

На правах рукописи



Борсук Алексей Алексеевич

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ РАБОЧЕГО ПРОЦЕССА И ОБОСНОВАНИЕ
ПАРАМЕТРОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ЛИНИИ ПРИГОТОВЛЕНИЯ
СУХОГО ЗАМЕНИТЕЛЯ МОЛОЧНЫХ КОРМОВ

Специальность 05.20.01 – технологии и средства
механизации сельского хозяйства

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Благовещенск – 2014

Работа выполнена в федеральном бюджетном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Дальневосточный государственный аграрный университет»

Научный руководитель

доктор технических наук
Иванов Сергей Анатольевич

Официальные оппоненты:

Федоренко Иван Ярославович, доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВПО «Алтайский государственный аграрный университет», кафедра «Механизации животноводства», заведующий

Фролов Владимир Юрьевич, доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВПО «Кубанский государственный аграрный университет», кафедра «Механизации животноводства и БЖД», заведующий

Ведущая организация

Государственное научное учреждение Дальневосточный научно-исследовательский институт механизации и электрификации сельского хозяйства Российской академии сельскохозяйственных наук (ГНУ ДальНИИМЭСХ Россельхозакадемии)

Защита состоится 22 октября 2014 года в 13.00 часов на заседании диссертационного совета Д 220.027.01 при ФГБОУ ВПО «Дальневосточный государственный аграрный университет» 675005, Амурская область, г. Благовещенск, ул. Политехническая, 86, корпус 12, ауд. 82, тел./факс 8(4162) 49-10-44

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВПО «Дальневосточный государственный аграрный университет».

Автореферат размещён на официальном сайте ФГБОУ ВПО ДальГАУ: <http://www.dalgau.ru>

Автореферат разослан « 4 » августа 2014 г.

Отзывы на автореферат в двух экземплярах, заверенные печатью организации, просим направлять в адрес диссертационного совета университета, а копии отзывов присылать по электронной почте: avsata@mail.ru.

Ученый секретарь
диссертационного совета



Якименко Андрей Владимирович

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. В кормовом балансе многих хозяйств Амурской области и других регионов страны можно широко использовать как источник белка соевое зерно и отходы его переработки. В соевом зерне содержится до 40% протеина, 20% жира, незаменимые аминокислоты, минеральные вещества и витамины. По содержанию, биологической ценности и выходу протеина в единицы площади посева с соей не может сравниться ни одна зернобобовая культура. В то же время в семенах сои находятся вещества, снижающие усвояемость кормовых продуктов и которые разрушаются при соответствующей тепловой обработке. Поэтому скормливание соевого зерна без предварительной обработки неэффективно всем видам сельскохозяйственных животных и птицы.

Однако после термической обработки соевое зерно является ценнейшим кормом для животных и, особенно, для молодняка. Из него можно готовить разнообразные корма, в частности, так называемое соевое молоко, которое рекомендовано учеными-зоотехниками и практиками для массового применения на животноводческих фермах.

В то же время на сегодняшний день не существует эффективных технологических схем и технических средств приготовления заменителей цельного молока на основе соевого белка. Связано это, прежде всего с тем, что использованию соевого зерна на корм скоту и переработке его в соответствующие кормовые продукты не уделялось должного внимания.

Анализ существующих способов и технических средств, предназначенных для подготовки семян сои к скормливанию молодняку сельскохозяйственных животных, показал, что наиболее эффективным способом их обработки является приготовление сухого соевого заменителя молочных кормов (СЗМК) на основе соевой муки повышенной растворимости, с включением в него соответствующих компонентов рациона. В связи с изложенным, исследования, направленные на получение высококачественного СЗМК, являются актуальными.

Степень разработанности темы. Проблеме приготовления заменителей цельного молока с использованием соевого компонента посвящены работы Гордезиани В.С., Доценко С.М., Самуйло В.В., Иванова С.А., Катаева А.С., Подобед Л.И., Краснощековой Т.А. и других ученых. Однако до настоящего

времени не было получено данных, позволяющих проектировать технологические линии по производству СЗМК на основе соево-пшеничной муки.

Цель исследования – повышение эффективности приготовления сухого заменителя молочных кормов на основе соево-пшеничной муки, путем обоснования и оптимизации параметров процессов совмещенного измельчения семян сои и пшеницы, а также смешивания соево-пшеничной муки с другими рецептурными компонентами.

Задачи исследования:

– разработать теоретические аспекты по обоснованию процессов приготовления сухого заменителя молочных кормов на основе соево-пшеничной муки повышенной растворимости;

– посредством физического и математического моделирования процессов измельчения соево-пшеничной композиции, а также смешивания полученной соево-пшеничной муки с другими компонентами рецептуры заданного состава и свойств обосновать оптимальные значения параметров указанных процессов;

– провести производственную проверку и дать экономическую оценку полученным результатам исследований;

– разработать методику расчета параметров технологической линии и технических средств по производству сухого заменителя молочных кормов молодняку с.х. животных и рекомендации по использованию данной линии.

Объект исследования – технологический процесс приготовления сухого заменителя молочных кормов для молодняка сельскохозяйственных животных.

Предмет исследования – закономерности процесса приготовления сухого заменителя молочных кормов на основе соево-пшеничной муки.

Научную новизну исследования представляют:

– аналитические зависимости по определению производительности и мощности, затрачиваемой на привод вихревой мельницы, а также выражения по обоснованию параметров смесителя периодического действия с пространственным движением барабана;

- математические модели процесса получения соево-пшеничной муки с помощью вихревой мельницы;
- математические модели процесса смешивания соево-пшеничной муки с другими компонентами получаемого СЗМК с помощью смесителя с пространственным движением барабана;
- обоснованные с помощью данных моделей рациональные технологические и конструктивно-режимные параметры технологической линии и технических средств приготовления СЗМК.

