

На правах рукописи



ГОРБАТОВА Анастасия Викторовна

**НАУЧНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПРОЦЕССА ПОЛУЧЕНИЯ
СЛИВОЧНО-РАСТИТЕЛЬНЫХ СПРЕДОВ,
СБАЛАНСИРОВАННЫХ ПО ЖИРНОКИСЛОТНОМУ СОСТАВУ**

Специальность 05.18.12 – Процессы и аппараты пищевых
производств

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Воронеж
2015

Работа выполнена в ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный университет инженерных технологий» (ФГБОУ ВПО «ВГУИТ»).

Научный руководитель – заслуженный деятель науки РФ,
доктор технических наук, профессор
Остриков Александр Николаевич
(ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный университет инженерных технологий»)

Официальные оппоненты – **Гнездилова Анна Ивановна**
доктор технических наук, профессор,
ФГБОУ ВПО «Вологодская государственная
молочнохозяйственная академия имени
Н.В. Верещагина», профессор кафедры техно-
логического оборудования
Яковлев Евгений Алексеевич
кандидат технических наук, ОАО «Евдаков-
ский масложировой комбинат», директор по
разработке и продвижению продукции

Ведущая организация – ФГБОУ ВПО «Кубанский государственный
технологический университет» («КубГТУ»
г. Краснодар)

Защита состоится «14» мая 2015 г. в 11⁰⁰ на заседании диссертационного
совета Д 212.035.01 при ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный
университет инженерных технологий» по адресу: 394036, г. Воронеж, проспект
Революции, 19, конференц-зал.

Отзывы (в двух экземплярах) на автореферат, заверенные гербовой
печатью учреждения, просим направлять в адрес диссертационного совета
университета.

Автореферат размещен на сайтах Высшей аттестационной комиссии
при Министерстве образования и науки Российской Федерации
<https://vak2.ed.gov.ru> и ВГУИТ <http://www.vsuet.ru> «11» марта 2015 г.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВПО
«ВГУИТ». Полный текст диссертаций размещен в сети Интернет на офици-
альном сайте ФГБОУ ВПО «ВГУИТ» www.vsuet.ru «12» февраля 2015 г.

Автореферат разослан «24» марта 2015 г.

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

доцент



Л.Н. Фролова

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Одним из важнейших компонентов пищи, жизненно необходимых человеку, определяющим её пищевую, энергетическую ценность и биологическую эффективность, являются липиды. Для поддержания здоровья человеку необходима сбалансированность содержания ω -3 и ω -6 жирных кислот. Рекомендуются, чтобы с полиненасыщенными жирными кислотами (ПНЖК) поступало менее 8 % калорий, а соотношение ω -3 и ω -6 ПНЖК было в пределах от 5:1 до 3:1.

ПНЖК принимают участие в «строительстве» липидного биослоя клеток организма человека, играют очень важную роль в формировании зрительного аппарата и нервной системы, снижают риск развития атеросклероза и сердечно-сосудистых заболеваний. Мембраны сетчатки и серое вещество человеческого мозга очень богаты ω -3 ПНЖК, поэтому наличие ПНЖК в рационе ребенка требуется для формирования зрительного аппарата и интеллектуального развития.

Исследования образа жизни, здоровья и особенностей питания жителей Средиземноморья показали, что низкий уровень сердечно-сосудистых заболеваний среди этой группы населения обусловлен высоким уровнем потребления ПНЖК, которые снижают уровень триглицеридов и холестерина в сыворотке крови, уменьшают риск образования тромбов.

Оптимальное соотношение ПНЖК можно получить в спредах, благодаря добавлению в рецептуры растительных масел, богатых ПНЖК. Объем производства спредов в России в последние годы возрос и достиг в 2010 г. максимальных значений – 167,7 тыс. т, что соответствует примерно 82 % объема выпускаемого в России сливочного масла. Однако в 2011 г. ситуация изменилась и потребительский спрос на спреды начал сокращаться. В 2012 г. тенденция сокращения продолжилась, и объемы выпуска составили 135,8 тыс. т против 152,9 тыс. т в предыдущем году, или 88,8 % к уровню 2011 г. В 2013 г. объем производства спредов составил 136,2 тыс. т. Для увеличения потребительского спроса и соответственно наращивания объемов производства спредов необходимо расширять ассортиментные линейки спредов.

Работа проводилась в соответствии с планом государственной научно-исследовательской работы кафедры процессов и аппаратов химических и пищевых производств ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный университет инженерных технологий» (№ гос. регистрации 01.130.2.12440) «Разработка новых и совершенствование существующих технологических процессов и аппаратов в химической и пищевой технологиях» на 2011-2015 гг.; государственного контракта № 14.740.11.0980 от 05.05.2011 г. «Разработка энергосберегающих технологий и оборудования для их реализации на основе новых теоретических и экспериментальных данных по гидродинамике, кинетике и тепломассообмену» в рамках ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009-2013 гг.

Цель работы – научное обеспечение процесса получения сливочно-растительных спредов, сбалансированных по жирнокислотному составу, на основе комплексного анализа основных закономерностей процесса совместно с их теплофизическими и реологическими характеристиками, разработка рекомендаций по совершенствованию технологий производства сливочно-растительных спредов; создание перспективной конструкции эмульсера и разработка технологической линии производства спредов.

В соответствии с поставленной целью работы решались следующие **основные задачи**.

1. Создание и оптимизация рецептуры сливочно-растительных спредов по жирнокислотному составу.

