

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИНЖЕНЕРНЫХ  
ТЕХНОЛОГИЙ

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»

Диссертация

на соискание ученой степени кандидата технических наук

Научный руководитель:

Заслуженный деятель науки РФ,

доктор технических наук,

профессор А. Н. Остриков

ВОРОНЕЖ – 2015

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>Введение</b> .....	4
<b>Глава 1. Анализ состояния современного производства спредов</b> .....	9
1.1. Анализ используемого сырья как объекта исследования. ....	9
1.1.1 Арахисовое масло. ....	9
1.1.2 Кукурузное масло. ....	11
1.1.3 Льняное масло. ....	12
1.1.4 Молочный жир. ....	14
1.2 Спреды как продукты здорового питания .....	17
1.3 Регулирование состава и свойств жировой фазы спредов .....	20
1.4. Использование эмульгаторов в производстве спредов .....	26
1.5. Обзор современных технологических линий и оборудования для производства спредов .....	29
1.6 Анализ математических моделей процесса перемешивания в аппара- тах с механическим перемешивающим устройством .....	36
1.7. Анализ литературного обзора, формулировка цели и основных задач исследования .....	44
<b>Глава 2. Экспериментальные исследования спреда как объекта изучения</b> .	48
2.1. Оптимизация рецептуры .....	48
2.2. Исследование реологических свойств сливочно-растительных спредов .....	50
2.3 Исследование динамической вязкости сырья и готового продукта .	56
2.4 Определение теплофизических характеристик сливочно-растительных спредов .....	58
<b>Глава 3. Экспериментальные исследования кинетики процесса перемешивания спредов при переменном теплоподводе</b> .....	61
3.1. Экспериментальная установка и методика проведения	

исследований . . . . .	61
3.2. Обоснование выбора конструкции мешалки. . . . .	64
3.3. Исследование гидродинамики процесса перемешивания спредов . .	67
3.4. Кинетика процесса перемешивания сливочно-растительных спредов . . . . .	74
3.5. Оценка качества перемешивания сливочно-растительных спредов. .79	
<b>Глава 4. Математическая модель процесса перемешивания сливочно- растительных спредов. . . . .</b>	<b>83</b>
4.1 Диффузионная модель процесса перемешивания спредов . . . . .	83
<b>Глава 5. Исследование показателей качества сливочно-растительных спредов, сбалансированных по жирнокислотному составу . . . . .</b>	<b>95</b>
5.1. Исследование химического состава сливочно-растительных спредов . . . . .	95
5.2 Определение температуры плавления жировой основы разрабатываемого спреда . . . . .	99
5.3 Экспертная оценка качества спреда. . . . .	101
5.4 Анализ консистенции «пробой на срез» . . . . .	110
5.5 Определение термоустойчивости. . . . .	111
5.6 Определение физико-химических показателей . . . . .	112
5.7 Исследование устойчивости спреда при хранении . . . . .	113
<b>Глава 6. Разработка способа производства спредов, сбалансированных по жирнокислотному составу, и оборудования для реализации процесса термомеханической обработки. . . . .</b>	<b>115</b>
6.1. Разработка способа производства . . . . .	115
6.2. Разработка конструкции эмульсера. . . . .	117
6.3. Линия производства спредов . . . . .	121
<b>Основные выводы и результаты . . . . .</b>	<b>125</b>
<b>Литература . . . . .</b>	<b>127</b>
<b>Приложение . . . . .</b>	<b>145</b>

## ВВЕДЕНИЕ

Сбалансированность питания человека подразумевает такое состояние его рациона, когда организм получает все необходимые для него ингредиенты в определённых соотношениях, обеспечивающих нормальную жизнедеятельность организма. Особенно важна сбалансированность веществ, не синтезируемых в организме человека. Одним из важнейших компонентов пищи, жизненно необходимых человеку, определяющим её пищевую, энергетическую ценность и биологическую эффективность, являются липиды. Основным фактором эффективности использования липидов, поступающих с пищей, является сбалансированность их жирнокислотного состава. Для поддержания здоровья человеку необходима сбалансированность содержания  $\omega$ -3 и  $\omega$ -6 жирных кислот [60].

Мировым сообществом еще не приняты единые рекомендуемые нормы потребления  $\omega$ -3 и  $\omega$ -6. Департамент по питанию и пище при Национальной Академии наук США рекомендует, чтобы жиров с пищей поступало не более 30 % от общего количества калорий. В этом контексте рекомендуется, чтобы с полиненасыщенными жирными кислотами (ПНЖК) поступало менее 8 % калорий, а соотношение  $\omega$ -3 и  $\omega$ -6 ПНЖК колебалось в пределах между 5:1 и 3:1 [82].

Британский национальный фонд рекомендует, чтобы ПНЖК поступало в организм 7,5 % от общего количества калорий. Для того чтобы предотвратить симптомы дефицита жирных кислот необходимо потреблять линолевую кислоту в объемах, которые соответствуют 1 – 2 % от общего количества калорий [82].

ПНЖК принимают участие в «строительстве» липидного биослоя, клеток организма человека, играют очень важную роль в формировании зрительного аппарата и нервной системы, снижают риск развития сердечно-сосудистых заболеваний и атеросклероза.

Мембраны сетчатки и серое вещество человеческого мозга очень богаты  $\omega$ -3 ПНЖК, поэтому присутствие ПНЖК в рационе ребенка требуется для формирования зрительного аппарата и оптимального интеллектуального развития.

Исследования образа жизни, здоровья и особенностей питания жителей Средиземноморья показали, что низкий уровень сердечно-сосудистый заболеваний среди этой группы населения обусловлен высоким уровнем потребления ПНЖК, который снижают уровень триглицеридов и холестерина в сыворотки крови, уменьшают риск образования тромбов [88].

Оптимизирование жирнокислотного состава спредов осуществляется путём создания многокомпонентных композиций, которые имеют в своем составе молочные ингредиенты с различными растительными маслами и жирами.