Теоретическая и практическая значимость работы. Обоснованы технологический процесс и параметры технических средств приготовления СЗМК для молодняка сельскохозяйственных животных. Разработана методика расчета технологической линии и технических средств приготовления СЗМК. Результаты исследований могут быть использованы проектными организациями, КБ и НИИ при проектировании внутрихозяйственных и межхозяйственных предприятий по производству данного вида кормового продукта, расчетах мельниц вихревого типа и смесителей с пространственным движением барабана, а также в учебном процессе при подготовке инженеров сельскохозяйственного профиля и специалистов АПК.

Методы исследования. Общим методологическим подходом к проведению исследований являлся системный подход который позволил изучить разрабатываемый технологический процесс во взаимной связи качественных, технологических, технических и экономических показателей с конкретными параметрами исходного сырья и готового продукта, а также с параметрами технологической линии приготовления сухого заменителя молочных кормов.

В аналитических исследованиях использованы методы и положения теоретической и прикладной механики, а также методы теории вероятности.

Экспериментальные исследования проводились на пилотных установках с использованием метода планирования многофакторного эксперимента и математического моделирования.

Обработка и анализ полученных данных осуществлялись с использованием методов математической статистики с применением ПЭВМ и программ «Excel», «KPS», «Statistika – 6.0».

Рабочей гипотезой для решения данной частной задачи является предположение о том, что эффективность приготовления сухого заменителя молочных кормов функционально зависит от выбора рационального способа получения соево-пшеничной муки и её смешивания с остальными компонентами рациона. При этом растворимость и однородность СЗМК являются функцией большого числа как управляемых, так и неуправляемых факторов и, в первую очередь, степени и однородности измельчения исходного сырья в виде двухкомпонентной композиции семян сои и пшеницы.

Установление характера данных зависимостей и определение области рациональных значений указанных факторов, позволяет управлять реализацией процесса приготовления сухого заменителя молочных кормов.

Основные положения, вынесенные на защиту:

- результаты теоретических исследований по обоснованию технологических и конструктивно-режимных параметров процессов получения соево-пшеничной муки с помощью вихревой мельницы и смешивания компонентов СЗМК в смесителе с пространственным движением барабана;
- результаты экспериментальных исследований в виде полученных математических моделей и параметров процессов измельчения и смешивания компонентов СЗМК;
- методика расчета технологической линии приготовления СЗМК;
- технико-экономическая оценка результатов исследования.

Достоверность научных положений и выводов обусловлена использованием при исследованиях законов и методов математической статистики, математики, теоретической и прикладной механики, методик обработки данных на компьютере, с применением стандартных программ, и подтверждением полученных результатов теоретическими и экспериментальными исследованиями, и производственной проверкой.

Апробация работы. Основные результаты исследований доложены, обсуждены и одобрены на международной научно-практической конференции, посвященной 80-летию со дня рождения профессора Кобы В.Г. (г. Саратов, 2011); межвузовских научных конференциях ДальГАУ (г. Благовещенск 2011-

2013 г.г.); международной научно-практической конференции «Инженерно-техническое обеспечение регионального машиноиспользования и сельхозмашиностроения» ДальНИИМЭСХ (г. Благовещенск, 2011), международной научно-практической конференции «Аграрная наука: современные проблемы и перспективы развития» ДагГАУ (г. Махачкала, 2012), XIV региональной научно-практической конференции с межрегиональным и международным участием (г. Благовещенск, 2013), всероссийской научно-практической конференции «Инновации в пищевой промышленности: образование, наука, производство» (г. Благовещенск, 2014).

Реализация результатов исследования. Результаты исследования внедрены и использованы в Сельскохозяйственной артели (колхоз) «Родина» с. Новопетровка Константиновского района Амурской области, ООО «Соевые технологии» с. Тамбовка Амурской области, ООО «Симбирск соя» г. Дмитровград Ульяновской области.

Публикации. Основное содержание диссертационной работы опубликовано в 13 работах, в том числе 4 – международных, 2 – в изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки РФ, получен патент РФ на изобретение № 2485791 «Способ приготовления концентрированного соевого заменителя молочных кормов», МПК А23 К 1/14/ №2011130057/13, заяв.19.07.2011 г.; опубл. 27.06.2013 г., Бюл. №18.

Структура и объем диссертации. Работа состоит из введения, пяти глав, выводов, списка литературы и приложений. Работа изложена на 166 страницах, содержит 26 таблиц, 39 рисунков, 4 приложения. Список литературы содержит 209 наименований, из них 38 – на иностранном языке.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность диссертационной работы, показана её новизна, практическая значимость, выделены основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе «Состояние механизации приготовления заменителей цельного молока. Цель и задачи исследований». Приведен анализ и обобщены

данные по ранее проведенным исследованиям, связанным с использованием соевого компонента в приготавливаемых заменителях цельного молока для молодняка сельскохозяйственных животных. Дана оценка состояния процесса приготовления ЗЦМ с помощью существующих технологий и технических средств, предназначенных для их реализации. Обзор исследований по изучению процессов приготовления сухих концентрированных смесей, проведенных Алешкиным В.С., Вараксиным С.В., Доценко С.М., Ивановым С.А., Катаевым А.С., Куктой Г.М., Мельниковым С.В., Самуйло В.В., Фроловым В.Ю. Федоренко И.Я. и другими учеными показал, что выполненные исследования явились определяющими в данном направлении, а также позволили выявить противоречия и нерешенные вопросы в области механизации процессов приготовления ЗЦМ молодняку сельскохозяйственных животных.

Как показал анализ, до настоящего времени процесс получения соево-пшеничной муки и её использования в сухих концентрированных смесях для ЗЦМ не изучался, а потому нет научно обоснованных данных для проектирования и расчета технологической линии и технических средств приготовления ЗЦМ на основе такой муки.

