

На правах рукописи

СИБИЛЬ АНТОН ВАЛЕРЬЕВИЧ

**ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРИЕМОВ ПОЛУЧЕНИЯ
СУХИХ КОМПОЗИТНЫХ МУЧНЫХ СМЕСЕЙ С ЗАДАННЫМ
СООТНОШЕНИЕМ РЕЦЕПТУРНЫХ КОМПОНЕНТОВ**

05.18.01 – технология обработки, хранения и переработки злаковых,
бобовых культур, крупяных продуктов, плодоовощной
продукции и виноградарства

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

диссертации на соискание
ученой степени кандидата технических наук

Красноярск – 2012

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Кемеровский технологический институт пищевой промышленности»

Научный руководитель – Заслуженный деятель науки РФ,
доктор технических наук, профессор
Иванец Виталий Николаевич

Официальные оппоненты – Типсина Нэля Николаевна,
доктор технических наук, доцент,
ФГБОУ ВПО «Красноярский государственный
аграрный университет», заведующая кафедрой
«Технология хлебопекарного, кондитерского и
макаронного производств»

– Семенов Александр Викторович,
кандидат технических наук, доцент,
КГБОУ СПО «Красноярский технологический
техникум пищевой промышленности», директор

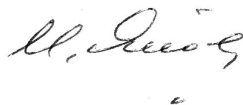
Ведущая организация – Государственное научное учреждение Сибирский
научно-исследовательский институт переработки
сельскохозяйственной продукции
Россельхозакадемии

Защита состоится «17» мая 2012 г. в «12⁰⁰» часов на заседании
диссертационного совета Д 220.037.03 при ФГБОУ ВПО «Красноярский
государственный аграрный университет», по адресу: 660049, г. Красноярск,
проспект Мира, 90, ауд. 3-15.

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

Автореферат разослан «16» апреля 2012 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета



Янова Марина Анатольевна

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Разработка и внедрение в пищевую промышленность новых технологий, обеспечивающих рост эффективности производственных процессов, расширение производства продуктов повышенной биологической ценности являются важными этапами реализации «Основ государственной политики Российской Федерации в области здорового питания населения на период до 2020 года». Концепция развития аграрной науки и научного обеспечения агропромышленного комплекса РФ на период до 2025 г. предусматривает в области хранения и переработки сельскохозяйственной продукции создание: технологических процессов и машин, стабилизирующих показатели пищевого сырья и готовой продукции; эффективных методов, интенсифицирующих производственные процессы, снижающих энергоемкость и обеспечивающих высокое качество пищевой продукции; высокоэффективных процессов производства и применения, в том числе с использованием композитов.

Для обеспечения населения доступными и качественными продуктами питания необходимо решить задачи, возникающие при расширении технологии переработки сыпучих дисперсных материалов в пищевой и других отраслях промышленности, в т.ч. связанные с необходимостью получения смесей заданного состава. Использование высокоэффективных технологических процессов требует создания и совершенствования смесительной аппаратуры. Так, при получении композитных смесей для мучных, кормовых, хлебобулочных, кондитерских изделий, основной проблемой является равномерность распределения основных рецептурных компонентов.

Большой вклад в разработку технологий мучных полуфабрикатов и продуктов внесли ученые: Л.Я. Ауэрман, Л.И. Пучкова, Т.Б. Цыганова, Цугленок Н.В., Цугленок Г.И., В.Д. Малкина, О.А. Ильина, И.В. Матвеева, Н.П. Козьмина, В.А. Патт, Л.П. Пащенко, Шатнюк, Л.Н., М. Velencia, D.K. Salunkhe и др.

В ряде вышеназванных работ отмечается, что недостаточно изучены и разработаны методы аналитического исследования процессов, связанных с созданием комплексных технологий многокомпонентных смесей на основе функциональных ингредиентов, а также их оптимизация. Это, в свою очередь, сдерживает создание новых технологий и расширение ассортимента композитных смесей, затрудняет выбор наиболее оптимального аппаратурного оформления и режимов работы смесительного оборудования.

В связи с этим научное обоснование и разработка технологии получения сухих композитных мучных смесей с заданным составом, создание теории и методики расчета смесительного оборудования является актуальной научной задачей, представляющей практический интерес для пищевой и ряда других отраслей народного хозяйства.

Диссертационная работа выполнена в соответствии с планами НИР ФГБОУ ВПО КемТИПП; грантом Министерства образования РФ Т02-06.7-1238 «Научно-практические основы разработки непрерывнодействующих смесителей центробежного типа с регулируемой инерционностью для получения сухих и увлажненных композиционных материалов»; грантами губернатора

Кемеровской области «Разработка научно–практических аспектов создания дозировочно-смесительного оборудования для производства комбинированных кормов и продуктов питания», «Инновационное развитие высокоэффективных технологических процессов производства комбинированных продуктов» (2007 г., 2010 г.); хоздоговорной НИР «Теоретические и практические аспекты процессов смешивания в производстве сухих смесей» с ООО «РСТ», г. Кемерово (2007 – 2009 г.).

Цель работы. Разработка технологических приемов, позволяющих интенсифицировать процессы смесеобразования при производстве сухих композитных мучных смесей с использованием новых конструкций смесителей, обеспечивающих улучшение качественного состава полуфабрикатов мучных изделий.

Для реализации поставленной цели решались следующие **задачи**:

1. проанализировать существующие технологии получения сухих мучных композитных смесей и обосновать технологию получения изделий с заданным соотношением рецептурных компонентов;

2. провести математическое моделирование процесса смесеобразования в центробежном смесителе с различной структурой движения материальных потоков;

3. разработать новую конструкцию смесителя центробежного типа для получения композитных смесей улучшенного качества, в которой интенсификация процесса смесеобразования достигается путем совмещения процессов смешивания и диспергирования, а также организацией направленного движения материальных потоков;

4. разработать компьютеризированную методику проектирования смесителей центробежного типа, позволяющую рассчитать оптимальные параметры процессов смешивания и диспергирования сыпучих дисперсных материалов;

5. провести исследования по влиянию основных параметров процессов смесеобразования на степень измельчения, гранулометрический состав и качество смешивания;

6. провести промышленную апробацию технологии получения сухих мучных композитных смесей для различных видов печенья, полуфабрикатов мучных изделий и дать экономическую оценку.