Объем производства спредов в России в последние годы возрастал 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 изменялась и потребительский спрос на спреды начал сокращаться. В 2012 году тенденция сокращения продолжилась, и объемы выпуска составили 135,8 тыс. т против 152,9 тыс. т против 152,9 тыс. т в предыдущем году, или 88,8 % к уровню 2011 г. В 2013 году объем производства спредов составил 136,2 тыс. т, т. е. примерно остался на уровне 2012 года (рисунок 1) [33, 56, 91].

Снижение объемов производства спредов 2011 и 2012 гг. связано с появлением на рынке фальсификации сливочного масла, когда преднамеренно скрывалось содержание растительных жиров в продукте и продукт называли не спред, а сливочное масло или масло бутербродное, что вызвало недоверие покупателей. Так же это связано с присутствием в составе спредов гидрогенизированных жиров, оказывающих негативное влияние на здоровье человека [17, 52, 54].

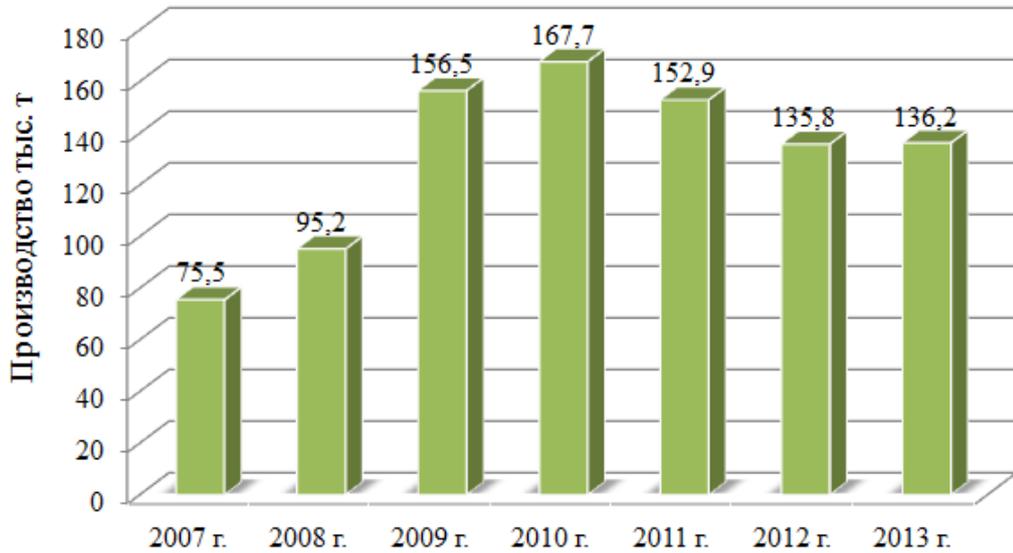


Рисунок 1 – Динамика российского производства спредов за 2007-2013 гг.

Уже опубликовано достаточно исследований, в которых показано, что гидрогенизированные жиры способствуют возникновению рака, снижают чувствительность клеток поджелудочной железы к инсулину, тем самым, провоцируя развитие диабета II типа. Транс-жиры угнетают иммунитет. Мембраны клеток иммунной системы становятся жесткими и малоактивными. Такие клетки уже не могут полноценно обезвреживать бактерии, вирусы, раковые клетки. Транс-жиры бесспорно внесли и вносят значительный вклад в развитие такого тяжелого заболевания как ожирение. Тысячи людей по всему миру страдают от тяжелейших форм ожирения, которое с огромным трудом поддается лечению[4].

Для увеличения потребительского спроса и соответственно увеличения объемов производства спредов, необходимо расширять ассортиментные линейки спредов, делая их полезными для здоровья.

Крупнейшими предприятиями, производящими спреды на территории России, являются: «ЭФКО», «СолПро» и «Каргилл».

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

Выявлены, сформулированы и описаны основные закономерности про-

цесса 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 докладывались и обсуждались на международных и всероссийских 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 агропромышленном форуме (Воронеж, 2011 г., 2014 г.), межвузовском конкурсе инновационных проектов «Кубок инноваций» (Воронеж, 2014 г.), конкурсе «Инженерные тех-

нологии XXI века» (Воронеж, 2011 г., 2013 г., 2014 г.), Международном научно-техническом семинаре к 100-летию А. В. Лыкова (Воронеж, 2010 г.), награждена 6 дипломами и отмечена 1 благодарностью.

Работа выполнялась на кафедре технологии жиров, процессов и аппаратов химических и пищевых производств Воронежского государственного университета инженерных технологий (ВГУИТ). Хотелось бы выразить искреннюю благодарность научному руководителю заслуженному деятелю науки Российской Федерации, доктору технических наук, профессору Острикову Александру Николаевичу за оказанную помощь и консультации при выполнении диссертационной работы, а также признательность коллективу кафедры технологии жиров, процессов и аппаратов химических и пищевых производств ВГУИТ за помощь и содействие при работе над диссертацией.

## **Глава 1. АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ СОВРЕМЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА СПРЕДОВ**

### **1.1. Анализ используемого сырья как объекта исследования**

#### **1.1.1 Арахисовое масло**

На территории России арахис появилась в 1792 г. В промышленных масштабах арахис выращивают на юге Украины, в Краснодарском крае, в республиках Закавказья, Узбекистане, Таджикистане. Арахисовое масло очень популярный диетический продукт в США и в странах Европы. Оно усиливает чувство сытости и применяется в диетах для снижения веса, а также людьми, не употребляющими мясных продуктов. Помимо своих питательных свойств, арахис, так же как и большинство растительных масел широко применяется в косметологии и медицине.

Арахисовое масло богато витаминами групп А, D, E, B1, B2, PP, содержит микроэлементы: биотин – 0,34...1,1 мг/кг, холин – 1650...1740 мг/кг, фолиевая кислота – 2,8 мг/кг, инозитол – 1800 мг/кг, никотиновая кислота – 88...200 мг/кг, пантотеновая кислота – 25...35 мг/кг. В плодах арахиса содержится до 50 % масла. Масло арахиса включает в себя более 30 % полиненасыщенных жирных кислот (линолевой кислоты) и более 50 % олеиновой кислоты.