2. Исследование реологических и теплофизических характеристик сливочно-растительных спредов, произведенных по предлагаемому рецептурам.

3. Изучение основных закономерностей процесса перемешивания сливочно-растительных спредов и определение рациональных технологических режимов.

4. Разработка математической модели процесса перемешивания сливочно-растительных спредов.

5. Разработка способа производства сливочно-растительных спредов сбалансированного состава, конструкции эмульсера и технологической линии.

6. Исследование показателей качества и безопасности сливоч-

но-растительных спредов, сбалансированных по жирнокислотному составу.

7. Расчет технико-экономической эффективности от внедрения предлагаемой технологии в производство. Выработка опытной партии продукции и проведение дегустации.

Научная новизна. Определены реологические и теплофизические характеристики сливочно-растительных спредов.

Выявлены, сформулированы и описаны основные закономерности процесса перемешивания сливочно-растительных спредов, сбалансированных по жирнокислотному составу.

Разработана математическая модель процесса перемешивания сливочно-растительных спредов, позволяющая рассчитать коэффициент вариации, характеризующий однородность перемешиваемой спредовой композиции, и определить продолжительность перемешивания до получения продукта заданной однородности.

Определен химический состав и показатели качества образцов сливочно-растительных спредов.

Практическая значимость и реализация результатов работы. Разработан способ производства сливочно-растительных спредов, перспективная конструкция эмульсера, предложена линия производства спредов (пат. РФ № 2506803, 2502549, 2518735).

Определены и обоснованы рациональные технологические режимы процесса перемешивания сливочно-растительных спредов, обеспечивающие сокращение времени процесса, снижение удельных энергозатрат и повышение качества готовой продукции.

Созданы три рецептуры сливочно-растительных спредов, сбалансированные по жирнокислотному составу. Проведена выработка опытной партии продукции на ООО «Становлянский маслодельный завод».

Апробация работы. Основные положения диссертационной работы обсуждались и докладывались на всероссийских и международных научно-технических конференциях: (Воронеж, 2011 - 2014 гг.), (Москва, 2012 г.), (Владивосток, 2011 г.), (Кемерово, 2011 г.), (Краснодар, 2012 г.), (Тамбов, 2012 – 2013 гг.), (Алматы, 2013 – 2014 гг.), (Саратов, 2014 г.), отчетных научных конференциях ВГУИТ за 2012-2013 гг.

Работа демонстрировалась на III и VI Воронежском агропро-

мышленном форуме (Воронеж, 2011 г., 2014 г.), межвузовском конкурсе инновационных проектов «Кубок инноваций» (Воронеж, 2014 г.), конкурсе «Инженерные технологии XXI века» (Воронеж, 2011 г., 2013 г., 2014 г.), Международном научно-техническом семинаре к 100-летию А. В. Лыкова (Воронеж, 2010 г.) и награждена 6 дипломами и отмечена 1 благодарностью.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 32 работы, в т. ч. 6 статей в журналах, рекомендованных ВАК, 23 тезиса докладов, получено 3 патента РФ.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, шести глав, основных выводов и результатов, литературы из 151 наименования, в том числе 35 – на иностранных языках, объемом 144 страницы, приведены 24 таблицы и 58 рисунков.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении дается характеристика состояния производства спредов, подтверждена актуальность темы диссертационной работы, практическая значимость и научная новизна выполненных исследований.

В первой главе оцениваются рецептурные составляющие спреда как объекта исследования. Рассмотрены перспективные направления производства спредов как продуктов здорового питания. Проанализированы данные о современном состоянии и перспективных направлениях развития техники и технологии производства спредов.

Приведен обзор оборудования для смешивания пищевых продуктов. Рассмотрены современные технологические линии производства спредов. Приведен анализ математических моделей процесса перемешивания в аппаратах с механическим перемешивающим устройством. На основе полученных результатов обоснован выбор объектов исследования.

Во второй главе описаны экспериментальные исследования спреда как объекта изучения. Исследованы реологические свойства сливочно-растительных спредов на ротационном вискозиметре «Реотест-2». Исследована динамическая вязкость сырья и готового продукта.

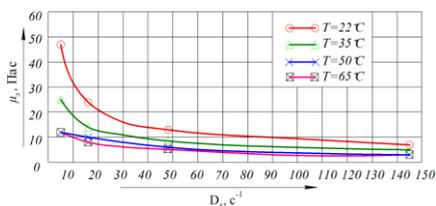


Рисунок 1 – Зависимость эффективной вязкости от градиента скорости сдвига для среды № 1

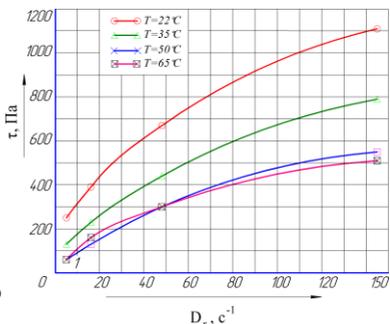


Рисунок 2 – Зависимость касательных напряжений от градиента скорости сдвига для среды № 1

Исследование продукта проводили при температурах: 22, 35, 50, 65 °С. При увеличении градиента скорости было выявлено значительное уменьшение эффективной вязкости продукта (рисунок 1).