Объектом исследования являлись технологические параметры процессов получения мучных композитных смесей, конструктивные и режимные параметры смесителя, качественный состав полуфабрикатов и готовых изделий.

Предметом исследования было установление закономерностей, определяющих механизм процесса смесеобразования сыпучих дисперсных материалов в технологии мучных композитных смесей.

Научная новизна.

– Научно обоснована технология и разработана аппаратурно - процессовая схема производства сухих мучных композитных смесей с заданным составом;

– Разработаны математические модели, позволяющие прогнозировать параметры технологий производства сухих мучных композитных смесей заданного состава, реализованные численными методами на ЭВМ;

– С использованием компьютерных технологий созданы алгоритм и программы расчета оптимальных параметров процессов смешивания и диспергирования сыпучих дисперсных материалов;

– Экспериментально исследовано влияние режимных и геометрических параметров работы нового смесительного оборудования на кинетику процесса смесеобразования. Получены новые экспериментальные данные и режимы технологических параметров процессов смешивания и диспергирования мучных композитных смесей.

Практическая значимость и реализация результатов.

Разработаны стадии смешивания в технологиях сухих мучных композитных смесей заданного состава и аппараты (патенты РФ № 2361653 и № 106848), позволяющие интенсифицировать процессы смешивания и диспергирования сухих дисперсных материалов, существенно снизить их металло – и энергоемкость за счет совмещения процессов измельчения и смешивания.

Предложены компьютеризированные методики проектирования смесителей центробежного типа и программы (Св.-во о гос. рег. прогр. для ЭВМ № 2011619084 «Расчет качества смешивания в центробежном смесителе», «Программа для оптимизации параметров процесса смешивания сыпучих дисперсных материалов», № 2011619083 «Расчет степени измельчения в центробежном смесителе-диспергаторе»).

Разработаны и внедрены аппаратурно - процессовые схемы малотоннажного производства: мучных композитных смесей для кондитерских изделий – печенье сахарное «Шахматное», печенье сдобное «Ореховое» (предприятие ООО "КДВ Яшкино", п.г.т. Яшкино, Кемеровской области); смесей композитных мучных для блинов и оладий (ОАО «КемеровоХлеб», г. Кемерово).

По результатам проведенных исследований разработана и утверждена техническая документация: ТИ 9131-047-00356151-2011 (Технологическая инструкция по производству печенья сахарного «Шахматное»), ТИ 9131-046-00356151-2011 (Технологическая инструкция по производству печенья сдобное «Ореховое»), ТИ 919523-022-00351030-2011 (Технологическая инструкция по производству смеси композитной мучной для блинов и оладий).

Теоретические и практические результаты диссертационной работы используются в учебном процессе и НИР при подготовке бакалавров и магистрантов на кафедрах ФГБОУ ВПО КемТИПП: процессов и аппаратов пищевых производств; технологии хлеба, кондитерских и макаронных изделий; технологии и организации общественного питания.

Достоверность и обоснованность полученных результатов. Основные положения, выводы, теоретические, практические разработки, рекомендации, полученные в диссертационной работе, научно обоснованы, подтверждены экспериментальными данными и апробированы в условиях реального производства. Достоверность результатов работы подтверждается достаточным количеством экспериментального материала, адекватным объемом выполненных исследований, использованием современных методик обработки экспериментальных данных, применением методов математического моделирования и прикладной статистики.

Личный вклад автора. Автором самостоятельно поставлены цели и задачи, выбраны объекты и методы исследований, разработана программа теоретических и экспериментальных изысканий, лично выполнены, обработаны и проанализированы основные результаты, практическая реализация которых также проводилась при непосредственном участии автора.

Автор защищает. Новое аппаратурное оформление стадий смешивания в технологии получения сухих мучных композитных смесей заданного состава; математическое описание процесса смесеобразования; компьютеризированную методику проектирования смесительного оборудования для получения высококачественных мучных композитных смесей; новую конструкцию центробежного смесителя и результаты его экспериментальных исследований.

Апробация работы. Основные результаты исследований докладывались и обсуждались на международных и всероссийских научных конференциях: Кемеровского технологического института пищевой промышленности (2007 – 2011 г.г.); «Современные проблемы техники и технологии пищевых производств», Барнаул, 2007; «Технология и продукты здорового питания», Саратов, 2008; «Инновационные технологии переработки сельскохозяйственного сырья в обеспечении качества жизни: наука, образование и производство», Воронеж, 2008; «Инновационные технологии и оборудование для пищевой промышленности (приоритеты развития)», Воронеж, 2009; «Актуальные вопросы развития пищевой промышленности», Челябинск, 2011; «Актуальные вопросы современной техники и технологии», Липецк, 2012; «Аграрная наука – сельскому хозяйству», Барнаул, 2012.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 20 научных работ (в том числе пять статей в рецензируемых научных журналах и изданиях, рекомендованных ВАК РФ, получены два патента РФ и два свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ).

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, пяти глав, основных выводов, списка литературы и приложений; включает 37 рисунков, 24 таблицы. Основной текст изложен на 117 страницах машинописного текста. Список литературы включает 148 наименований.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы диссертации, сформулированы ее цель, задачи, указаны научная новизна и практическая значимость.

В первой главе на основе анализа существующих технологий установлена необходимость проработки вопросов получения композитных мучных смесей на базе рациональной технологии, обеспечивающей получение изделий с заданным соотношением рецептурных компонентов и соответствующего аппаратурного оформления.

Проведен анализ состояния и перспектив развития смесительного оборудования для получения смесей сухих дисперсных материалов в пищевой промышленности. Выявлено, что для решения поставленных задач наиболее подходят центробежные механические смесители, имеющие высокую производительность и интенсивность.

Во второй главе проведено обоснование технологии получения мучных композитных смесей с заданным составом в аппаратах центробежного типа.

Большое распространение сухие порошкообразные пищевые продукты получили при производстве мучных кондитерских изделий и сухих готовых полуфабрикатов. Существующие традиционные технологии сахарного и сдобного печенья предусматривают формирование из всего многокомпонентного сырья двух представительных полуфабрикатов: эмульсии и мучной смеси – при двухфазном способе приготовления теста, либо последовательное внесение сырьевых компонентов – при однофазном. В состав мучной смеси входят основные компоненты – мука и крахмал, а, при переработке возвратных продуктов, – крошка печенья.