Доказано, что арахисовое масло снижает уровень холестерина в крови; оказывает лечебное воздействие на людей, страдающих заболеваниями сердечно-сосудистой системы и нарушениями кровообращения; используется как желчегонное средство; улучшает память, внимание и слух; повышает потенцию; применяют для лечения труднозаживающих ран; улучшает работу сердца и печени; укрепляет нервную систему, полезно при утомляемости; полезно для людей с ожирением и проблемами желудочно-кишечного тракта; питает кожу.

Плотность арахисового масла при 15 °С составляет 920 кг/м<sup>3</sup>, температура застывания от -2,5 до 3 °С, коэффициент преломления при 20 °С изменяется в пределах 1,468...1,472, кинематическая вязкость при 20 °С – 74...89×10<sup>-6</sup> м<sup>2</sup>/с.

Жирнокислотный состав арахисового масла представлен в таблице 1.1.

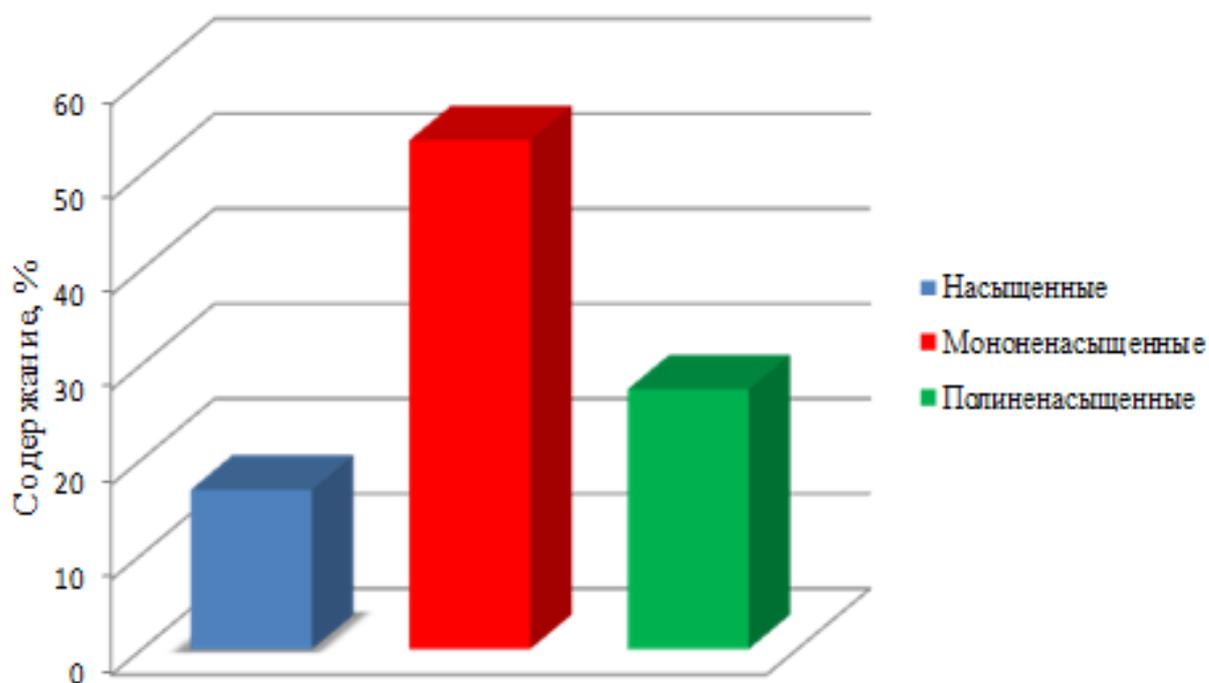


Рисунок 1.1 – Содержание НЖК, МНЖК и ПНЖК в арахисовом масле

Таблица 1.1 – Жирнокислотный состав арахисового масла

Наименование жирной кислоты	Обозначение	Содержание, %
Бегеновая	C 22:0	2,22
Арахидиновая	C 20:0	1,25
Линоленовая	C 18:3	0,28
Линолевая	C 18:2	27,03
Олеиновая	C 18:1	53,45
Стеариновая	C 18:0	2,93
Пальмитолеиновая	C 16:1	0,09
Пальмитиновая	C 16:0	10,3
Миристиновая	C 14:0	0,05
Лауриновая	C 12:0	0,05
Содержание трансизомеров, %		0,32
Йодное число		97,9

### 1.1.2. Кукурузное масло

Кукурузное – растительное масло, которое производится из зародышей кукурузы методом холодного отжима. Состав кукурузного масла схож с составом подсолнечного. В кукурузном масле содержится провитамин А, витамины С, К, группы В, некоторые минеральные вещества, лецитин, фитостерины, но особенно много в нём витамина Е (альфа-токоферолов) и витамина F, представляющего собой комплекс ненасыщенных жирных кислот.

Альфа-токоферолы, содержащиеся в большом количестве в кукурузном масле, являются природными антиоксидантами, замедляющими старение организма [43].

Наличие в составе масла зародышей кукурузы незаменимых жирных кислот и биологически активных веществ позволяет применять его при болезнях печени и желчных путей, а также при появлении камней в почках. Кукурузное масло снижает уровень холестерина в крови, очищает и придает эластичность стенкам сосудов, придает им эластичность.

Кукурузное масло снижает образование тромбов, защищает генетический аппарат клеток от мутаций, которые могут быть образованы действием химических веществ, а также ионизирующих излучений.

Ненасыщенные жирные кислоты, содержащиеся в кукурузном масле, повышают иммунитет организма и способствуют удалению из организма избытка холестерина.

Кукурузное масло обладает приятным запахом и вкусом. Цвет колеблется от светло-желтого до красновато-коричневого. Кинематическая вязкость при 20 °С  $60,6 \times 10^{-6}$  м<sup>2</sup>/с, плотность при 10 °С – 925 кг/м<sup>3</sup>, показатель преломления (при 20 °С) – 1,471...1,473, температура застывания от -10 до -16 °С. Йодное число 115 – 130.