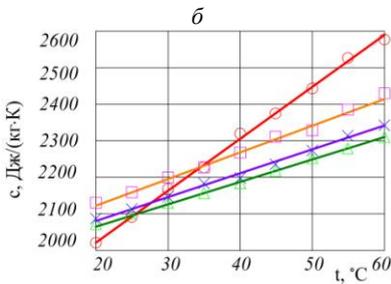
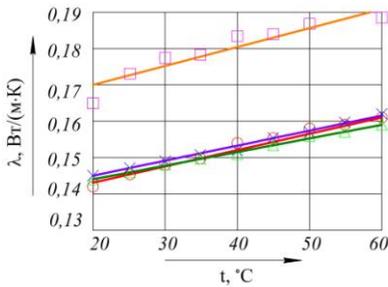
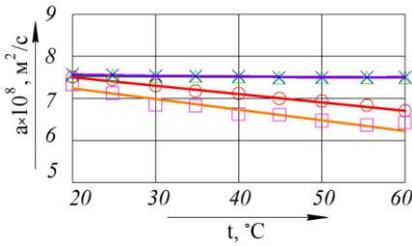
В частности, при температуре продукта 22 °С и изменении градиента скорости от 5,4 до 16,2 с⁻¹, вязкость среды № 1 изменяется от 24,45 до 47,46 Па·с. С повышением температуры градиент скорости сдвига сильнее влияет на величину касательных напряжений.

Характер кривых (рисунок 2) говорит о том, что исследуемая жидкость является псевдопластичной. Это свидетельствует о том, что касательные напряжения в этом случае подчиняются степенному закону реологии.

Определение теплофизических свойств спредов проводилось на измерительной установке Cossfield. Экспериментально определено, что с ростом температуры продукта происходит увеличение его удельной теплоемкости и коэффициента теплопроводности (рисунок 3).

Коэффициент температуропроводности для всех образцов спреда по мере нагревания уменьшается.

В третьей главе приведено описание экспериментальной установки и методики исследований процесса перемешивания спредов при переменном теплоотводе.



а – коэффициент температуропроводности;
 б – коэффициент теплопроводности;
 в – удельная теплоемкость.
 —○— Образец спреда №1
 —△— Образец спреда №2
 —×— Образец спреда №3
 —□— Маргарин

Рисунок 3 – Зависимость теплофизических свойств спреда от температуры

Изучение процесса перемешивания при переменном теплоподводе осуществлялось при следующих параметрах: температура продукта 15...65 °С; частота вращения мешалки: 1...150 мин⁻¹.

В качестве объектов исследования были следующие рецептуры спредов:

- спред № 1: масло арахисовое 6,7 %, масло кукурузное 12,45 %, масло льняное 20,11 %, масло сливочное 60,47 %, эмульгатор 0,27 %;

- спред № 2: масло арахисовое 13,67 %, масло кукурузное 12,01 %, масло льняное 13,01 %, масло сливочное 60,03 %, эмульгатор 0,29 %;

- спред № 3: масло арахисовое 13,67 %, масло кукурузное 16,01 %, масло льняное 9,00 %, масло сливочное 61,03 %, эмульгатор 0,29 %.

Обоснован выбор конструкции рамно-ленточной мешалки для перемешивания рецептурных компонентов, входящих в состав спреда. Комбинированная конструкция мешалки позволяет получить наиболее рациональное использование мощности, затрачиваемой на пере-

мешивание, более равномерное распределение продукта за меньший промежуток времени, чем при использовании любого вида

простой мешалки. Также учитывается изменение агрегатного состояния продукта в процессе перемешивания.

Исследовали гидродинамику процесса перемешивания спредов. Определена зависимость критерия Эйлера от числа Рейнольдса при разных температурах перемешивания (рисунок 4).

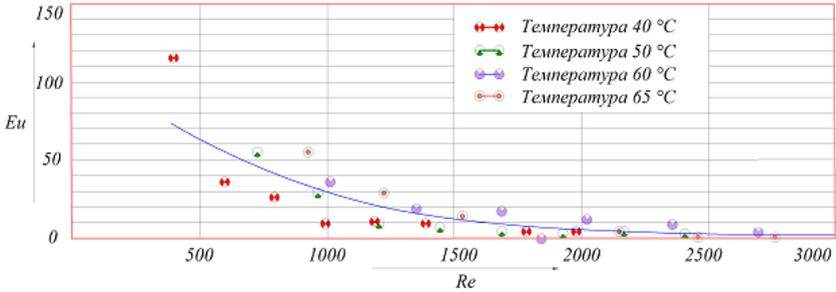


Рисунок 4 – Характеристика мощности мешалки для спреда № 1

В результате обработки опытных данных были получены критериальные уравнения для процессов перемешивания:

- для спреда № 1: $K_{N1} = 9,258 \cdot 10^4 \cdot Re^{-1,185}$;
- для спреда № 2: $K_{N2} = 2,416 \cdot 10^5 \cdot Re^{-1,38}$;
- для спреда № 3: $K_{N3} = 1,444 \cdot 10^4 \cdot Re^{-0,952}$.

Были построены номограммы (рисунок 5), дающие возможность определить режим движения и критерий мощности по известной частоте вращения и температуре продукта, что существенно сокращает время, необходимое для расчетов параметров перемешивания спреда.

Для определения оптимальной частоты вращения рабочего органа были проведены исследования на каждом периоде перемешивания (рисунок 6). Установлено, что для спреда, изготовленного по первой рецептуре, оптимальному времени перемешивания соответствует частота вращения мешалки равная 150 мин^{-1} (в период интенсивного перемешивания), 10 мин^{-1} (в период охлаждения продукта до температуры кристаллизации) и 15 мин^{-1} в период кристаллизации.