Технологической сложностью в образовании пластичного (сахарного) теста является противоречие между потребностью в высокой однородности и ограничением деформационного воздействия на него. При замесе теста в плотных слоях невозможно получить однородную смесь из-за агрегирования и комкования компонентов, а увеличение времени смешивания приводит к затягиванию теста и потере пластичности. Решением этой задачи является начальное равномерное распределение фаз и последующее заданное структурирование теста. Исключить стадию образования мучных агрегатов возможно путем разрыва связей между частицами контактирующих фаз и обеспечения условий целенаправленного протекания массообменных процессов при структурировании теста, направленных на ограничение набухания белковых веществ.

Существующие способы получения пластичного теста основаны на разделении протекания массообменных процессов при ограничении влажности по фазам его приготовления: процесс растворения таких компонентов как сахар, соль, химические разрыхлители, сухие молочные и яичные продукты осуществляется в эмульсии; коллоидные процессы набухания белковых веществ и крахмала муки – при замесе теста и далее формовании вплоть до выпечки.

Повлиять на характер течения коллоидных процессов при приготовлении кондитерского теста, типа сахарного и сдобного, можно путем создания условий жесткой конкуренции за воду на основной фазе его получения – замесе. Это возможно при условии присутствия при замесе более гидрофильных веществ, каковыми являются водорастворимые порошкообразные рецептурные компоненты. При этом задача равномерности распределения компонентов должна быть перенесена с эмульсии на мучную смесь.

Таким образом, приготовление теста с использованием многокомпонентной смеси сыпучих ингредиентов является эффективным способом регулирования его структурно-механических свойств и повышения качества готовых изделий.

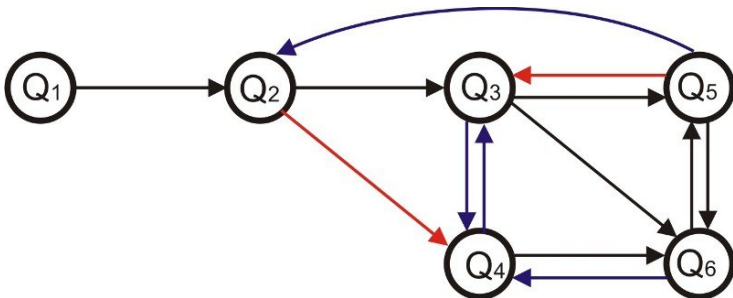
С целью оптимизации параметров технологии получения сухих мучных композитных смесей заданного состава проведено математическое моделирование процессов смесеобразования. Для этого в рабочем объеме аппарата выделены основные зоны Q , в которых под влиянием центробежных и инерционных сил возникает движение или перераспределение потоков материала. Принято, что такое движение является случайным процессом, дискретным во времени и в

пространстве состояний. Материальная частица может находиться в одном из счетного числа наборов состояний Q_i . Считая, что элементы вектора состояния системы Ω_k меняются через конечные промежутки времени Δt , состояние процесса зафиксировано в моменты Δt ($\Delta t = (k-1) \cdot \Delta t$, где $k = 1, 2, 3, \dots$ – номер перехода, то есть целочисленный дискретный аналог времени. В результате перехода Ω_k изменится и станет Ω_{k+1} . Принято, что по рабочему объему аппарата блуждает N частиц, тогда их среднее число, находящееся в момент времени $t = t_k$ в состоянии Q_i , равно $M_i(t)$. Математическая модель, позволяющая проанализировать распределение частиц материалопотоков имеет вид:

$$\begin{cases} \Omega_{k+1} = \Omega_k \cdot P, \\ \Omega_0 = (\Omega_1(t_0), \Omega_2(t_0), \dots, \Omega_n(t_0)), \\ M_k = N \cdot \Omega_k. \end{cases} \quad (1)$$

где P - матрица вероятностей перехода, составленная из элементов p_{ij} .

Рассмотрены два варианта конструктивного исполнения аппарата, определяющие схемы движения материалопотоков (рисунок 1). Общими потоками являются: $Q_1 \rightarrow Q_2$, $Q_2 \rightarrow Q_3$, $Q_3 \rightarrow Q_5$, $Q_5 \rightarrow Q_6$, $Q_6 \rightarrow Q_5$, $Q_4 \rightarrow Q_6$, $Q_3 \rightarrow Q_6$. Оригинальные потоки для первого варианта: $Q_5 \rightarrow Q_2$, $Q_6 \rightarrow Q_4$, $Q_4 \rightarrow Q_3$, $Q_3 \rightarrow Q_4$; для второго: $Q_5 \rightarrow Q_3$, $Q_2 \rightarrow Q_4$.



Количество материала, поступающего в аппарат, принято за безразмерную величину, равную единице.

Основными параметрами модели (1) являются переходные вероятности p_{23} , p_{35} , p_{36} , p_{46} , p_{52} , p_{53} , p_{56} и p_{65} .

Рисунок 1 - Схема движения материалопотоков

Задавая модельные параметры для соответствующей схемы движения, принимая равными нулю вероятности перехода для отсутствующих потоков, модель примет вид:

$$\left\{ \begin{array}{l} \Omega_{k+1} = \Omega_k \cdot \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & p_{23} & (1-p_{23}) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & (1-p_{35}-p_{36}) & p_{35} & p_{36} \\ 0 & 0 & (1-p_{46}) & 0 & 0 & p_{46} \\ 0 & ((1-p_{56})-p_{53}) & ((1-p_{56})-p_{52}) & 0 & 0 & p_{56} \\ 0 & 0 & 0 & (1-p_{65}) & p_{65} & 0 \end{pmatrix}, \\ \Omega_0 = (1, 0, 0, 0, 0, 0), \end{array} \right. \quad (2)$$

С использованием модели (2) проведен комплексный анализ различных схем организации потоков материала в аппарате, исследовано их влияние на

показатель неоднородности смеси V_c^T (задавая степень смешивания в потоках μ_{ij}) и процесс заполнения зон материалом (накопительную способность).