Жирнокислотный состав кукурузного масла представлен в таблице 1.2.

Таблица 1.2 – **Жирнокислотный состав кукурузного масла**

Наименование жирной кислоты	Обозначение	Содержание, %
Бегеновая	C 22:0	0,21
Арахидовая	C 20:0	0,46
Линоленовая	C 18:3	0,46
Линолевая	C 18:2	55,70
Олеиновая	C 18:1	30,15
Стеариновая	C 18:0	2,47
Пальмитолеиновая	C 16:1	0,08
Пальмитиновая	C 16:0	9,70
Миристиновая	C 14:0	0,04
Содержание трансизомеров, %		0,76
Йодное число		129,9

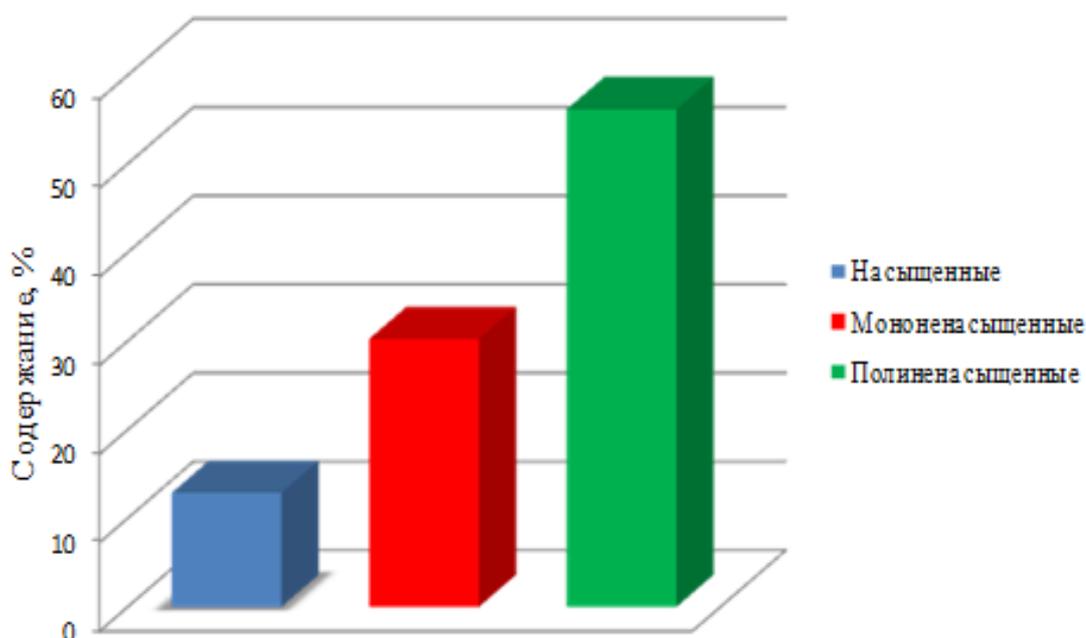


Рисунок 1.2 – Содержание НЖК, МНЖК и ПНЖК в кукурузном масле

### 1.1.3. Льняное масло

Лен относится к числу древнейших культивируемых человеком растений. Льняное масло получают из красновато-коричневых семян льна, и оно имеет приятный цвет от коричневого до золотистого, в зависимости от степени очист-

ки. В семени льна содержится витамин F и большие количества витаминов A и E. Льняное масло представляет собой ценный пищевой продукт, отличающийся от большинства масел высоким содержанием незаменимой линоленовой кислоты (до 70 %).

Льняное масло является незаменимым продуктом в рационе питания человека, участвующим во многих обменных процессах, используется для профилактики и лечения таких болезней как ишемическая болезнь сердца, атеросклероз, рак, сахарный диабет и многих других [134].

По содержанию ненасыщенных жирных кислот групп  $\omega$ -3 и  $\omega$ -6 льняное масло превосходит многие продукты.

В результате научных исследований выявлено [111], что лигнины, содержащиеся в льняном масле, обладают способностью уничтожать соединения эстрогена, из-за которых возникает рак груди.

Помимо лигнинов с льняным маслом в организм человека попадает альфа-линоленовая кислота, которая также имеет значительные антиканцерогенные свойства, особенно при заболеваниях рака груди.

Плотность льняного масла при 15 °С – 934...935 кг/м<sup>3</sup>, коэффициент преломления при 15 °С – 1,4858...1,4872, кинематическая вязкость при 20 °С  $15,5 \times 10^{-6}$  м<sup>2</sup>/с.

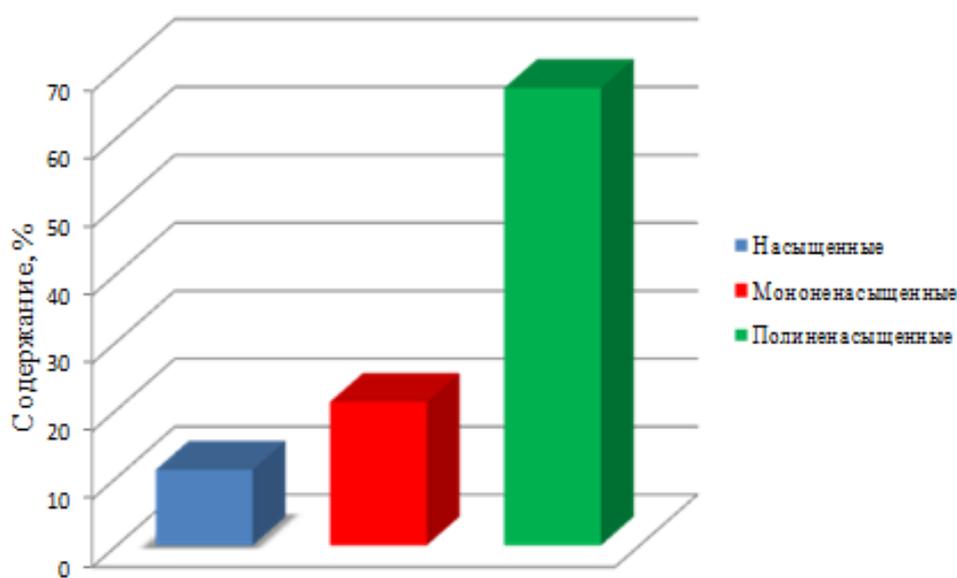


Рисунок 1.3 – Содержание НЖК, МНЖК и ПНЖК в льняном масле

Жи́рноки́слотный состав льняного масла представлен в таблице 1.3.

