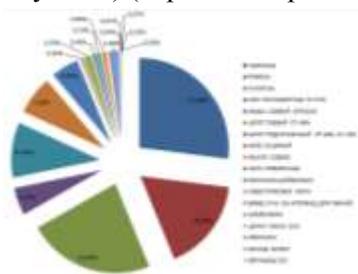


Рисунок 7 - Рецепт СПК-5-комбикорм периода откорма поросят в возрасте 75-135 дней

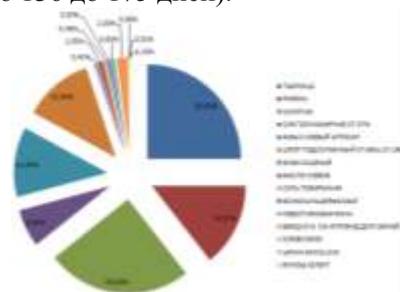


Рисунок 8 - Рецепт СПК-5/2(6) перед реализацией периода откорма

Среднесуточный привес на данном периоде за месяц составляет 814 гр.

Отличительной особенностью разработанного рецепта комбикорма является замена в его составе дефицитного и дорогостоящего сырья животного происхождения (рыбная, мясокостная мука, сухое обезжиренное молоко) более доступными и дешевыми белковыми ингредиентами, что позволяет значительно снизить себестоимость готовой продукции.

Использование комбикормов с применением премиксов, включающих в свой состав мультиферментный комплекс, позволило повысить интенсивность роста поросят на 6,5-9,4 % при снижении затрат кормов на 1 ц прироста на 8,7-9,4 %. Уровень рентабельности производства свинины повышается при этом на 3,7-3,8 %.

МФК способствует повышению продуктивности свиней, снижению затрат корма на единицу продукции, позволяет снизить стоимость комбикорма за счет использования более дешевых компонентов, а также снизить уровень ввода неорганических источников фосфора в рационы.

Применение высокоусвояемых комбикормов с МФК позволит увеличить среднесуточные привесы поросят на 14–20 %; среднесуточные привесы свиней на 12–14 %; добиться профилактики желудочно-кишечных заболеваний; снизить затраты корма на единицу произведённой продукции до 10 % за счет лучшей переваримости питательных веществ и др.

Были проведены лабораторные опыты по изучению влияния условий и сроков хранения на качество рассыпного комбикорма для поросят. Для этого была выработана опытная партия комбикорма с оптимальным соотношением компонентов растительного и животного происхождения. На четырехмесячное хранение при опытных условиях положили по 4 образца комбикорма массой 1 кг каждый.

В процессе хранения наблюдалось постепенное уменьшение влажности комбикорма при $W = 50\%$ в полиэтиленовой таре при $t = 30\text{ }^\circ\text{C}$. При относительной влажности воздуха 75 и 90 % массовая доля влаги за время хранения увеличилась соответственно до 9,8 и 10,5.

Для определения эффективности использования комбикормов выработаны одна контрольная и четыре опытные партии рассыпных комбикормов для поросят в возрасте 9 - 42 дня.

Комбикорм для контрольной группы и четырех опытных групп включал 1 %-ый премикс с разным содержанием МФК: в контрольной группе – 0 г/т; в I группе – 500 г/т; в II группе – 400 г/т; в III группе – 350 г/т; в IV группе – 150 г/т.

Среднесуточный прирост живой массы поросят в I, II, III опытных группах (таблица 2), получавших рассыпные комбикорма с премиксом, включающим в свой состав МФК, был выше, чем в контрольной группе, за исключением IV группы, в котором его содержание было минимальным. Наименьший прирост живой массы получен в опытной IV группе поросят, получавших рассыпные комбикорма с премиксом, содержащим МФК 150 г/т.

Т а б л и ц а 2 – Динамика прироста живой массы поросят

Показатель	Группа				
	Контроль	I опытная	II опытная	III опытная	IV опытная
Живая масса, кг:					
начальная	2,9	2,9	2,9	2,9	2,9
через 21 день	6,9	7,6	7,2	7,0	6,7
конечная	16,8	18,7	17,4	16,2	15,7
Валовый прирост 1 гол., кг:					
через 21 день	4,0	4,7	4,3	4,1	3,8
через 31 день	9,9	11,1	10,2	9,2	9,0
за период опыта	13,9	15,8	14,5	13,3	12,8
Среднесуточный прирост, г:					
через 21 день	190,5	223,8	204,8	195,2	181,0
через 31 день	319,4	358,1	329,0	296,8	290,3
за период опыта	267,3	303,8	278,8	255,8	246,2

Кроме того, были проведены зоотехнические исследования с 96 поросятами-отъемышами (3- породный гибрид: Ландрас – Йоркшир – Дюрок) возрастом 24 дня, со средним весом 8,72 кг, которые были разделены на две группы по 48 голов в каждой (таблица 3). Обе группы получали комбикорм для поросят-отъемышей: контрольная группа – без МФК, а опытной группе в корм вводили МФК в количестве 500 г на т корма.