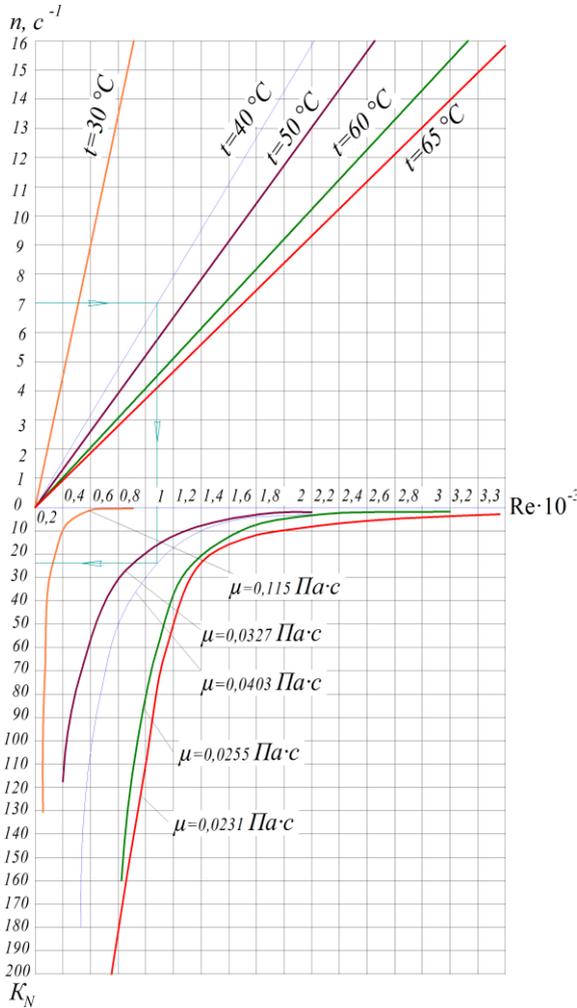
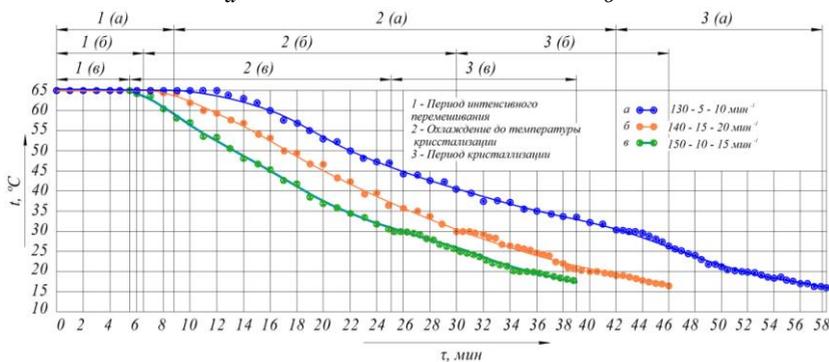
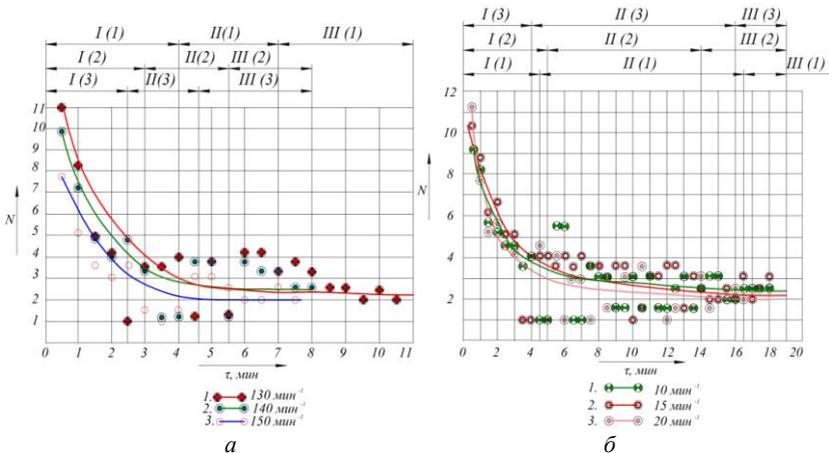


Рисунок 5 – Номограмма для определения режима движения и критерия мощности для среды № 1

При температуре перемешивания $65^{\circ}C$ оптимальный период конвективного смешивания составил для трех продуктов: 2,5; 3; 3 мин.

Продолжительность конвективного смешивания после начала кристаллизации продукта (т.е. при температуре перемешивания от $30...15^{\circ}C$) составила, также соответственно для трех продуктов: 5, 6, 6 мин. Второй период при температуре $65^{\circ}C$ составил для трех продуктов: 2,2; 1,5; 2,8 мин. Время диффузионного смешивания в период кристаллизации продукта: 9, 6, 8 мин.



а – изменение концентрации в процессе перемешивания $t = 65^\circ\text{C}$;
б – изменение концентрации в процессе перемешивания $t = 30 \dots 15^\circ\text{C}$;
в – изменение температуры продукта в процессе перемешивания
 Рисунок 6 – Кинетические кривые процесса перемешивания для спреда № 1:

Различие в размерах и плотностях перемешиваемых компонентов способствует сегрегации частиц. В связи с этим в период кристаллизации продукта (ввиду изменения агрегатного состояния) продолжительность диффузионного смешивания больше чем при температуре 65°C .