Таблица 1.3 – Жи́рноки́слотный состав льняного масла

Наименование жирной кислоты	Обозначение	Содержание, %
Бегеновая	C 22:0	0,15
Арахидовая	C 20:0	0,17
Линоленовая	C 18:3	52,08
Линолевая	C 18:2	15,20
Олеиновая	C 18:1	21,03
Стеариновая	C 18:0	5,02
Пальмитолеиновая	C 16:1	0,08
Пальмитиновая	C 16:0	5,70
Миристиновая	C 14:0	0,04
Содержание трансизомеров, %		0,45
Йодное число		147,15

Как показали исследования, все растительные масла содержат не более 1 % трансизомеров. Это намного меньше, чем в традиционном сырье при производстве маргариновой продукции – саломасе, где содержание трансизомеров может достигать до 60 % [130]. Таким образом, использование растительных масел холодного отжима в качестве жировой основы спредов с точки зрения диетологии является полностью оправданным.

#### 1.1.4. Молочный жир

Базовым прототипом, эталоном, определяющим органолептический профиль всех поколений этой категории эмульсионных жировых продуктов (от маргаринов до спредов), является сливочное масло [133]. К бесспорным его достоинствам относят уникальные потребительские свойства и наличие в составе жирорастворимых витаминов: А (0,6 мг %), Е (2-5 мг %), D (0,002-0,008 мг %), а также каротина (0,17-0,56 мг %).

Основным критерием, определяющим показатели качества сливочного

масла, является молочной жир.

Жирнокислотный состав молочного жира нельзя признать идеальным: суммарное содержание насыщенных кислот в нем составляет 55-60 %, в том числе, низкомолекулярных – до 10 %, высокомолекулярных (лауриновой, миристиновой, пальмитиновой, стеариновой) – 41-63 %, ненасыщенных – 24-40 % (в том числе олеиновой – 22-32 %); на долю эссенциальных полиненасыщенных (линолевой и линоленовой) кислот приходится только 3-5 %.

Жирнокислотный состав молочного жира [3] показан в таблице 1.4.

Таблица 1.4 – Жирнокислотный состав молочного жира

Жирная кислота	Число углеродных атомов и двойных связей	Массовая доля жирной кислоты, %
Арахидиновая	20:0	1,8-2,2
Линолевая	18:2	3,6-4,2
Олеиновая	18:1	21,2-23,2
Стеариновая	18:0	9,5-11,5
Маргариноолеиновая	17:1	0,4-0,7
Маргариновая	17:0	0,9-1,0
Пальмитоолеиновая	16:1	2,6-2,7
Пальмитиновая	16:0	29,0-30,4
Пентадециловая	15:0	1,3
Миристоолеиновая	14:1	1,6-2,2
Миристиновая	14:0	11,3-11,6
Лауриновая	12:0	3,1-4,2
Каприновая	10:0	2,5-3,9
Каприловая	8:0	1,2-1,3
Капроновая	6:0	1,6-2,0
Масляная	4:0	2,2-2,4
ИТОГО	-	100
В том числе трансизомеров олеиновой кислоты		7,5-12,0

Из таблицы 1.4 видно, что содержание линолевой кислоты на фоне боль-

шого количества НЖК (насыщенных жирных кислот) очень мало. При ее недостатке в продуктах, употребляемых в пищу, ухудшаются показатели, характеризующие состояние обменных процессов в организме.

Другим недостатком сливочного масла является содержание в нем холестерина в количестве 165-190 мг %, а также присутствие трансизомеров, которое может достигать 10 % и зависит от биологических особенностей животных, коров и условий обработки молока [22].

С позиций создания функционального продукта масло может рассматриваться как объект модификации состава в направлении снижения содержания жира и повышения доли ненасыщенных жирных кислот, в том числе, эссенциальных, путем комбинирования с растительными маслами.

Однако при этом необходимо принимать во внимание, что такой модифицированный продукт, согласно пищевому законодательству, не может быть отнесен к сливочному маслу, а будет представлять собой другую разновидность масложировой продукции, в частности, спред [29, 32, 66].

## **1.2. Спреды как продукты здорового питания**

Спред – это эмульсионный жировой продукт (массовая доля жира не менее 39 %), обладает пластичной консистенцией, с температурой плавления не выше 36 °С, производится из молочного жира, и (или) сливочного масла, и (или) сливок, и натуральных и (или) модифицированных растительных масел или только из натуральных и (или) модифицированных растительных масел без добавления или с добавлением различных пищевых добавок и иных ингредиентов, который содержит не более 8 % трансизомеров олеиновой кислоты в жире, который выделен из продукта (в пересчете на метилэлаидат) [105, 27].

Спреды подразделяют на следующие подгруппы, в зависимости от состава сырья: сливочно-растительные (содержание немолочных жиров не превышает 50 %); растительно-сливочные (содержание немолочных жиров превышает

50 %); растительно-жировые (жировая фаза состоит из немолочных жиров, молочных жиров не более 15 %).

В зависимости от массовой доли жира спреда бывают: высокожирные (от 70,0 до 95,0 %); среднежирные (от 50,0 до 69,9 %); низкожирные (от 39,0 до 49,9 %).

Спред по сравнению с маргарином и сливочным маслом удовлетворяет требования, предъявляемые к «здоровым продуктам». В соответствии с ГОСТ трансизомеров жирных кислот должно содержаться не более 8 % от общего их содержания, а количество линолевой кислоты в зависимости от вида спреда – от 5 до 45 % [94, 143].