Результаты, полученные в ходе опытов, показали, что МФК является мощным стимулятором пищеварения для поросят.

Т а б л и ц а 3 – Результаты опыта

Показатель	Контрольная группа	Опытная группа
Начальная масса, кг	8,8	8,8
Конечная масса, кг	16,90	19,40
Среднесуточный привес, г	303	389,60
Среднесуточное потребление корма, г/день	706,9	694,90
Конверсия корма	2,31	1,78
Уровень заболевания диареей, %	8,17	4,54

Использование МФК обеспечивает высокий экономический эффект свиноводческих комплексов за счёт ряда факторов: улучшается и ускоряется пищеварительный процесс, снижается стоимость кормов, повышается интенсивность роста свиней.

В пятой главе приведено описание разработанной конструкции двухвального смесителя (рисунок 9) и технологической линии производства высокобелковых кормовых добавок (рисунок 10).

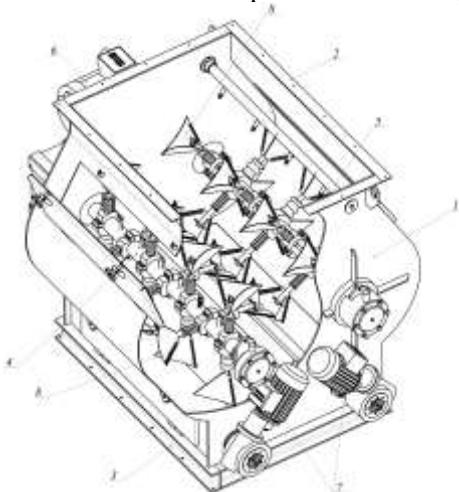


Рисунок 9 – Двухвальный лопастной смеситель: 1 – ванна; 2 – загрузочный патрубкок; 3 – разгрузочный патрубкок; 4, 5 – валы; 6 – привод валов; 7 – привод выгрузных люков; 8 – лопасти

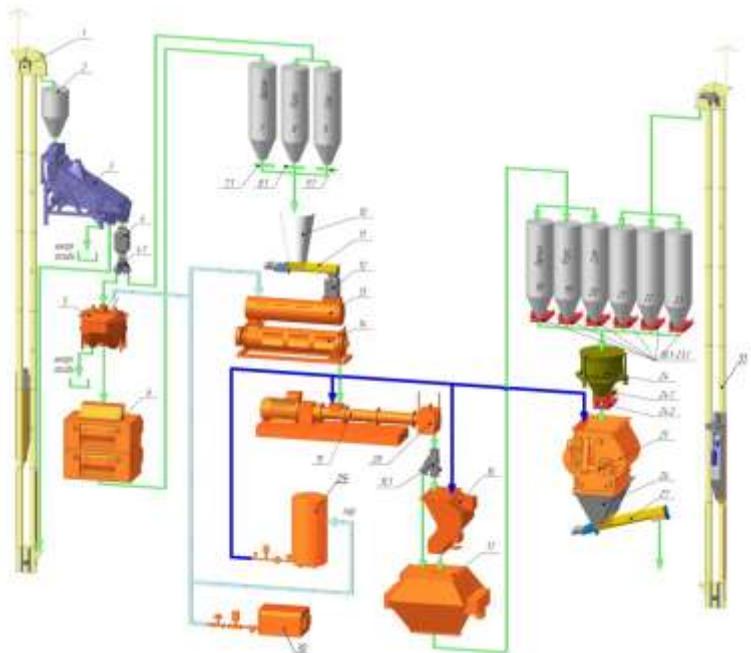


Рисунок 10 –Технологическая линия производства кормовых добавок

Основные выводы и результаты

1. Обоснован выбор рецептурного состава комбикорма с использованием мультиферментных комплексов, в состав которого входят: α -амилаза, β -глюканаза, фитаза, целлюлаза, ксиланаза, протеаза, липаза, глутамат натрия, а также мел.

2. Выявлены кинетические закономерности процесса смешивания компонентов комбикорма и мультиферментного комплекса с обоснованием рациональных параметров процесса смешивания и установлен характер влияния их технологических параметров.

3. Обоснованы рациональные параметры процесса смешивания компонентов комбикорма с ключевыми компонентами: металломагнитной примесью в количествах 0,1 и 0,2 %, витамина B₂ в количестве 0,02 % и соли микроэлемента

MnSO₄ в количестве 0,6 %. Однородность смеси составляет 95 % за время 60 с в смесителе объемом 1000 дм³, с частотой вращения лопастных валов 30 мин⁻¹, с углом поворота лопастей относительно оси вала 45° и зазором между корпусом и лопастью 5 мм.