Определено оптимальное время перемешивания при температуре 65°C для спреда, изготовленного по первой рецептуре, – 4,7 мин, для спреда, изготовленного по второй рецептуре, –

4,5 мин, для спреда, изготовленного по третьей рецептуре, – 4,7 мин.

Оптимальное время перемешивания в период кристаллизации составило: для первого продукта - 14 мин, для второго продукта - 12 мин, для третьего продукта - 14 мин.

В четвертой главе приведена математическая модель процесса перемешивания сливочно-растительных спредов. Продолжительность процесса определяли по поведению частиц трассера. Будем считать, что частицы трассера имеют одинаковую плотность с окружающими их объемами жидкой фазы. В этом случае траектории движения частиц трассера и жидкости совпадают, а степень однородности перемешиваемой системы можно рассчитать через коэффициент вариации, определяемый формулой:

$$K_{\text{var}} = \frac{1}{n_0} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^m (n_i - n_0)^2}{m - 1}} . \quad (1)$$

Рассмотрим задачу как одномерный перенос частицы трассера в плоском слое перемешиваемой жидкости в следующей постановке:

$$\frac{\partial n(x, \tau)}{\partial \tau} = D \frac{\partial^2 n(x, \tau)}{\partial x^2}, \quad (2)$$

$$n(x, 0) = 0, \quad (3)$$

$$\frac{\partial n(0, \tau)}{\partial x} = 0, \quad (4)$$

$$D \frac{\partial n(h, \tau)}{\partial x} = j_0 [1(\tau) - 1(\tau - \tau_0)]. \quad (5)$$

По определению

$$j_0 = z / (s \cdot \tau_0). \quad (6)$$

Тогда $z = n_0 V$ и с учетом (5)

$$j_0 = \frac{n_0 V}{s \cdot \tau_0} = \frac{n_0 h}{\tau_0}. \quad (7)$$

Принимая во внимание (7), граничное условие (5) примет вид:

$$D \frac{\partial n(h, \tau)}{\partial x} = \frac{n_0 h}{\tau_0} [1(\tau) - 1(\tau - \tau_0)]. \quad (8)$$

Приведем систему уравнений (2-4), (8) к безразмерному виду:

$$\frac{\partial N(X, Fo)}{\partial Fo} = \frac{\partial^2 N(X, Fo)}{\partial X^2}, \quad (9)$$

$$N(X, 0) = 0, \quad (10)$$

$$\frac{\partial N(0, Fo)}{\partial X} = 0, \quad (11)$$

$$\frac{\partial N(1, Fo)}{\partial X} = \frac{1}{Fo_0} [1(Fo) - 1(Fo - Fo_0)]. \quad (12)$$

Окончательное решение задачи принимает вид:

$$N(X, Fo) = 1 - \frac{2}{Fo_0} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\cos(\mu_n X)}{\mu_n^2 \cos \mu_n} \exp(-\mu_n^2 Fo) \cdot [1 - \exp(\mu_n^2 Fo_0)]. \quad (13)$$

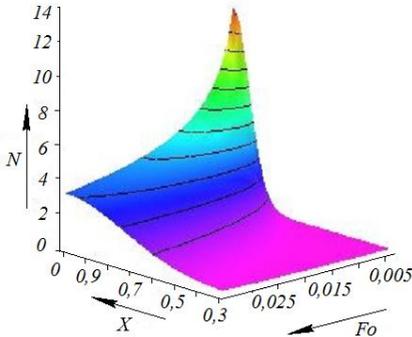


Рисунок 7 – Характер изменения объемной концентрации частиц трассера в начале процесса перемешивания

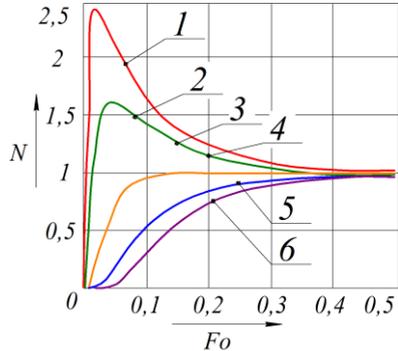


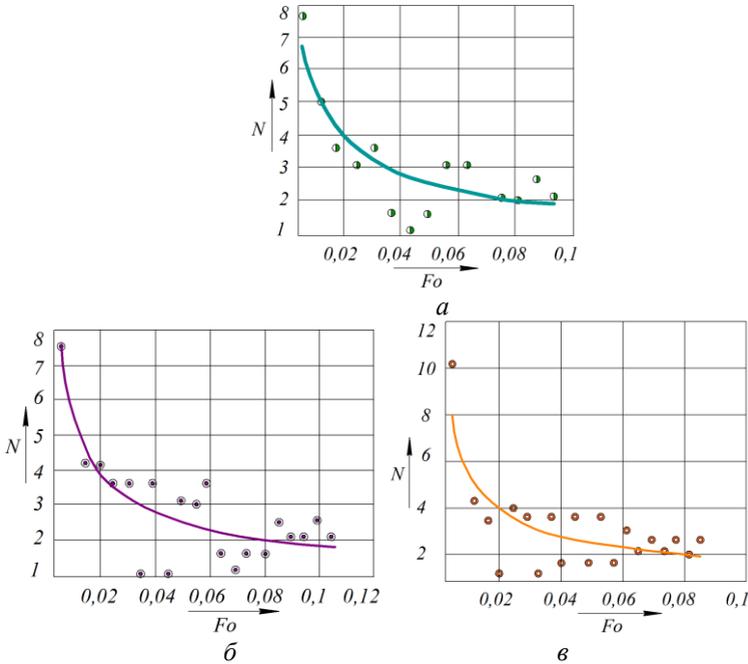
Рисунок 8 – Изменение объемной концентрации частиц трассера по высоте перемешиваемого слоя:

1 – $X = 0,8$; 2 – $X = 0,7$; 3 – $X = 0,5$;
4 – $X = 0,3$; 5 – $X = 0,1$

Характер изменения счетной безразмерной концентрации частиц трассера $N(X, Fo)$, рассчитанной по формуле (13) для начала процесса перемешивания, показан на рисунке 7, а на ри-

сунке 8 эта зависимость уточнена по высоте перемешиваемого слоя жидкости. Из рисунка 8 видно, что в верхней половине перемешиваемого слоя объемная концентрация частиц проходит через максимум, что связано с перемещением вниз за счет конвективного перемешивания вводимых импульсно частиц трассера. На рисунке 9 приведены типичные кривые изменения концентрации частиц трассера во времени для процесса перемешивания спредовых композиций при температуре 65 °С, которые необходимы для идентификации коэффициента эффективного перемешивания через минимизацию функционала:

$$\Phi = \sum_i \left[\frac{N_{\text{расч}}(0,96; Fo_i) - N_{\text{эксп}}(0,96; Fo_i)}{N_{\text{расч}}(0,96; Fo_i)} \right]. \quad (14)$$



a – спред № 1, $n = 150 \text{ мин}^{-1}$, $D = 2,29 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$; *б* – спред № 3, $n = 140 \text{ мин}^{-1}$,

$D = 1,82 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$; *в* – спред № 2, $n = 130 \text{ мин}^{-1}$, $D = 1,49 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$

Рисунок 9 – Сравнение результатов эксперимента (точки) с расчетом по (12) (линия) процесса перемешивания спредов ($x = 0,96$)

Для приближенной оценки коэффициента эффективного перемешивания мешалки в зависимости от числа Рейнольдса для исследованного интервала изменения параметров процесса предложены соотношения:

- для процесса перемешивания спредов:

$$D = 3,54 \cdot 10^{-13} \cdot \text{Re}^2 - 1,77 \cdot 10^{-9} \cdot \text{Re} + 3,66 \cdot 10^{-6}, \quad (15)$$

- для процесса кристаллизации спредов:

$$D = 1,84 \cdot 10^{-10} \cdot \text{Re}^2 - 2,06 \cdot 10^{-8} \cdot \text{Re} + 1,21 \cdot 10^{-6}. \quad (16)$$

Определим коэффициент вариации в конце процесса перемешивания спреда № 1 при

$n = 150 \text{ мин}^{-1}$. Безразмерная длительность процесса составляет $\text{Fo} = 0,0935$. Этому значению числа Фурье согласно рисунку 10 соответствует

$K_{\text{var}} = 3,2 \%$, что говорит о достаточно хорошей однородности получаемой спредовой композиции. Используя данный подход, можно оценить однородность продукта в любой момент времени.

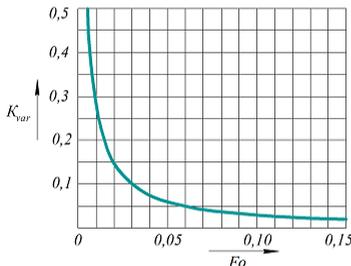


Рисунок 10 – Зависимость коэффициента вариации от времени перемешивания спредов

$$X = [0,8;1], D = 2,29 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$$

достаточно хорошей однородности получаемой спредовой композиции. Используя данный подход, можно оценить однородность продукта в любой момент времени.

В пятой главе проведены исследования показателей качества спредов, сбалансированных по жирнокислотному составу.

Проведены исследования химического состава сливочно-растительных спредов, изготовленных по предлагаемым рецептурам.

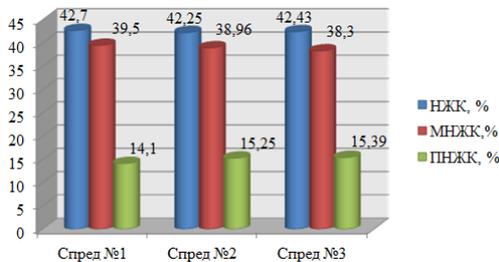
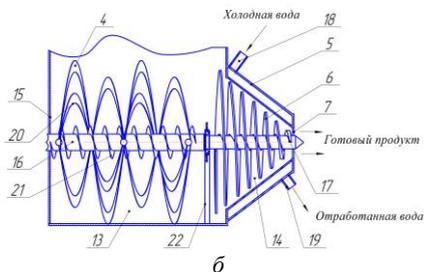
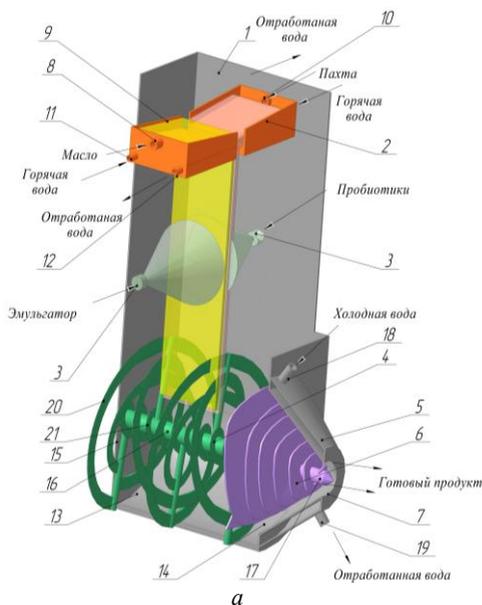


Рисунок 11 – Соотношение групп жирных кислот

Опыты проводились с использованием жидкостного хроматографа HP 3600 MXL, а также газового хроматографа и капель 105.