Высокая доля полиненасыщенных жирных кислот (ПНЖК) в составе спредов существенно отличает его от сливочного масла. ПНЖК – важная и незаменимая составная часть жирового продукта, необходимый исходный строительный материал для клеточных мембран и биосинтеза веществ – посредников, регулирующих обменные процессы: простагландинов и лейкотриенов. Доля ПНЖК в спредах может достигать 25 %, тогда как в сливочном масле их уровень не более 3,5 % [96, 97].

Благодаря своей эмульсионной природе, спред является подходящим продуктом для обогащения водо- и жирорастворимыми ингредиентами [78]. Для придания спредам функциональных свойств используют [110, 113, 114, 100]:

- сбалансирование жирнокислотного состава;
- регулирование витаминного состава;
- добавление ингредиентов, обладающих функциональными свойствами.

Преобразование спреда из дешевого заменителя сливочного масла в полезный для здоровья продукт возможно по трем направлениям. Первое – снижение калорийности. На рынке спредов и сейчас существует тенденция к снижению жирности [123]. Некоторые предприятия уже освоили технологию производства спредов с массовой долей жира 40 %. Основная цель производства таких

продуктов – предоставление потребителям возможности контролировать содержание жира в рационе питания [68, 69, 80].

Для спредов функционального назначения целесообразно совершенствовать жировую основу, потому что введение функциональных ингредиентов требует более тщательного подбора жировой основы, поэтому второе направление – регулирование жирнокислотного состава: снижение и исключение трансизомеров жирных кислот (ЖК), снижение количества насыщенных ЖК [66, 67, 74, 89, 92].

Большое внимание исследователей и потребителей продолжают привлекать  $\omega$ -3 полиненасыщенные жирные кислоты как элемент питания, обладающий лечебно-профилактическими свойствами. Однако для поддержания оптимального состояния здоровья человеку необходима сбалансированность в диете содержания  $\omega$ -3 и  $\omega$ -6 ПНЖК. Избыточные количества  $\omega$ -6 ПНЖК и очень высокое отношение  $\omega$ -6/  $\omega$ -3 способствуют развитию целого ряда заболеваний, включая сердечно-сосудистые, онкологические, воспалительные и аутоиммунные, тогда как повышенные уровни  $\omega$ -3 ПНЖК оказывают тормозящее действие [146, 141]. Наиболее благоприятное соотношение этих кислот для разных возрастных групп и разного состояния здоровья (рацион здорового человека или диета профилактической и лечебной направленности) колеблется от 10/1 до 1/1 [44]. Так, согласно рекомендациям Института питания РАМН, баланс  $\omega$ -6/  $\omega$ -3 в рационе здорового человека должен быть 10/1, а в случае лечебного питания от 3/1 до 5/1 [99]. Важность соотношения  $\omega$ -6/  $\omega$ -3 продемонстрирована при целом ряде заболеваний [151]. Например, в плане вторичной профилактики сердечно-сосудистого заболевания соотношение 4/1 ассоциируется с 70 %-ным снижением смертности, отношение 2-3/1 оказывает подавляющее действие на воспалительный процесс у людей, больных ревматоидным артритом, а 5/1 оказывает благотворное влияние при астме, тогда 10/1 дает нежелательные побочные эффекты [2, 147].

Третьим и основным направлением является обогащение спреда в физио-

логически значимых количествах функциональными ингредиентами водо- и жи-  
рорастворимой природы. Основные виды функциональных ингредиентов, реко-  
мендуемых для обогащения спредов, указаны в МР 2.3.1.1915-04 «Рекомендуе-  
мые уровни потребления пищевых и биологически активных веществ» (таблица  
1.5). Для обогащения спредов могут быть использованы пищевые волокна [88,  
127].

Таблица 1.5 – Рекомендуемые уровни потребления

Компонент	Адекватный	Верхний допустимый
Полиненасыщенные жирные кислоты в составе рас- тительных масел или в виде концентратов	11 г	20 г
p-Карсфолипиды	7 г	15 г
Пищевые волокна	20 г	40 г
Фитостерины (p-сито-стерол-гликозид)	300 мг	600 мг
Витамин А (ретинол и его эфиры)	1 мг	3 мг
Витамин D	5 мкг	15 мкг
Витамин E (токоферолы, токотриенолы и их эфиры)	15 мг	100 мг

Уровень холестерина в крови снижается фитостеринами и фитостанинами  
путем подавления всасывания в кишечнике эндогенного и экзогенного холесте-  
рина. Фитостерины характеризуются редкой биологической активностью. Они  
способны выборочно действовать на клетки организма, регулируя и восстанав-  
ливая их работу даже в случае очень тяжелой болезни [43]. Рекомендуемый уро-  
вень потребления растительных для взрослых составляет 300 мг в сутки.

При недостатке фитостеринов развиваются деструктивные явления в орга-  
низме: нарушение гормонального баланса; появление раздражительности; разви-  
тие хронической усталости и депрессии; повышение хрупкости костей и разви-  
тие остеопороза; повышение риска возникновения болезней сердечно-  
сосудистой системы; развитие ожирения; ослабление иммунитета.

В день здоровому организму необходимо 3 мг фитостеринов, однако из-за

неправильного питания, стрессов и хронических болезней наблюдается хронический недостаток фитостеринов у населения. Чтобы восполнить их дефицит необходимо использовать в своем рационе такие продукты: экстракты хвойных растений; бобовые (особенно соя и фасоль); кунжут; пророщенная пшеница и соя; морковь; томаты; цитрусовые; инжир; грецкие орехи; растительные масла (кукурузное, облепиховое и оливковое) [103].