Построение модели процесса диспергирования компонентов смеси, характерного для аппаратов центробежного типа, проведено аналогично вышеописанному методу, однако рассмотрена обратная задача – нахождение матрицы измельчения P (каждый элемент которой p_{kj} показывает долю материала j -ой фракции сырья) по известным фракционным составам на входе x и выходе y аппарата, используя подход, изложенный в работах¹.

Вектор-столбцы фракционного состава x – измельчаемого материала, с элементами x_j ($j=1..m$, где номер m соответствует самой тонкой фракции), характеризующими массовую долю j -ой фракции, и y – измельченного продукта с элементами y_k ($k=1..m$), связаны матричным уравнением:

$$y = Px \quad \text{или} \quad y_k = \sum_{j=1}^k p_{kj} \cdot x_j. \quad (3), (4)$$

Условия нормировки для неизвестных элементов p_{kj} матрицы P :

$$\sum_{k=1}^m p_{kj} = 1, \quad j = 1..m. \quad (5)$$

Задаваясь фракционным составом смеси двумя классами (крупным и мелким, т.е. $m=2$), проведено сравнение влияния различных схем движения материалопотоков на степень измельчения крупной фракции материала (γ_i) в каждой зоне аппарата, найдены значения теоретического размера частиц D^T .

С использованием компьютерных технологий модели реализованы численными методами на ЭВМ. В разработанных программах определены оптимальные значения параметров процессов. Рекомендовано считать рациональной частоту вращения ротора при значениях свыше 14,5 об/с; с целью уменьшения застойных зон материала в днище корпуса необходимо создать потоки материала, возвращающиеся из корпуса на центр ротора в пределах 50-60% от общей массы смеси. Выявлено, что расчетный показатель качества смешивания имеет лучшие значения для второго варианта схемы движения потоков. Показано, что при пятикратной циркуляции материала в аппарате размер частиц самой крупной фракции уменьшается на 28%, расчетная степень измельчения в этом случае: 1,38 – для крупной, 29,4 – для самой мелкой фракции.

В третьей главе описаны объекты и методы исследований.

Объектами исследования на различных этапах работы являлись:

- полуфабрикаты: композитные мучные смеси сахарного и сдобного печенья;
- готовые изделия: производственные образцы сахарного и сдобного печенья; смеси композитные мучные для блинов и оладий;
- технологические параметры процессов смешивания и диспергирования: конструктивные и режимные параметры работы оборудования (частота

¹ Bernotat S., Schonert K. Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry. -Weinheim. -1988,

Mizonov V., Zhukov V., Bernotat S. Simulation of Grinding: New Approaches. – ISPEU Press, 1997.

вращения ротора, коэффициент загрузки аппарата, продолжительность обработки, удельные энергозатраты);

- оборудование, применяемое для смесеприготовления: смеситель центробежного типа (патент РФ № 106848).

Все виды сырья и вспомогательных материалов, используемых в работе, разрешены к применению в производстве и соответствуют требованиям действующих нормативных документов.

При выполнении работы использовались общепринятые, стандартные и оригинальные методы исследований, в том числе органолептические, физико-химические, реологические, статистические. Исследования проводились в трех- пятикратной повторности и обрабатывались с использованием современных методов расчета статистической достоверности измерений, с помощью пакетов прикладных компьютерных программ.

Основной объем исследований выполнен в научно – исследовательских лабораториях ФГБОУ ВПО КемТИПП. Исследования образцов сахарного и сдобного печенья – в производственной лаборатории ООО «КДВ Яшкино»; полуфабрикатов мучных смесей для печенья, смесей композитных мучных для блинов и оладий в условиях производственно-технологической лаборатории ОАО «КемеровоХлеб», г. Кемерово.

Экспериментальные исследования выполнены на специально созданных установках и стенде, состоящем из дозировочного оборудования, центробежного смесителя, пульта управления, устройства для отбора проб из смеси, отсева, прибора для определения концентрации ключевого компонента.

Повышение эффективности процессов смешивания и диспергирования сыпучих дисперсных материалов и, как следствие, улучшение качества смеси, обеспечивается в конструкции центробежного смесителя (рисунок 2).

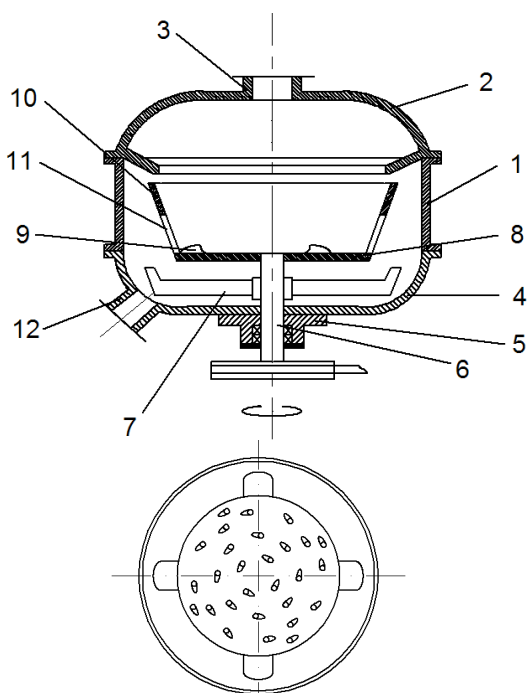


Рисунок 2 - Центробежный смеситель (патент РФ № 106848)

Компоненты загружаются в корпус 1 аппарата через эллиптическую крышку 2 и патрубок 3. Ротор в виде основания из перфорированного диска 8, над отверстиями которого расположены дугообразные закрылки 9, и полого тонкостенного усеченного конуса 10 с перепускными окнами 11, закреплен на валу 6 с подшипниковым узлом 5.

При работе аппарата под действием центробежной силы сыпучая масса равномерно “растекается” по основанию ротора 8, после чего часть потока загребается в полость под закрылки 9 и проходит сквозь отверстия. Большая часть материала переходит на внутреннюю поверхность конуса, где разделяется на два потока. Одна часть через перепускные окна опережающим потоком проходит в пространство между ротором и корпусом, где встречается со второй частью материалопотока, сбрасываемого с верхней кромки ротора. При этом происходит интенсивное перераспределение и смешивание компонентов, которые затем попадают на днище, где они послойно накладываются на часть потока, прошедшего через отверстия ротора.