В соответствии с поставленной целью предусматривалось решение следующих задач:

- разработать теоретические аспекты по обоснованию процессов приготовления сухого заменителя молочных кормов на основе соево-пшеничной муки повышенной растворимости;

- посредством физического и математического моделирования процессов измельчения соево-пшеничной композиции, а также смешивания полученной соево-пшеничной муки с другими компонентами рецептуры заданного состава и свойств обосновать оптимальные значения параметров указанных процессов;

- провести производственную проверку и дать экономическую оценку полученным результатам исследования;

– разработать методику расчета параметров технологической линии и технических средств по производству сухого заменителя молочных кормов молодняку с.х. животных и рекомендации по использованию данной линии.

Во второй главе «Теоретические исследования по обоснованию параметров рабочего процесса и технической линии приготовления соевого заменителя молочных кормов» приведена классификация и дан структурный анализ основных операций приготовления ЗЦМ с использованием сои.

В результате анализа, проведённого в первой главе установлено, что технологический процесс приготовления заменителей молочных кормов с использованием соево-пшеничного и другого сырья, является сложной иерархической системой, включающей множество технологических операций.

Рассмотрение данной системы, как совокупности взаимосвязанных операций, позволило выделить из нее две основные операции, такие как измельчение и смешивание.

Проведенный анализ данных процессов позволяет сделать предположение о том, что получить в процессе термообработки и измельчения соево-пшеничную муку повышенной растворимости, можно путем целенаправленного влияния на управляемые технологические факторы. К таким факторам отнесены – влажность термообработанной соево-пшеничной крупки – W_K , поступающей на измельчение, её температура – t° и средневзвешенный размер частиц крупки – M характеризующийся эквивалентным диаметром – d_{Σ} . В общем виде функциональную связь между этими факторами можно представить как

$$\eta = f(t; d_{\Sigma}; W_K) \rightarrow \max(100\%),$$

где η – растворимость муки.

Получить аналитическую модель, характеризующую процесс растворимости соево-пшеничной муки и связывающую данные факторы между собой довольно сложно.

В этой связи, с целью решения данной задачи, нами выдвинуто предположение, что растворимость соево-пшеничной муки в жидкой (водной) фазе

есть функция конечного, характерного размера частиц соево-пшеничной муки – d_u , т.е. $\eta = f(d_u)$.

В свою очередь, этот размер частиц соево-пшеничной муки, есть функция степени измельчения соево-пшеничной крупки, поступающей в вихревую мельницу – $d_u = f(\lambda)$ из мельницы грубого помола (рис. 1).

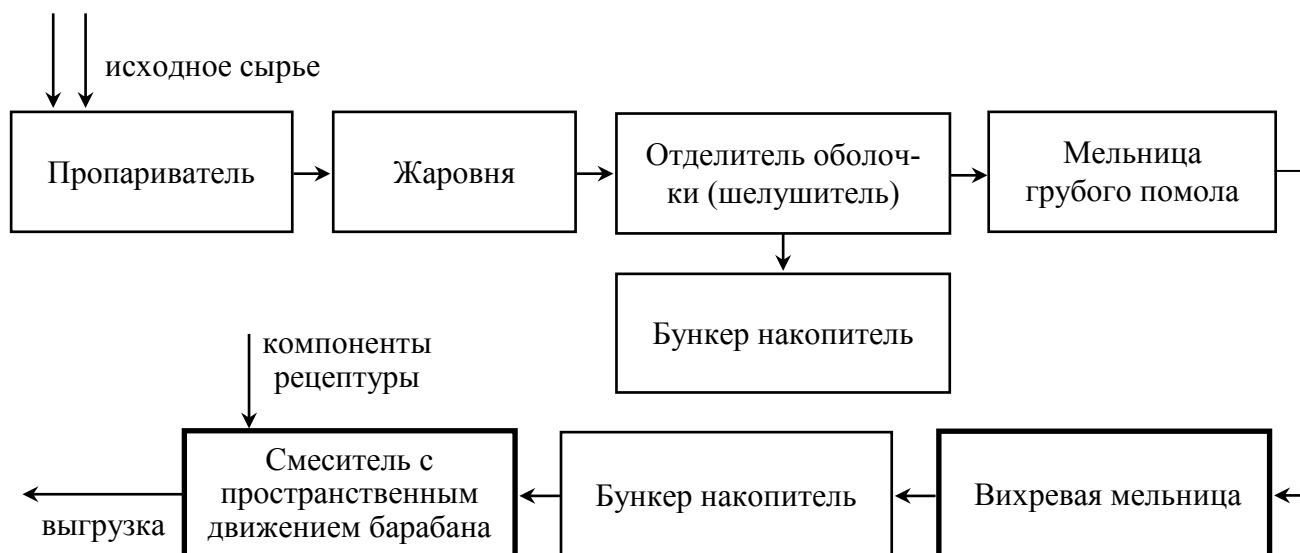


Рисунок 1 – Структурная схема технологической линии приготовления соевого заменителя молочных кормов

Тогда, в общем виде данную функциональную связь можно представить как $\eta = f[d_u = f(\lambda)]$.

Таким образом, целью дальнейших теоретических исследований является раскрытие данной функциональной связи.

Анализ технологических операций позволил представить технологический процесс приготовления СЗМК, как совокупность взаимосвязанных операций, характеризующихся совокупностью входных факторов – $U^{ex}(t_i)$ и выходных $U^{ex}(t_i)$ параметров.

На основе данного анализа разработана структурная и функциональная схемы линии приготовления СЗМК, как 2^x блочной системы. При этом, первый блок системы содержит 5 элементов в числе которых вихревая мельница, а второй блок – один элемент – смеситель периодического действия с пространственным движением барабана.

Согласно технологическому процессу получения соево-пшеничной муки, термообработанные частицы соево-пшеничной крупки радиусом R , поступают в вихревую мельницу.

С учетом принципа сохранения объемов исходной частицы крупки и полученных частиц муки заданного размера с заданной вероятностью, а также принятого положения о том, что их растворимость пропорциональна характерному размеру в степени Z , получено выражение для определения степени измельчения крупки в вихревой мельнице

$$\lambda = \sum_{l=0}^{l=m} \prod_{i=0}^{i=l} \alpha_i \cdot n_i^{1-\frac{Z}{3}}, \quad (1)$$

где m – число дроблений крупки;

α – вероятность получения усредненного характерного размера ($0 < \alpha < 1$);

n_i – число частиц после i -го разрушения.