### **1.3. Регулирование состава и свойств жировой фазы спредов**

В настоящее время большое внимание уделяется разработке продуктов питания, сбалансированных как по количественному, так и по качественному составу белковых, жировых, углеводных, минеральных и витаминных компонентов. Растительные масла и продукты на их основе являются незаменимыми компонентами питания. Важнейшая их роль определяется энергетической ценностью. Энергетическая ценность жиров более чем в два раза выше, чем углеводов и белков. Жиры наиболее важный резерв энергии в живом организме. Они хранятся главным образом в клетках жировой ткани. Там же они участвуют в постоянно происходящих процессах образования и разрушения [12, 39, 41, 46, 47].

Физиологическая ценность растительных масел и жиров и их большое значение в питании объясняется содержанием в них важных для организмов веществ (ненасыщенные жирные кислоты, токоферолы) [47]. Особенно большое значение придается эссенциальным (незаменимым) полиненасыщенным жирным кислотам, которые не синтезируются в организме и их потребление может быть удовлетворено только благодаря их поступлению с пищей. Полиненасыщенные жирные кислоты организма образуются из линолевой и линоленовой кислоты [28].

Для нормального роста и развития организм нуждается в ненасыщенных жирных кислотах (рисунок 1.4). Благодаря им из организма выводится избыток холестерина, повышается иммунитет организма к инфекционным заболеваниям,

снижается риск возникновения кожных заболеваний, способствуют заживлению ран, укрепляют мышечную и сердечную сосудистую системы.

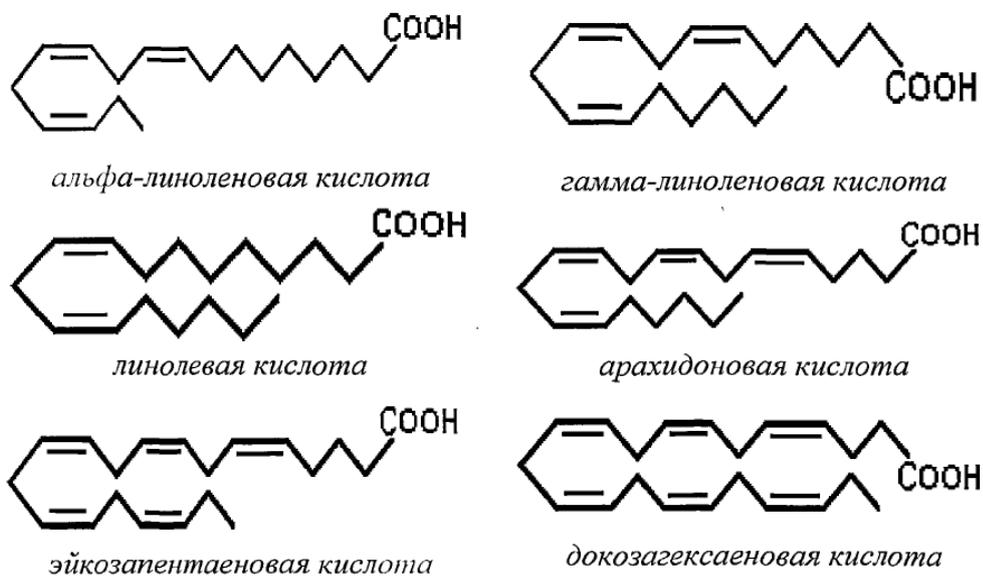


Рисунок 1.4 – Структурные формулы некоторых жирных кислот

Насыщенные жирные кислоты, в основном, содержатся в пищевых продуктах животного происхождения, сало, мясо и изделий из мяса, молоке и молочных продуктах, и некоторых растительных жирах и маслах (пальмовое, кокосовое масла), особенно те, которые остаются твердыми при комнатной температуре.

Семейства ПНЖК обозначают  $\omega$ -3 и  $\omega$ -6, это зависит от числа атомов углерода от двойной связи, которая считается последней до конечной метиленовой группы. К  $\omega$ -3 ПНЖК относятся:  $\alpha$  – линоленовая, докозагексаеновая, эйкозапентаеновая кислоты;  $\omega$ -6:  $\gamma$ -линоленовая, линолевая, арахидоновая кислоты [35].

$\omega$ -3 жирные кислоты морского происхождения увеличивают остроту зрения, уменьшают агрегацию форменных элементов и давление, улучшают время свертывания крови. Они уменьшают содержание холестерина и содержание триацилглицеридов в плазме при одновременном увеличении холестерина в липопротеидах высокой плотности.

Лучший растительный источник  $\omega$ -3 – семена льна и льняное масло хо-

лодного отжима (при температуре не выше 43 °С). Рыбий жир и масло из семян льна имеют в своем составе одну и ту же ненасыщенную жирную кислоту  $\omega$ -3, но их воздействие на организм отличается. Льняное масло содержит линоленовую кислоту, а рыбий жир содержит производные линоленовой. Линоленовая кислота преобразовывается в организме за 20 минут, но это происходит только при необходимости.

Прием  $\omega$ -3 в виде рыбьего жира может иметь почти лекарственное действие со своими противопоказаниями. Так происходит непосредственное воздействие на сворачиваемость крови, и могут быть проблемы с «ранозаживлением». Некоторые исследователи доказывают, что аспирин принятый с рыбьим жиром, может вызывать неблагоприятные эффекты в функционировании организма, также влияет прием рыбьего жира диабетиками. Но масло из семян льна содержит  $\omega$ -3 в виде вещества – предшественника, которым запасается организм и использоваться он может по мере необходимости [51].

Источниками  $\omega$ -3 жирных кислот являются рыбий жир, льняное, рапсовое, соевое масло и др., указанные в таблице 1.6 [81].

Таблица 1.6 – Источники  $\omega$ -3 и  $\omega$ -6 жирных кислот

<b><math>\omega</math>-3 ЖИРЫ</b>	<b><math>\omega</math>-6 ЖИРЫ</b>
Рыбий жир	Кукурузное масло
Рапсовое масло	Подсолнечное масло
Соевое масло	Соевое масло
Масло из грецких орехов	Хлопковое масло
Масло из семян льна	Сафлоровое масло

ПНЖК семейства  $\omega$ -6 содержатся в подсолнечном, кукурузном и соевом маслах. Но подсолнечное и другие аналогичные масла используются в пищу в большом количестве. Это может привести к избыточной концентрации в организме определенных воспалительных эйкозаноидов (простагландинов), которые способны, среди прочих нежелательных вещей, сужать кровеносные сосуды и повышать кровяное давление. Чрезмерное потребление этих масел сильно кор-

релирует с подавлением иммунной функции, раком и таких воспалительными заболеваниями, как астма и артрит. Не смотря на это, представители этого класса жирных кислот остаются необходимыми для нашего здоровья и для самой жизни [87, 150].