Доводка смеси осуществляется за счет циркуляции сыпучих компонентов ворошителем 7, при вращении которого под действием центробежных сил материал поднимается с днища и возвращается на ротор. Разгрузка смеси осуществляется через патрубок 12.

В четвертой главе приводятся результаты исследования закономерностей технологических процессов смешивания и диспергирования на экспериментальных установках, методика проектирования центробежных смесителей.

Объектом исследований являлись компоненты, входящие в рецептуру мучных композитных смесей. В качестве ключевого компонента использовался ферромагнитный трассер.

С целью изучения возможности измельчения в разработанном центробежном смесителе возвратных продуктов производства (крошки печенья) проведены исследования (ПФЭ 2³) влияния режимных параметров на его диспергирующую способность, оцениваемую степенью измельчения. Результаты обобщены в виде уравнения регрессии, которое после проверки значимости коэффициентов и его адекватности, в безразмерном масштабе имеет вид:

$$y = 12,35 + 7,575x_1 - 3,45x_2 + 4,375x_3 + 4,15x_1x_3, \quad (6)$$

где x_1 , - частота вращения ротора ($n_{\min} = 10,5 \text{ с}^{-1}$; $n_{\max} = 22,26 \text{ с}^{-1}$); x_2 – коэффициент загрузки аппарата ($K_{з \min} = 0,2$; $K_{з \max} = 0,6$); x_3 , с - продолжительность обработки ($\tau_{\min} = 30 \text{ с}$; $\tau_{\max} = 90 \text{ с}$).

С использованием методов ситового анализа на рассеиве из набора сит до № 4 определен гранулометрический состав сырья и продукта (рисунок 3).

Получено, что фракционный состав исходного сырья представлен в основном крупными фракциями, в надрешетном продукте преобладают частицы размером более (+3) мм, что составляет 63% его суммарного выхода. Выявлено, что, при возрастании частоты вращения ротора до $18,33 \text{ с}^{-1}$, происходит рост мелких фракций (+ 0,1) мкм.

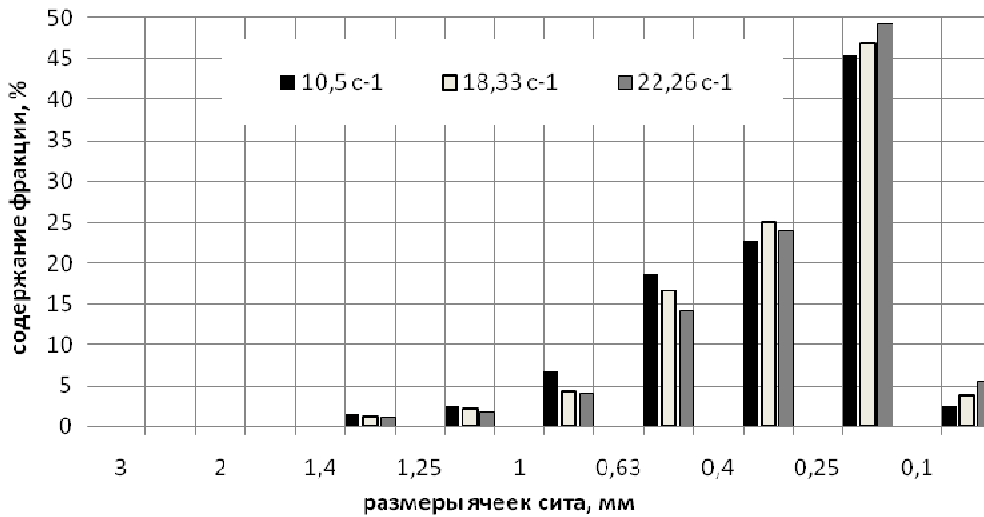


Рисунок 3 – Гистограммы распределения фракционного состава сырья

Проведено исследование кинетики процесса смешивания на модельной смеси, состоящей из муки пшеничной 100 весовых частей и индикатора (ферромагнитный порошок) 0,2 вес. частей. Частота вращения ротора варьировалась на двух уровнях $18,33 \text{ с}^{-1}$, $22,26 \text{ с}^{-1}$. Продолжительность смешивания изменялась в диапазоне от 30 с до 120 с с шагом 30 с. Опыты проводились с учетом рандомизации их во времени во избежание систематических ошибок. Для проверки гипотезы об адекватности модели и исследуемого процесса для каждого сочетания факторов проводили параллельные опыты. Из рабочей зоны аппарата отбирались 30 проб, массой 10 грамм, после чего косвенным методом находилась концентрация трассера в смеси и рассчитывались значения коэффициентов неоднородности. Обработку полученных результатов осуществляли в программе *Microsoft Office Excel*. Результаты показаны на рисунке 4.

На основании исследований определены рациональные конструктивные и режимные параметры работы аппарата, показано, что в новой конструкции качество смешивания удалось повысить на 82,5 % и 65,5 %, по сравнению с гладким ротором; и на 58 % и 61 %, по сравнению с гладким конусным ротором с окнами (соответственно при частоте вращения ротора $18,33$ и $22,26 \text{ с}^{-1}$).

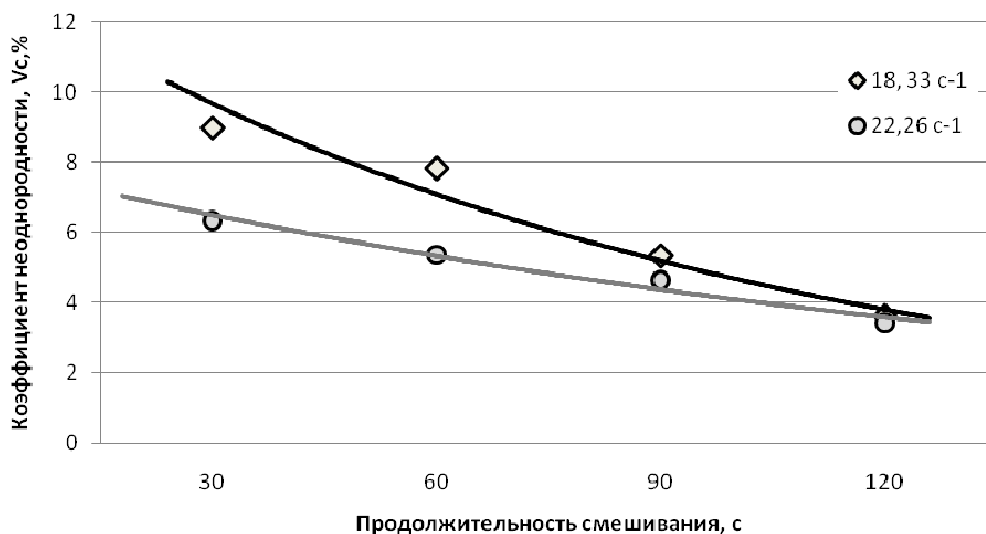


Рисунок 4 - Кривая кинетики процесса смешивания

Проведена оценка эффективности разработанной конструкции с точки зрения энергетических затрат, которые составляют $0,172 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^3$, что примерно в $6,5 \div 40$ раз меньше аналогичных характеристик серийного оборудования.