Энергоёмкость процесса получения соево-пшеничной муки, с учётом данного показателя определится как

$$N_{\text{уд}} = \frac{N_{\text{изм}}}{Q_{\text{ВМ}} \cdot \sum_{l=0}^m \prod_{i=0}^l \alpha_i \cdot n_i^{1-(Z/3)}}, \quad (2)$$

Мощность, затрачиваемая на процесс получения соево-пшеничной муки в вихревой мельнице, определяется как

$$N_{\text{изм}} = Q_{\text{ВМ}} \cdot A_{\text{изм}}, \quad (3)$$

где $Q_{\text{ВМ}}$ – производительность вихревой мельницы;

$A_{\text{изм}}$ – работа, расходуемая на измельчение соево-пшеничной крупки, Дж/кг.

Она определяется по формуле профессора Мельникова С.В. с учетом выражения (1)

$$A_{\text{изм}} = C_1 \cdot l g \cdot \lambda^3 + C_2 (\lambda - 1), \quad (4)$$

где C_1 и C_2 – эмпирические коэффициенты, имеющие размерность Дж/кг.

Пропускная способность вихревой мельницы определяется по получен-

ному в результате анализа выражению, учитывающему интенсивность образования новых частиц в циркулирующем воздушно-продуктовом слое

$$Q_{BM} = \frac{4,6 \cdot \pi \cdot R_g \cdot H \cdot \Delta_{cl} \cdot \rho \cdot \mu_1' \cdot v^{1/(1-v)} \cdot (\lg k_1 - \lg k_2)}{(k_1 - k_2)}, \quad (5)$$

где Q_{BM} – производительность вихревой мельницы;

R_g – радиус рабочего диска вихревой мельницы;

H – высота измельчающей камеры;

Δ_{cl} – толщина кольцевого воздушно-продуктового слоя в камере мельницы;

ρ – плотность измельчаемого материала в продуктово-воздушном слое;

μ_1' – массовая доля частиц соево-пшеничной крупки в воздушно-продуктовом слое в объёме измельчающей камеры вихревой мельницы;

v – соотношение констант скорости частиц в камере мельницы, $v = k_1/k_2$;

k_1 и k_2 – константы скорости измельчения соево-пшеничного продукта.

Формулу для расчета производительности смесителя с пространственным движением барабана получили с учетом фактора времени T_{opt}

$$T_{opt} = \frac{1}{\gamma} \ln \left(\frac{i_0}{\gamma} \right), \quad (6)$$

где γ – параметр, характеризующий замедление интенсивности перераспределения компонентов смеси к окончанию процесса;

i – показатель интенсивности смешивания.

Для смесителя со сложным пространственным движением барабана производительность определяли с учетом показателя интенсивности смешивания

$$Q_{см} = \frac{\gamma \cdot \sum_{i=1}^n M_i \cdot \alpha_i}{\ln \left(\frac{i_0}{\gamma^{-1}} \right)}, \quad (7)$$

где M_i – масса смешиваемых компонентов согласно принятой рецептуре;

n – число компонентов смеси.

Число циклов Z для принятой схемы смешивания компонентов

$$Z = \frac{\sigma \cdot \gamma \cdot \sum_{i=1}^n M_i \cdot \alpha_i}{\ln(i_0 / \gamma) \cdot \sum_{i=1}^n V_i \cdot \rho_i} = \frac{\gamma \cdot \sigma}{\ln(i_0 / \gamma)}, \quad (8)$$

где σ – число выгрузок смесителя в течение 1 часа.

V_i – объем i -го компонента смеси;

ρ_i – насыпная плотность i -го компонента смеси.

Мощность, затрачиваемую на привод смесителя определили с учетом максимального момента на кривошипе

$$N_{CM} = (1, 1 \dots 1, 2) \cdot (G_M + G_C) \cdot l_{кр} \cdot \omega_{кр}, \quad (9)$$

где G_M – разовая порция смешиваемых компонентов;

G_C – вес барабана смесителя.

Вес разовой порции для принятого рецепта сухого СЗМК составляет

$$G_M = G_{MC} + G_{СПМ} + G_{П}, \quad (10)$$

где G_{MC} – вес молочной сыворотки, $G_{MC} = 0,49 \cdot G_M$;

$G_{СПМ}$ – вес соево-пшеничной муки $G_{СПМ} = 0,5 \cdot G_M$;

$G_{П}$ – вес премикса $G_{П} = 0,01 \cdot G_M$.

Таким образом, на основании теоретического анализа установлены взаимосвязи между факторами, оказывающими влияние на качественные и энергетические показатели рассматриваемых процессов. Это позволило получить новые научно-обоснованные данные для проектирования технологической линии приготовления СЗМК.

В третьей главе «Программа и методика экспериментальных исследований» приведены программа и объекты исследований общие и частные методики, а также методика обработки опытных данных.

В четвертой главе «Результаты исследований и их анализ» приведены результаты по обоснованию оптимальных параметров процессов получения соево-пшеничной муки, а также получения СЗМК на её основе.

На первом этапе экспериментальных исследований изучались физико-

механические свойства и показатели исходного сырья и продуктов его переработки, предназначенных для приготовления сухого соевого заменителя молочных кормов на основе соево-пшеничной муки. В ходе исследований установлено, что данные продукты имеют свойства и показатели, изменяющиеся в определенных пределах, что необходимо учитывать при проектировании технологических линий данного типа.

На втором этапе исследований, на основании проведенных поисковых опытов и априорного ранжирования, устанавливались наиболее значимые факторы, которые существенно влияют на критерии оптимизации – $\eta, \%$, $N_{y\partial}^u, \frac{\kappa Bm \cdot ч}{m}$, а также $\theta, \%$ и $N_{y\partial}^c, \frac{\kappa Bm \cdot ч}{m}$.