Жирнокислотный состав образцов спреда соответствует



1 – корпус; 2, 9 – подающий лоток; 3 – распылительный форсунка; 4 – лента мешалки; 5 – двутельный корпус; 6 – шнек; 7 - выгрузочное отверстие; 8, 10 – загрузочный патрубок; 11 – патрубок ввода теплоносителя; 12 – патрубок отвода теплоносителя; 13 – камера I; 14 – камера II; 15 – смеситель; 16 – быстроходный вал; 17 – тихоходный вал; 18 – патрубок для входа холодной воды; 19 – патрубок для отвода воды; 20- лента мешалки большего диаметра; 21 – шнек; 22 – опоры

Рисунок 12 – Эмульсер (а) и смесильная камера (б)

необходимому соотношению жирных кислот групп ω -3 к ω -6: 1:2,83; 1:3,75; 1:4,87 (рисунок 11). Повышено содержание мононенасыщенных жирных кислот.

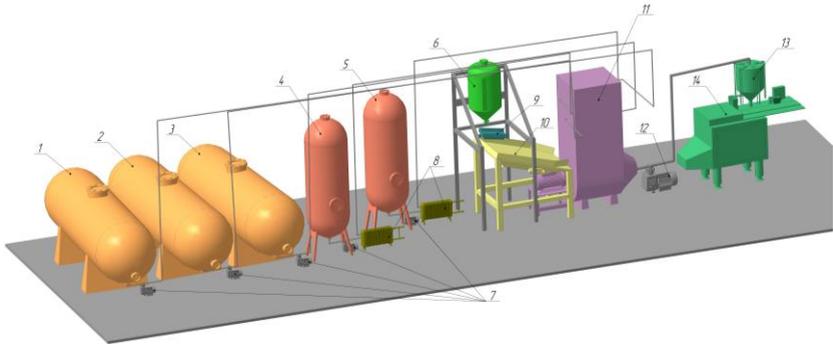
В результате проведенной экспертной оценки качества спредов установлено, что образцы спреда, изготовленные по предлагаемой технологии, имеют хорошие потребительские свойства.

В шестой главе приведено описание разработанного способа производства сливочно-растительных спредов, эмульсера для производства спредов, а также линии производства спредов, сбалансированных по жирнокислотному составу.

Использование разработанного эмульсера (рисунок 12) позволяет: рационально вести процесс термомеханического воздействия на исход-

ное сырье, которое отличается по своим физико-механическим свойствам, благодаря рациональному характеру движения продукта и поддержанию необходимого температурного режима в каждой из двух камер смесителя в зависимости от их функционального назначения; получить эмульсии, сбалансированные по жирнокислотному составу, состоящие из компонентов различных по своим свойствам; расширить область применения благодаря универсализации механизмов перемешивания, учитывающих физико-механические свойства исходных компонентов.

Использование предлагаемой линии (рисунок 13) производства спредов дает возможность повысить качество производимых спредов за счет оптимизации жирнокислотного состава; расширить технологические возможности линии; реализовать наиболее рациональные режимы производства без ухудшения качества продукции.



1 - бункер для кукурузного масла; 2 - бункер для льняного масла; 3 - бункер для арахисового масла; 4 - бункер для высокожирных сливок; 5 - бункер для обезжиренного молока; 6 - бункер для сыпучего эмульгатора; 7 - насосы-дозаторы жидких продуктов; 8 - пастеризационные установки; 9 - весовой дозатор; 10 – вибротранспортер; 11 – эмульсер; 12 - насос для перекачивания готового продукта; 13 - бункер готового продукта; 14 - фасовочно-упаковочный автомат

Рисунок 13 – Линия производства спредов

Условные обозначения

n – счетная концентрация частиц в объеме жидкости, шт/м³; τ – время, с;
 D – эффективный коэффициент перемешивания, м²/с; x – координата, м;
 τ_0 – продолжительность ввода частиц трассера в жидкость, с; j_0 –

средняя штучная плотность поверхностного потока частиц за время их ввода τ_0 , шт/(м²·с); $\mathbf{1}(\tau)$ – функция Хэвисайда; z – общее количество вводимых частиц, шт; S – площадь свободной поверхности жидкости, м²; $n_0 = z/V$ – средняя по объему жидкости концентрация частиц, шт/м³; $Fo_0 = D\tau_0/h^2$ – безразмерная продолжительности ввода (импульса) трассера; h – высота слоя жидкости, м; V – объем всей перемешиваемой жидкости, м³; n_i – их локальная концентрация трассера в m точках, равномерно распределенных по всему рабочему объему аппарата, шт/м³; $N = n/n_0$ – объемная концентрация частиц трассера; $Fo = D\tau/h^2$ – продолжительность перемешивания; $X = x/h$ – высота слоя.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ

1. Получены три рецептурные смеси со сбалансированным содержанием полиненасыщенных жирных кислот групп ω -3: ω -6.