Предложена компьютеризированная методика проектирования центробежных смесителей, позволяющая с использованием разработанного программного обеспечения находить их оптимальные конструктивные и режимные параметры.

В пятой главе рассмотрены практические основы технологий мучных композитных смесей и изделий из них, изучены аспекты формирования качества полуфабрикатов и готовых изделий.

Исследованы технологии получения полуфабрикатов мучных смесей для сахарного и сдобного печенья с использованием смесителя центробежного типа (патент РФ № 106848). Для получения смеси приняты следующие режимные параметры: коэффициент загрузки 0,4; частота вращения ротора $18,33 \text{ с}^{-1}$; продолжительность смешивания 90 с. Варианты приготовления смесей при заданных режимах работы учитывали использование различных сочетаний компонентов по рецептурам для сахарного (пробы 1, 2) и сдобного печенья (пробы 3, 4, 5, 6).

Полученные смеси исследованы по наиболее значимым физико – механическим свойствам (таблица 1).

Таблица 1 - Физико – механические свойства мучных смесей

Показатели	Пробы					
	1	2	3	4	5	6
Насыпная масса, $\text{кг}/\text{м}^3$	430	380	420	320	440	450
Угол естественного откоса, град	32,5	34	32,5	36	33	32
Угол внутреннего трения, град	19	20	19	22	21	21

Как следует из таблицы 1, на значение величины насыпной массы значительно влияет состав смеси, что можно объяснить различной дисперсностью частиц компонентов и плотностью их упаковки. В пробах 1 и 2, где, помимо основного ингредиента (муки), преобладает рецептурный компонент – сахарная пудра, зависимость угла естественного откоса имеет прямую корреляцию с его содержанием. Наличие в пробах с № 3 - 6 сухого молока и яичного порошка приводит к увеличению силы когезии между частицами, в связи с чем растет значение угла внутреннего трения.

О равномерности распределения рецептурных компонентов судили по результатам как прямого определения гидрокарбоната натрия, так и по данным определения бикарбоната натрия и щелочности смесей. Содержание соли находили аргентометрическим методом. Результаты определения массовой доли (м.д.) компонентов в пересчете на сухое вещество в готовых смесях приведены на рисунках 5 и 6.