На основании проведенного анализа, было установлено, что на процесс растворимости соево-пшеничной муки – η существенное значение оказывают следующие факторы:

- эквивалентный диаметр соево-пшеничной крупки – d_{∂} , мм;
- влажность соево-пшеничной крупки – W_K , %;
- температура соево-пшеничной крупки – t , °С.

Уровни варьирования факторов, по изучению процесса получения соево-пшеничной муки повышенной растворимости, представлены в диссертации.

После реализации эксперимента, по стандартной матрице многофакторного эксперимента и обработки экспериментальных данных, построены математические модели процесса получения соево-пшеничной муки повышенной растворимости:

$$\eta = -8,3013 + 11,384 \cdot d_{\partial} + 15,989 \cdot W_K + 1,7474 \cdot t^{\circ} + 0,4250 \cdot d_{\partial} \cdot t^{\circ} + 0,1750 \cdot W_K \cdot t^{\circ} - 7,5918 \cdot d_{\partial}^2 - 1,3899 \cdot W_K^2 - 0,0522 \cdot (t^{\circ})^2 \rightarrow \max; \quad (11)$$

$$N_{y\partial} = 63,893 - 0,5292 \cdot d_{\partial} - 1,2840 \cdot W_K - 0,4142 \cdot t^{\circ} - 0,1375 \cdot d_{\partial} \cdot W_K - 0,0200 \cdot d_{\partial} \cdot t^{\circ} - 0,0175 \cdot W_K \cdot t^{\circ} + 0,6073 \cdot d_{\partial}^2 + 0,1348 \cdot W_K^2 + 0,0042 \cdot (t^{\circ})^2 \rightarrow \min. \quad (12)$$

Адекватность полученных моделей (11 и 12), подтверждается неравенством $F_R > F_T$, с вероятностью $P=0,95$, при коэффициентах корреляции $R_1 = 0,95$ и $R_2 = 0,93$ (таблица 1).

Таблица 1 – Результаты регрессионного анализа зависимости $Y_{1-2} = f(X_1, X_2, X_3)$

Критерий	a_0	a_1	a_2	a_3	a_{12}	a_{13}	a_{23}	a_{11}	a_{22}	a_{33}	Заключение об адекватности	
											F_R	F_T
Y_1	99,415	-1,983	1,500	-1,794	—	4,250	3,500	-7,592	-5,560	-5,221	6,851	3,58
Y_2	49,540	—	-0,202	—	-0,275	-0,200	-0,350	0,607	0,540	0,3743	6,4913	4,15

Посредством анализа полученных графических зависимостей для η и $N_{y\delta}$, установлены области оптимальных значений факторов, исследуемого процесса.

Анализ частных коэффициентов показал, что на исследуемый процесс наибольшее влияние оказывают размер исходных частиц соево-пшеничной крупки – X_1 , а также взаимодействие этого фактора с фактором X_2 – ее влажностью.

Проведенный анализ и решение полученных уравнений регрессии (рис. 2), позволили получить оптимальные значения параметров, которые равны:

- эквивалентный диаметр частиц соево-пшеничной крупки – $d_{\text{э}} = 1,8-2,0$ мм;
- влажность соево-пшеничной крупки – $W_K = 8,0-8,5$ %;
- температура соево-пшеничной крупки – $t = 38-40$ °С.

При указанных значениях параметров, растворимость соево-пшеничной муки составляет $\eta = 99,86$ %, а энергоемкость процесса измельчения соево-

пшеничной крупки $N_{y\delta} = 49,518 \frac{\text{кВт} \cdot \text{ч}}{\text{т}}$.

При обосновании оптимальных параметров процесса смешивания компонентов в результате приготовления сухого заменителя молочных кормов также были выделены наиболее значимые факторы, которые существенно влияют на исследуемый процесс смешивания компонентов СЗМК.