2. Получены зависимости теплофизических характеристик сливочно-растительных спредов от температуры, и установлено, что с ростом температуры происходит увеличение удельной теплоемкости и коэффициента теплопроводности. Коэффициент температуропроводности образца спреда по мере увеличения температуры уменьшается.

Получены реологические характеристики спредов, выявлено, что влияние градиента скорости сдвига на эффективную вязкость продукта уменьшается при повышении температуры.

3. Установлены основные показатели кинетики перемешивания сливочно-растительных спредов при переменном теплоподводе. Определены рациональные режимы перемешивания сливочно-растительных спредов, позволяющие сохранить ценные компоненты готового продукта, а также получить хорошие органолептические показатели:

- для первой рецептуры время перемешивания при температуре 65 °С составляет 4,7 мин при частоте вращения рабочего органа 150 мин⁻¹, время кристаллизации составило 14 мин при температуре от 30 до 15 °С и частоте вращения рабочего органа 15 мин⁻¹;

- для второй рецептуры время перемешивания при температуре 65 °С составляет 4,5 мин при частоте вращения рабочего органа 150 мин⁻¹, время кристаллизации составило 12 мин при температуре от 30 до 15 °С и частоте вращения рабочего органа 15 мин⁻¹;

- для третьей рецептуры время перемешивания при температуре 65 °С составляет 4,7 мин при частоте вращения рабочего органа

150 мин⁻¹, время кристаллизации составило 14 мин при температуре от 30 до 15 °С и частоте вращения рабочего органа 15 мин⁻¹.

4. Получена математическая модель процесса перемешивания сливочно-растительных спредов, позволяющая рассчитать зависимость коэффициента вариации, характеризующего однородность перемешиваемой спредовой композиции, и определить продолжительность перемешивания до получения продукта заданной однородности.

5. Получен новый способ производства сливочно-растительных спредов сбалансированного состава, разработана конструкция эмульсера, а также линия производства спредов.

6. Установлены показатели качества и безопасности сливочно-растительных спредов, произведенных по разработанным рецептурам, позволяющие сделать вывод о хорошем качестве готового продукта, полученного в процессе перемешивания при переменном теплоподводе.

7. Получены опытные партии на ООО «Становлянский маслодельный завод», проведена их дегустация, в результате которой было установлено, что представленные образцы соответствуют цвету, вкусу и запаху, свойственным компонентам, входящим в их состав. Установлена технико-экономическая эффективность от внедрения разработанной линии в производство. Ожидаемый экономический эффект от внедрения составит 710453,20 р. в год.

Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах:

Статьи в журналах, рекомендованных ВАК

1. Остриков, А. Н. Оптимизация сливочно-растительных спредов по жирнокислотному составу [Текст] / А. Н. Остриков, А. В. Горбатова // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. – 2012. – № 4. – С. 71-73.

2. Остриков, А. Н. Исследование теплофизических свойств спреда функциональной направленности [Текст] / А. Н. Остриков, А. В. Горбатова // Известия вузов. Пищевая технология. – 2013. – № 2-3. – С. 101 – 103.

3. Остриков, А. Н. Комплексное исследование реологических свойств спреда функциональной направленности [Текст] / А. Н. Остриков, А. А. Смирных, А. В. Горбатова // Вестник Алтайского Государственного аграрного университета. – 2013. – № 1. – С. 93 – 96.

4. Горбатова, А. В. Исследование качественных показателей сливочно-растительного спреда функциональной направленности [Текст] / А. В. Горбатова // Аграрный вестник Урала. – 2013. – № 1. – С. 37 – 39.

5. Василенко, Л. И. Разработка лечебно-профилактических продуктов с использованием микрокапсулированных биопрепаратов [Текст] / Л. И. Василенко, А. В. Горбатова, Л. Н. Фролова // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. – 2013. – № 2. – С. 179 - 181.

6. Остриков, А. Н. Анализ химического состава физиологически функционального спреда [Текст] / А. Н. Остриков, А. В. Горбатова // Масложировая промышленность. – 2014. – № 2. – С. 11 – 13.

Патенты

1. Пат. 2502549 РФ, МПК⁷ В 01F 3/08. Эмульсер. [Текст] / Остриков А. Н., Горбатова А. В.; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный университет инженерных технологий» (RU). - № 2012118119/05; заявл. 03.05.2012; опубл. 27.12.2013, Бюл. № 36.

2. Пат. 25068023 РФ, МПК⁷ А23D 7/00. Способ производства сливочно-растительных спредов [Текст] / Остриков А. Н., Горбатова А. В.; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный университет инженерных технологий». - № 2012124530/13; заявл. 14.06.2012; опубл. 20.02.2014, Бюл. № 5.

3. Пат. 2518735 РФ, МПК⁷ А 23 D 7/005. Линия производства спредов функционального назначения [Текст] / Остриков А. Н., Горбатова А. В.; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный университет инженерных технологий». - № 2013100445/13; заявл. 10.01.2013; опубл. 10.06.2014, Бюл. № 16.

Подписано в печать 10.03.2015. Формат 60×84 ¹/₁₆.

Усл. печ. л. 1,0. Тираж 100 экз. Заказ № 17.

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

Отдел оперативной полиграфии ФГБОУ ВПО «ВГУИТ»

Адрес университета и отдела оперативной полиграфии:

394036, Воронеж, пр. Революции, 19