4. Разработана математическая модель двухвального смесителя, учитывающая структурно-механические свойства компонентов комбикормов с ферментами и конструктивные параметры смесителя. Модель позволяет оценить эффективность смесителя для различных смесей, различных вариантов конструкции и в различных режимах работы.

5. Проведенные зоотехнические исследования по определению эффективности потребления разработанных видов высокоусвояемых комбикормов в кормлении поросят показали, что применение МФК способствует повышению продуктивности свиней на 6,5-9,4 %, снижению затрат корма на единицу продукции на 8,7-9,4 %, снижению стоимости комбикорма за счет использования более дешевых компонентов на 12 %.

6. Разработан стандарт организации СТО 02068108-001-2020 (технические условия) «Высокоусвояемые стартерные комбикорма для поросят с использованием мультиферментного комплекса».

7. Разработана конструкция двухвального лопастного смесителя, реализующая квазиневесомый режим перемешивания для обеспечения высокой однородности смешивания компонентов комбикорма с использованием мультиферментных комплексов.

8. Разработана технологическая линия по производству кормовых добавок, использование которой позволило повысить продуктивность животных на 15-20 % и снизить затраты корма на 12-15 % за счет улучшения вкусовых качеств зерна, повышения питательной ценности углеводного и протеинового комплекса, инактивации антипитательных веществ.

Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах:

1. Афанасьев, В. А. Инновационная технология производства флокированных зерен для стартерных и престаартерных комбикормов с использованием очищенного биогаза / В.А. Афанасьев,

А.Н. Остриков, А.А. Шевцов, А.В. Терехина, А.И. Александров // Аграрный вестник Урала. – 2019. – № 8 (187). – С. 16-26.

2. Афанасьев, В.А. Разработка высокоэффективной технологии влаготепловой обработки зерна и конструкции кондиционера-пропаривателя / В.А. Афанасьев, А.Н. Остриков, В.В. Мануйлов, А.И. Александров // Вестник ВГУИТ. – 2019. – Т. 81. – № 1. – С. 19–26. doi:10.20914/23101202-2019-1-19-26.

3. Остриков, А.Н. Имитационная математическая модель процесса смешивания сыпучих компонентов в смесителе / А.Н. Остриков, Л.Н. Фролова, А.И. Александров, В.В. Посметьев // Вестник ВГУИТ. – 2019. – Т. 81. – № 2. – С. 13-21. doi:10.20914/2310-1202-2019-2-13-21.

4. Афанасьев, В. А. Разработка рассыпных комбикормов для поросят на основе микронизированного зернового сырья / В. А. Афанасьев, А. Н. Остриков, В. Н. Василенко, Л. Н. Фролова, А. И. Александров, Н. А. Михайлова // Кормопроизводство. – 2019.– № 12. – С. 35-38.

5. Остриков, А.Н. Разработка усовершенствованной конструкции смесителя / А.Н. Остриков, Л.Н. Фролова, А.И. Александров / Материалы VI Международной научно-практической конференции «Продовольственная безопасность: научное, кадровое и информационное обеспечение»: сборник научных статей и докладов. Воронеж, 2019. – С. 653-656.

6. Остриков, А.Н. Разработка методики расчета и проектирования сушилки для плющенных хлопьев / А.Н. Остриков, А.И. Александров / Материалы LVII отчетной научной конференции преподавателей и научных сотрудников ВГУИТ за 2018 год : В 3 ч. Ч. 2. / под ред. О.С. Корнеевой; Воронеж. гос. ун-т инж. техн. – Воронеж: ВГУИТ, 2019. – С. 22-24.

7. Остриков, А. Н. Расчет и проектирование аппарата для влаготепловой обработки зерна / А. Н. Остриков, А. И. Александров // Энергоресурсоэффективные экологически безопасные технологии и оборудование: сборник научных трудов Международного научно-технического симпозиума «Вторые международные Косыгинские чтения, приуроченные к 100-летию РГУ имени А. Н. Косыгина»: Т. 1. М., 2019. – С. 128-132.

8. Остриков, А. Н. Разработка технологии использования кориандрового шрота в качестве кормовой добавки при производстве полнорационных комбикормов / А. Н. Остриков, А. И. Александров, Н.В. Костенников // Научное обеспечение развития животноводства в Российской Федерации : Материалы Междунар. науч.-практ. конф. Дубровицы, 2019. – С. 367-371.

9. Александров, А.И. Кинетические закономерности процесса смешивания сыпучих компонентов в двухвальном лопастном смесителе / А.И. Александров // Материалы LVIII отчетной научной конференции преподавателей и научных сотрудников ВГУИТ за 2019 год. В 3 ч. Ч. 2. / под ред. О.С. Корнеевой. – Воронеж: ВГУИТ, 2020. – С. 34.

Подписано в печать 26.03.2020. Формат 60×84¹/₁₆.

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