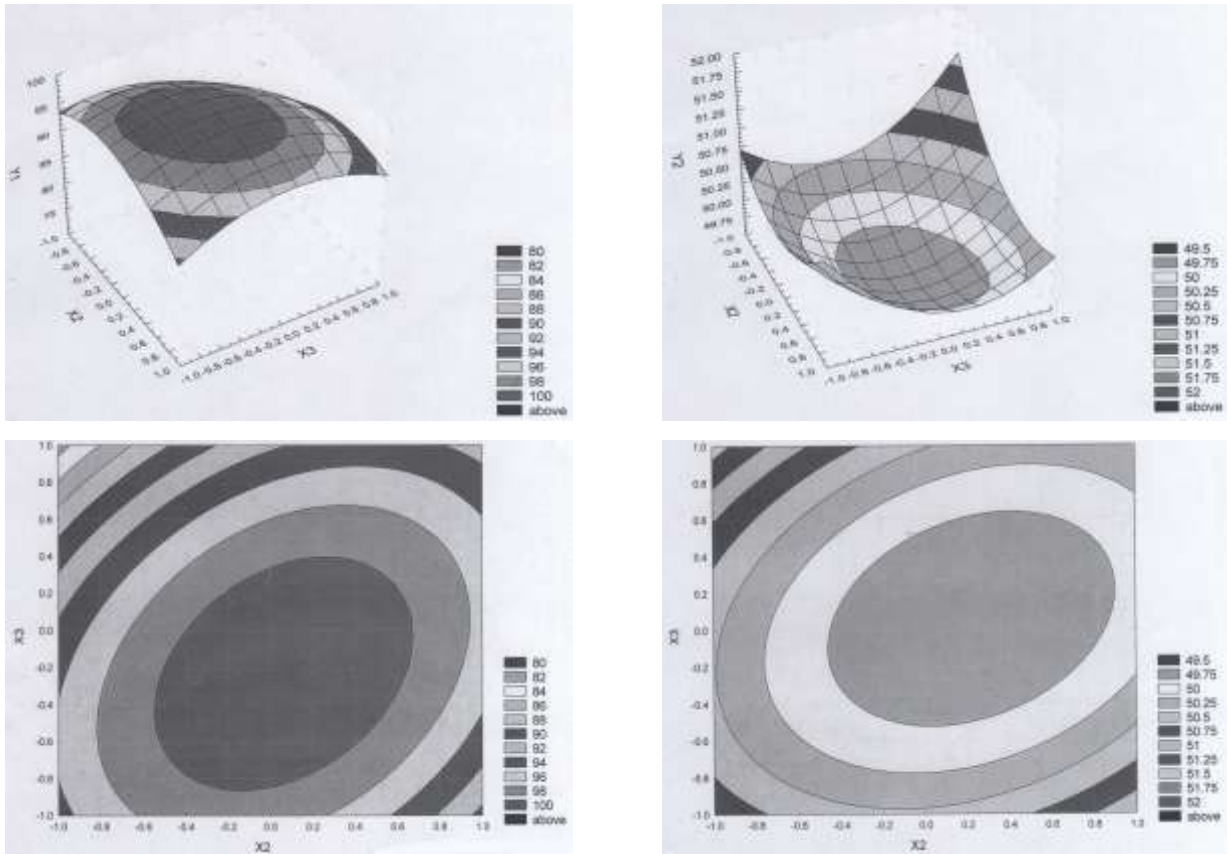


Рисунок 2 – Поверхности откликов $Y_{1-2} = f(X_1 = -0,2, X_2, X_3)$ и их сечения

К таким факторам отнесены:

- угловая скорость вращения кривошипа смесителя – X_1 (ω, c^{-1});
- масса смешиваемых компонентов – X_2 (М, кг);
- продолжительность смешивания – X_3 (Т, мин).

При этом, в качестве критериев оптимизации, были приняты однородность и энергоемкость процесса смешивания, соответственно – Y_3 ($\theta, \%$) и Y_4 ($N_{y\partial}^c, \frac{\text{кВт}\cdot\text{ч}}{\text{т}}$).

Для оценки влияния факторов по данным эксперимента были получены уравнения регрессии, которые после отсеивания незначимых коэффициентов и исследования их на \max имеют следующий вид:

$$\theta = -404,6200 + 137,200 \cdot \omega + 1,5166 \cdot M + 13,7580 \cdot T - 0,1083 \cdot \omega \cdot M - 2,2917 \cdot \omega \cdot T - 50,0990 \cdot \omega^2 - 0,0014 \cdot M^2 - 0,6191 \cdot T^2 \rightarrow \max; \quad (13)$$

$$N_{y\partial} = 11,128 - 2,2265 \cdot \omega - 0,0263 \cdot M - 0,3081 \cdot T + 0,0687 \cdot \omega \cdot T + 0,0048 \cdot M \cdot T + 1,2825 \cdot \omega^2 + 0,0003 \cdot M^2 + 0,0271 \cdot T^2 \rightarrow \min; \quad (14)$$

Адекватность моделей 13 и 14, по результатам регрессионного анализа, с вероятностью $P=0,95$, при коэффициентах корреляции $R_3= 0,929$ и $R_4= 0,922$ подтверждается неравенством $F_R > F_T$; ($7,23 > 4,77$ и $6,49 > 4,77$).

Анализ частных коэффициентов корреляции показал, что процесс смешивания компонентов СЗМК наибольшее влияние оказывают факторы X_2 и X_3 – соответственно масса компонентов в смесителе – M и продолжительность смешивания – T .

После получения адекватных математических моделей процесса смешивания определялись коэффициенты оптимума и изучались поверхности откликов для Y_3 и Y_4 .

В диссертации представлены поверхности откликов $Y_{3-4} = f(X_1; X_2; X_3)$ и сечения этих поверхностей.

Проведенный анализ и решение полученных уравнений регрессии, позволили определить оптимальные значения параметров, которые равны:

- угловая скорость вращения кривошипа смесителя – $\omega = 0,58-0,62 \text{ с}^{-1}$;
- масса загружаемых компонентов СЗМК – $M = 495-520 \text{ кг}$;
- продолжительность смешивания компонентов – $T = 9,3-10,0 \text{ мин}$.

При указанных значениях параметров процесса смешивания, однородность смеси составляет $\theta = 98,67 \%$, а $N_{y\delta}^c = 2,474 \text{ кВт} \cdot \text{ч}/\text{т}$.

Таким образом, экспериментом установлено, что физико-механические свойства и показатели соево-пшеничного сырья и продуктов его переработки имеют определенный диапазон варьирования, что необходимо учитывать при выборе способов и схем их обработки. При этом наиболее высокие качественные показатели при наименьшей энергоемкости получены при указанных рациональных значениях параметров процессов измельчения и смешивания.

В пятой главе «Производственная проверка результатов исследования, их технико-экономическая оценка и методика расчета линии по производству сухого соевого заменителя молочных кормов» приведены результаты производственной проверки, которая проводилась на базе цеха по производству сое-

вой муки ООО «Соевые технологии», расположенного в с. Тамбовка Амурской области.

На рисунке 3 представлена технологическая схема производства сухого заменителя молочных кормов с использованием соево-пшеничной муки повышенной растворимости.

Получение соево-пшеничной муки повышенной растворимости является отличительной особенностью технологии.