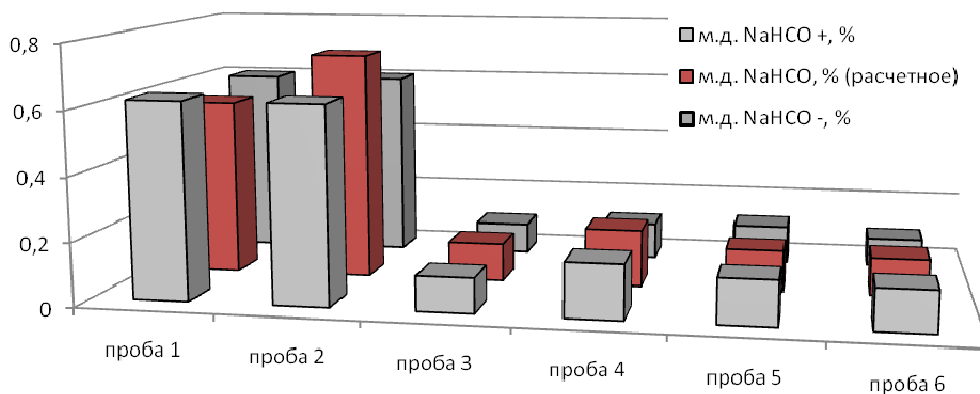


Рисунок 5 - Распределение гидрокарбоната натрия в пробах смесей

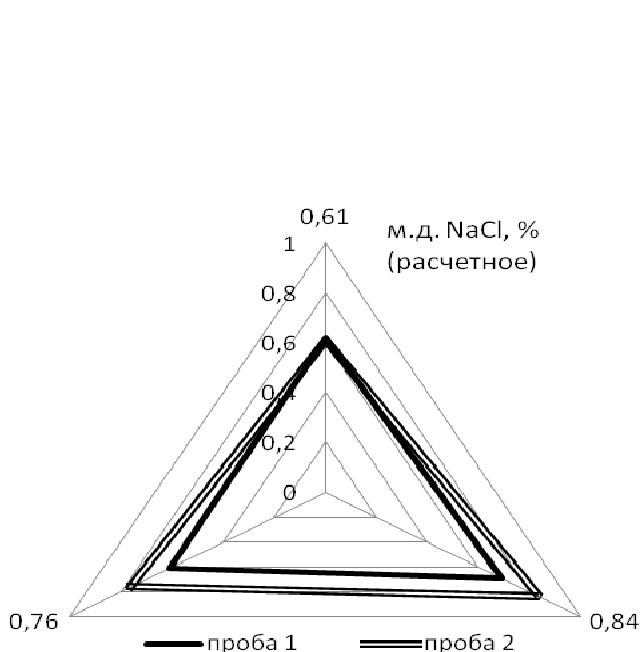


Рисунок 6 - Распределение пищевой поваренной соли в пробах смесей

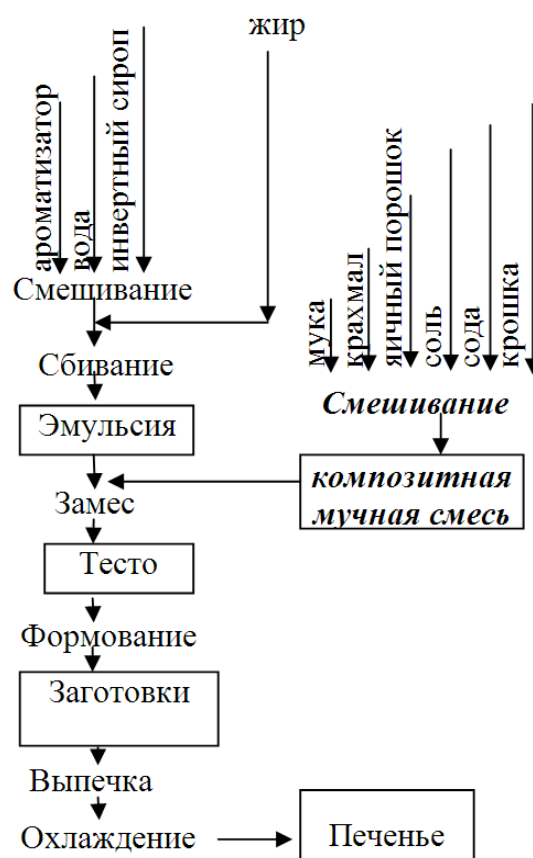


Рисунок 7 - Структурная схема приготовления сахарного печенья

Анализ данных рисунков 5-6 свидетельствует о равномерности распределения ключевых компонентов в смеси. Имеющееся расхождение между опытными данными и рецептурными значениями объясняются колебанием массовой доли искомого вещества в компоненте и изменением их влажности.

В производственных исследованиях установлена возможность использования полученных композитных смесей при выпечке сахарного и сдобного печенья (рисунок 7).

Готовое печенье анализировалось по органолептическим и физико-химическим показателям качества в соответствии с требованиями ГОСТ 24901 (таблица 2).

Таблица 2 – Выборочные показатели качества печенья

Наименование показателя	по ГОСТу	Печенье «Шахматное»	Печенье «Ореховое»
Массовая доля влаги, %	5,0±1,5	5,06	5,2
Намокаемость, не менее %	150 % для сахарного 110 % для сдобного	178	220
Дегустационная оценка, балл	25-30	29	28

Из таблицы 2 следует, что готовые изделия, приготовленные с использованием сухой композитной мучной смеси, характеризуются более высоким уровнем качества по органолептическим характеристикам и намокаемости.

Установлена возможность производства смеси композитной мучной для блинов и оладий в условиях ОАО «КемеровоХлеб», г. Кемерово. Полученная смесь обладала хорошими органолептическими и физико-химическими показателями (таблица 3).

Таблица 3 – Физико-химические показатели смеси композитной для блинов и оладий

Наименование показателя	Требования ТУ 10.45.835-90	Смесь композитная мучная для блинов и оладий
Массовая доля влаги, %, не более	14	12,4
Масс. доля металломагнитной примеси (частиц не более 0,3 мм), %, не более	3,0 x 10	0,0
Посторонние и минеральные примеси, зараженность вредителями	не допускаются	не обнаружены

Выработанный мучной полуфабрикат соответствует требованиям технической документации.

В результате проведенных исследований отработаны технические приемы и подобраны технологические параметры, разработаны и утверждены технологические инструкции. Технология апробирована и внедрена в рамках предприятий ООО «КДВ Яшкино» и ОАО «КемеровоХлеб».

Рассчитанный годовой экономический эффект от внедрения нового оборудования составил 161 882 руб. в ценах 2011 г. Себестоимость производства на снижается по сравнению с существующей технологией за счет уменьшения расходов на заработную плату, электроэнергию, амортизацию оборудования.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ И ВЫВОДЫ

1. На основе анализа существующих технологий получения сухих мучных композитных смесей обоснована технология получения изделий с заданным соотношением рецептурных компонентов для улучшения качественного состава полуфабрикатов и изделий.

2. Разработаны математические модели процессов смешивания и диспергирования в центробежном смесителе с различной структурой движения материальных потоков, позволяющие прогнозировать его основные

характеристики (степени смешивания и измельчения, накопительную способность, качество смеси).

3. На основе теоретических исследований обоснована и разработана конструкция смесителя центробежного типа для получения сухих композитных мучных смесей, в которой интенсификация смесеобразования достигается путем совмещения процессов смешивания и диспергирования, а также организации направленного движения материальных потоков в рабочем объеме аппарата.

4. Разработаны методики компьютерного моделирования с использованием созданных алгоритмов и программ, позволяющие рассчитать оптимальные параметры работы аппарата для получения композитных смесей. Выявлено, что для исключения застойных зон необходимо создать потоки материала из корпуса на ротор в пределах 50-60% от общей массы смеси, при частоте вращения ротора более 14,5 об/с; при пятикратной циркуляции материала размер частиц крупной фракции уменьшается на 28%, расчетная степень измельчения 1,38 – для крупной и 29,4 – для мелкой фракции.

5. Исследования по влиянию режимных параметров на качество мучных композитных смесей в разработанном смесителе показали, что их рациональные значения составляют: коэффициент загрузки 0,4; частота вращения ротора 18,33 с⁻¹; продолжительность смешивания 90 с.

6. Разработана технология малотоннажного производства сухих мучных композитных смесей для кондитерских изделий с использованием нового смесителя центробежного типа. Подобраны технологические параметры и утверждены технологические инструкции по производству печенья сахарного «Шахматное», сдобного «Ореховое», смеси композитной мучной для блинов и оладий.

7. Внедрение технологии производства печенья сахарного «Шахматное» и сдобного «Ореховое» осуществлено на предприятии ООО «КВД Яшкино» п.г.т. Яшкино, Кемеровской области, смесей композитных мучных для блинов и оладий на ОАО «КемеровоХлеб» г. Кемерово. Годовой экономический эффект от внедрения нового оборудования составил 161 882 руб. в ценах 2011 г.

ПЕРЕЧЕНЬ ПУБЛИКАЦИЙ

1. Бакин, И.А. Совмещение процессов смешивания и диспергирования в конусном центробежном аппарате / И.А. Бакин, С.Г. Чечко, **А.В. Сибиль** // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2009. - № 3. - С.60-63.