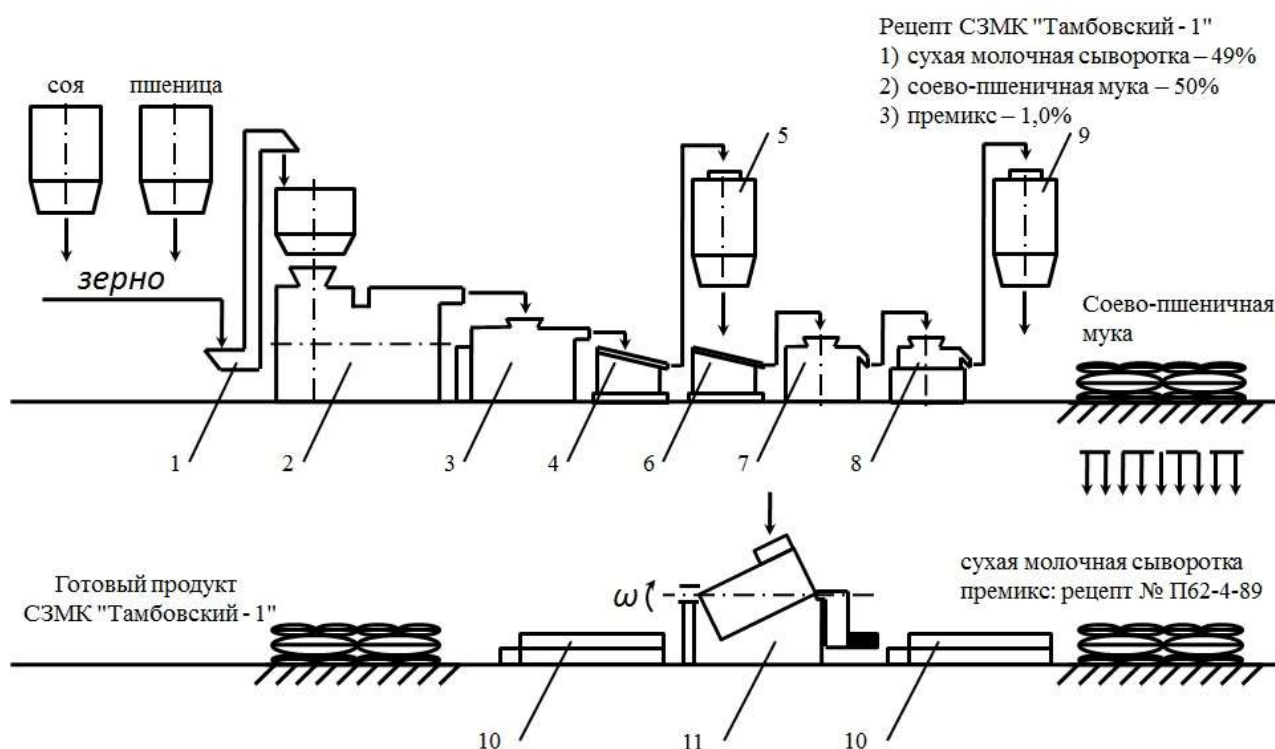


Рисунок 3 – Конструктивно-технологическая схема линии по производству СЗМК «Тамбовский-1».

1 – нория; 2 – термоагрегат; 3 – машина шелушильная; 4 – вибросепаратор; 5 – бункер-накопитель; 6 – вибродозатор; 7 – мельница грубого помола; 8 – вихревая мельница; 9 – бункер-накопитель муки; 10 – весы; 11 – смеситель

Согласно конструктивно-технологической схеме, представленной на рисунке, семена сои и пшеницы поступают посредством норрии 1 в пропариватель термоагрегата 2.

Пропаренная, а затем прожаренная в термоагрегате композиция семян поступает в шелушильную машину 3, где зерно обрушивается путем разделения

на семядоли и отделения оболочки. Посредством сепарации, от полученной массы, на вибросепараторе 4, оболочка отделяется от массы зерна, и направляется в бункер-накопитель 5. Из бункера-накопителя 5, с помощью вибродозатора 6, семядоли сои и пшеницы поступают в мельницу грубого помола 7, а затем в вихревую мельницу 8.

Из вихревой мельницы 8, готовый продукт, в виде соево-пшеничной муки повышенной растворимости, поступает в бункер-накопитель муки 9, а затем готовая мука фасуется в мешкотару, упаковывается и складировается.

Согласно разработанной рецептуре, необходимые дозы полученного мучного продукта, молочной сыворотки и премикса, с помощью весов 10, отмеряются и засыпаются в смеситель 11. По окончании процесса смешивания, готовый СЗМК фасуется в мешкотару, упаковывается, складировается, а затем реализуется потребителю.

Методика расчета технологической линии приготовления СЗМК и результаты оценки экономической эффективности приведены в диссертации.

ВЫВОДЫ

1. Анализ существующих технологий и технических средств для приготовления заменителей цельного молока для молодняка с.х. животных, а также практика показывают, что одним из перспективных направлений в данной области является получение соевых заменителей молочных кормов с повышенной растворимостью белковых и других веществ рациона в жидкой фазе. В результате теоретического анализа установлено, что растворимость соево-пшеничной муки в жидкой фазе зависит от конечного характерного размера частиц получаемой муки, являющегося функцией степени измельчения термообработанной соево-пшеничной крупки, ее физико-механических и структурных свойств, а также способа разрушения исходных частиц крупки. На основании данного анализа получены аналитические выражения для определения производительности и мощности вихревой мельницы, учитывающие кинетический характер

разрушения частиц крупки в камере мельницы. На основании теоретического анализа процесса смешивания рецептурных компонентов сухого заменителя молочных кормов, обоснован методологический подход к оценке данного процесса, учитывающий характер приращения концентрации контрольного компонента в динамической системе сыпучих тел. С учетом данного фактора получены аналитические выражения для определения производительности и мощности барабанного смесителя со сложным пространственным движением барабана.

2. Посредством физического и математического моделирования определены оптимальные значения процесса получения соево-пшеничной муки повышенной растворимости, которые равны: эквивалентный диаметр частиц соево-пшеничной крупки – $d_{\text{э}} = 1,8-2,0$ мм, влажность соево-пшеничной крупки $W_K = 8,0-8,5$ % и ее температура $t = 38-40^\circ$ С. На основе полученных в ходе эксперимента математических моделей процесса смешивания компонентов СЗМК, с помощью смесителя периодического действия со сложным пространственным движением барабана, определены оптимальные значения параметров: угловая скорость кривошипа смесителя $\omega = 0,58-0,62$ с⁻¹; масса компонентов в емкости смесителя $M = 495-520$ кг; продолжительность смешивания $T = 9,3-10,0$ минут.