2. Иванец, В.Н. Интенсификация процесса смешивания путем оптимизации конструкции аппарата / В.Н. Иванец, **А.В. Сибиль** // Известия вузов. Пищевая технология. – 2010. - № 4. - С. 66-67.

3. Иванец, В.Н. Сравнительный анализ схем движения материальных потоков в смесеприготовительном агрегате / В.Н. Иванец, И.А. Бакин, О.С. Карнадуд, **А.В. Сибиль** // Техника и технология пищевых производств. – 2011. - № 4. - С. 86-91.

4. **Сибиль, А.В.** Разработка технологии смесей для полуфабрикатов мучных изделий / А.В. Сибиль, И.Ю. Резниченко, И.А. Бакин // Ползуновский вестник. – 2012. – №2/2. - С.122-127.

5. **Сибиль, А.В.** Разработка аппаратурного оформления для получения сухих композитных мучных смесей / А.В. Сибиль, И.А. Бакин // Ползуновский вестник. – 2012. – №2/2. - С.153-158.

6. Пат. 106848 Российская Федерация, МПК В01 F7/26 / Смеситель периодического действия/ Бакин И.А., **Сибиль А.В.**, Иванец В.Н., Чечко С.Г., Шилов А.В.; заявитель и патентообладатель ООО СК «Ремстройторг». - № 20011106611/05; заявл. 22.02.2011; опубл. 27.07.2011, Бюл. № 21(Пч.).-3 с.

7. Пат. 2361653 Российская Федерация, МПК В 01 F 7/26 – 2008115038/15 Центробежный смеситель / Ратников С.А., Бородулин Д.М., Селюнин А.Н., **Сибиль А.В.**; заявитель и патентообладатель ФГОУ ВПО КемТИПП – заявл. 16.04.2008; опубл. 20.07.2009, Бюл. № 20.-5 с.

8. Св.-во гос. рег. прогр.для ЭВМ № 2011619084, Российская Федерация. «Расчет качества смешивания в центробежном смесителе» / Бакин И.А., Карнадуд О.С., Карнадуд К.Н., **Сибиль А.В.**; правообладатели: авторы.- № 2011617335; дата поступл. 03.10.2011; дата регистр. 23.11.2011.- 5с.

9. Св.-во гос. рег. прогр.для ЭВМ № 2011619083, Российская Федерация. «Расчет степени измельчения в центробежном смесителе-диспергаторе» / Бакин И.А., Карнадуд О.С., Карнадуд К.Н., **Сибиль А.В.**; правообладатели: авторы.- № 2011617334; дата поступл. 03.10.2011; дата регистр. 23.11.2011.- 8 с.

10. Бакин, И.А. Разработка смесителей с интенсивным механическим воздействием на перерабатываемые материалы / И.А. Бакин, **А.В. Сибиль**, В.Н. Иванец // Современные проблемы техники и технологии пищевых производств: Сб. матер. Десятой научно-практ. конф. с межд. участием. - Барнаул, АлтГТУ, 2007. - С. 291-294.

11. **Сибиль, А.В.** Проектирование центробежных аппаратов для получения сухих смесей / А.В. Сибиль, И.А. Бакин // Технология и продукты здорового питания: Материалы 2^{ой} Межд. научно-практ. конф. – СГАУ.- Саратов: ИЦ «Наука», 2008. – С.132- 134.

12. Бакин, И.А. Реологические показатели сухих молочных смесей / И.А. Бакин, **А.В. Сибиль**, А.В. Шилов // Инновационные технологии переработки сельскохозяйственного сырья в обеспечении качества жизни: наука, образование и производство: Материалы Межд. научно-практ. конф. – Воронеж, ВГТА, 2008. – С.257-262.

13. **Сибиль, А.В.** Интенсификация процессов смешивания в центробежных аппаратах / А.В. Сибиль // Пищевые продукты и здоровье человека: Сб.тезисов докладов всероссийской конф. аспирантов и студентов. – Кемерово, КемТИПП, 2008. – С.118-119.

14. **Сибиль А.В.** Параметры работы центробежных смесителей дисперсных материалов / А.В. Сибиль, И.А. Бакин, // Продукты питания и рациональное использование сырьевых ресурсов (выпуск 17): Сб.науч.работ. – Кемерово, КемТИПП, 2008. – С.70-71.

15. Шилов А.В. Исследование факторов, влияющих на процесс смешивания мучных композитных смесей / А.В. Шилов, Д.В. Сухоруков, **А.В. Сибиль** // Продукты питания и рациональное использование сырьевых ресурсов (выпуск 20): Сб. науч. работ. – Кемерово, КемТИПП, 2009. – С.150-151.

16. Бакин, И.А. Стохастический подход описанию структуры потоков в центробежном смесителе / И.А. Бакин, О.С. Карнадуд, **А.В. Сибиль** // Инновационные технологии и оборудование для пищевой промышленности (приоритеты развития): Мат. III Межд. научно-техн. конф. в 3т. – ВГТА. – Воронеж. - 2009. Т2. – С.135-139.

17. **Сибиль, А.В.** Интенсификация процессов смешивания за счёт оптимизации конструкции аппарата / А.В. Сибиль, О.С. Карнадуд // Матер. III Всеросс. конф. аспирантов и студентов «Пищевые продукты и здоровье человека». Кемерово, 2010. – С.298-299.

18. Карнадуд, О.С. Кибернетическое моделирование технологии сыпучих многокомпонентных пищевых продуктов / О.С. Карнадуд, И.А. Бакин, **А.В. Сибиль** // Актуальные вопросы развития пищевой промышленности: сб. материалов Всеросс. научно-практ. конф. ЧГПУ. – Челябинск, 2011. – С.24-26.

19. **Сибиль, А.В.** Повышение эффективности технологических процессов получения мучных композитных смесей / А.В. Сибиль, И.А. Бакин // Актуальные вопросы современной техники и технологии: сб. докладов VI-й Межд. научн. конф. – Липецк: ИЦ «Гравис», 2012. – С. 169-170.

20. **Сибиль, А.В.** Совершенствование технологических процессов производства сухих композитных продуктов / А.В. Сибиль, И.А. Бакин // Аграрная наука – сельскому хозяйству: сб. статей: в 3 кн. / VII Межд. научно-практ. конф. Барнаул: Изд-во АГАУ.- 2012.- С. 55-56.