3. Производственной проверкой установлено, что технологическая линия по производству сухого заменителя молочных кормов обеспечивает получение соево-пшеничной муки требуемой растворимости ($\eta = 98-99$ %) посредством вихревой мельницы, а также смеси рецептурных компонентов СЗМК требуемой однородности ($\theta = 96-98$ %). В результате сравнительной технико-экономической оценки эффективности технологических и технических решений установлено, что они позволяют обеспечить доход производителю СЗМК в сумме 38.810.640 руб., а доход потребителю СЗМК в сумме 24.000.000 руб.

4. На основании проведенных исследований разработана методика расчета производственно-технической линии приготовления СЗМК и рекомендации по её приготовлению.

Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах:

Список работ, опубликованных в ведущих рецензируемых журналах и изданиях ВАК Минобрнауки РФ:

1. Борсук, А.А. Обоснование и оптимизация параметров технологической линии приготовления соевого заменителя молока / С.М. Доценко, С.А. Иванов, А.А. Борсук // Вестник КрасГАУ. – 2011. – № 9. – С.277-281.

2. Борсук, А.А. Обоснование параметров процессов приготовления полнорационных кормовых смесей / С.М. Доценко, Л.Г. Крючкова, А.А. Борсук // Вестник КрасГАУ. – 2012. – № 10. – С.180-183.

Список работ, опубликованных по теме диссертации:

3. Борсук, А.А. Рекомендации по производству и использованию соевого заменителя молока / С.А. Иванов, А.А. Борсук // – Благовещенск, 2011. – 14 с.

4. Борсук, А.А. Получение соевой муки повышенной растворимости для производства заменителя цельного молока /С.М. Доценко, С.А. Иванов, А.А. Борсук // Международная научно-практическая конференция посвященная 80-летию со дня рождения Кобы В.Г. – Саратов. – СарГАУ, 2011. С.10-12.

5. Борсук, А.А. Производство и использование сухого заменителя молочных кормов / С.А. Иванов, А.А. Борсук // Международная научно-практическая конференция «Инженерно-техническое обеспечение регионального машиноиспользования и сельхозмашиностроения» – Благовещенск. – ДальНИИМЭСХ, 2011. – С.214-218.

6. Борсук, А.А. Обоснование технологического процесса приготовления соевого заменителя молока /С.М. Доценко, С.А. Иванов, А.А. Борсук // VIII Международная научно-практическая конференция «Пища. Экология. Качество» – Алматы. – ДагГАУ, 2011. – С.283-284.

7. Борсук, А.А. Производство и использование сухого заменителя молока на основе соевой муки / С.М. Доценко, С.А. Иванов, А.А. Борсук // Сборник научных трудов «Актуальные проблемы переработки сельскохозяйственного сырья и создания пищевых продуктов специального назначения», Благовещенск. – ВНИИ сои, 2011. – Вып. 2.– С.139-142.

8. Борсук, А.А. Методика расчета параметров линии приготовления соевого заменителя молока / С.М. Доценко, С.А. Иванов, А.А. Борсук // Сборник научных трудов «Актуальные проблемы переработки сельскохозяйственного сырья и создания пищевых продуктов специального назначения», Благовещенск. – ВНИИ сои, 2011. – Вып. 2.– С.143-145.

9. Борсук, А.А. Обоснование технологии производства сухого соевого заменителя молока / А.А. Борсук // Региональная научно-практическая конференция « Взаимодействие научно-образовательных учреждений, бизнеса и власти». – Благовещенск. – ДальГАУ, 2011. – С. 147-149.

10. Борсук, А.А. Обоснование параметров процесса приготовления заменителя цельного молока с использованием соевого компонента /С.М. Доценко, С.А. Иванов, Л.Г.Крючкова, А.А. Борсук // Международная научно-практическая конференция «Аграрная наука: современные проблемы и перспективы развития». – Махачкала. – ДагГАУ, 2012. – С. 1332-1348. [Электронный ресурс] / Режим доступа: http://dgsha.ru/index/sborniki_statej/0-145, свободный. - Загл. с экрана. - Яз. рус., англ.

11. Борсук, А.А. Обоснование технологии производства сухого соевого заменителя молока / А.А. Борсук // XIV региональная научно-практическая конференция с межрегиональным и международным участием. – Благовещенск. – ДальГАУ, 2013. – Том 6, – С. 130-131.

12. Борсук А.А. Производство соево-пшеничной муки повышенной растворимости для приготовления теста и кондитерских изделий на его основе / А.А. Борсук, С.А. Иванов // Инновации в пищевой промышленности: образование, наука, производство: матер. Всерос. науч.-практ. конф. (г. Благовещенск, 23 апреля 2014 г.). В 2 ч. Ч.1. – Благовещенск: ДальГАУ, 2014. – С. 26-32.

13. Способ приготовления концентрированного соевого заменителя молочных кормов: патент РФ на изобретение № 2485791 МПК А23 К 1/14/ А.А. Борсук, С.М. Доценко, С.А. Иванов; №2011130057/13, заяв.19.07.2011 г.; опубл. 27.06.2013 г., Бюл. №18.

Борсук Алексей Алексеевич

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ РАБОЧЕГО ПРОЦЕССА И ОБОСНОВАНИЕ
ПАРАМЕТРОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ЛИНИИ ПРИГОТОВЛЕНИЯ
СУХОГО ЗАМЕНИТЕЛЯ МОЛОЧНЫХ КОРМОВ

АВТОРЕФЕРАТ

*диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук*

Лицензия ЛР 020427 от 25.04.1997 г.
Подписано к печати 03.07.2014 г. Формат 60×90/16.
Уч.-изд.л. – 1,0. Усл.-п.л. – 1,5.
Тираж 100 экз. Заказ 212.

Отпечатано в отделе оперативной полиграфии издательства ДальГАУ
675005, г. Благовещенск, ул. Политехническая, 86