Трансизомеры, обладая высокими температурами плавления благодаря своей пространственной конфигурации, накапливаются в организме и изменяют естественные свойства жира тела. Употребление в пищу гидрированных жиров, содержащих повышенное количество трансизомеров, способствует повышению  $\beta$ -фракции липопротеидов крови, что является характерным признаком развития атеросклероза. Использование в рационе питания таких жиров способствует появлению дефицита эссенциальных жирных кислот [84, 85].

Исследованиями последних лет установлено, что трансизомеры также повышают уровень общего холестерина и холестерина низкой плотности, но при этом снижают количество холестерина высокой плотности. Однако повышенный уровень холестерина в плазме крови не является единственной причиной атеросклероза (это один из нескольких факторов риска), но высокое отношение содержания холестерина низкой плотности к содержанию холестерина высокой плотности хорошо коррелирует с повышением риска сердечнососудистых заболеваний, поэтому трансизомеры оказывают особенно нежелательное влияние, повышая это соотношение [104, 148].

Человечество потребляло трансжирные кислоты много лет, потому что они появились естественно в большом количестве в жирах животного происхождения. Говяжий жир и сливочное масло содержат около 3-10 % трансжирных кислот. Учёными были найдены трансжирные кислоты (в микроскопических количествах) даже в некоторых семенах и листовых овощах.

В исследованиях, проведенных Институтом жиров и жировых материалов (Франция) в области пищевой эффективности и оздоровительного действия жиров при сердечнососудистых заболеваниях особое внимание уделялось ненасыщенным жирным трансизомерным кислотам. Показано, что их

дневное потребление человеком составляет 2,7 г; в США этот показатель достигает 8 г, причем 90 % данных кислот имеют растительное происхождение. Поэтому рекомендации органов здравоохранения стран Европейского Союза заключаются в снижении уровня потребляемых с пищей трансизомеров. Так, во Франции содержание трансизомеров жирных кислот в маргаринах и намазываемых продуктах доводят до 1 %; в Нидерландах с 1985 по 1995 гг. общее потребление трансизомеров с пищевыми продуктами снизилось в расчете на энергию пищевого рациона с 4,3 % до 1,9 % за счет снижения концентрации трансизомеров в пищевых продуктах. По мнению специалистов, потребление трансизомеров жирных кислот необходимо уменьшить до 2 г/сутки.

Важнейшим представителем мононенасыщенных жирных кислот (МНЖК) является олеиновая кислота. Она препятствует осаждению холестерина на стенках артерий. МНЖК не являются эссенциальными, т.к. организм способен сам их вырабатывать и они играют лишь вспомогательную и энергетическую роль, являясь синергистом линолевой кислоты.

Эксперименты по исследованию влияния состава жира на иммунитет доказали необходимость наличия в рационе питания и НЖК. Для того чтобы синтезировать жиры организм нуждается как минимум в двух насыщенных жирных кислот: пальмитиновой и стеариновой.

Важную биологическую роль несут фосфолипиды, содержащиеся во многих жирах, особенно в растительных маслах. Они принимают непосредственное участие в активном и пассивном перемещении веществ, фагоцитозе, снижении и увеличении активности ферментов, проведении биопотенциалов.

Полностью обеспечить потребности организма не может ни один из жиров. Например молочный жир имеет высокие вкусовые качества, содержит достаточное количество лецитина, витаминов А и D, тем не менее в нем содержится маленькое количество ПНЖК и много холестерина. Повышенные количества ПНЖК, токоферолов и фитостерина, которые способствуют нормализации холестерина обмена, содержат растительные масла но в них нет витаминов А и

D [53, 55].

В соответствие с информацией, предоставленной НИИ питания РАМН, состав сбалансированного жирнокислотного состава жира употребляемого в пищу, необходимого для молодого здорового организма, должна включать 10-20 % ПНЖК, 50-60 % МНЖК и 30 % НЖК [102, 63].

Но данный баланс пищевого жира не может удовлетворить потребности населения всех возрастных слоев. Содержание линолевой кислоты для людей в возрасте и больных сердечнососудистыми заболеваниями должно быть около 40 %, соотношение ПНЖК и НЖК приближаться к 2:1, а иногда и к 1:1. Соотношение линолевой и линоленовой кислот ( $\omega$ -6/ $\omega$ -3) должно составлять для здорового человека 10:1. Рекомендуемые  $\omega$ -6/ $\omega$ -3 в рационе больных атеросклерозом, аллергическими заболеваниями, ишемической болезнью сердца должно находится в пределах от 3:1 до 5:1 [102].

Соотношение животных и растительных жиров 70 к 30 считаю оптимальным. Согласно данным НИИ питания РАМН адекватный уровень потребления жиров в сутки составляет [113]: НЖК – 25 г; МНЖК – 30 г; ПНЖК – 11 г, в том числе:  $\omega$ -6 – 10 г;  $\omega$ -3 – 1 г.

Из вышеизложенного можно сделать вывод о том, что животные и растительные жиры в рационе питания рекомендуется употреблять в сбалансированном составе. Создание биологически активных продуктов на основе ПНЖК с направленно сбалансированным составом и свойствами будет приближать рацион питания человека к индивидуальному.

Спреду можно придать желаемые диетические свойства благодаря комбинированию жировой фазы, повысить его пищевую и биологическую ценность, понизить содержание трансизомеров или исключить их из состава продукта, не добавляя в их рецептуры гидрированных масел (саломасов). Балансирование жирнокислотного состава, а также добавление в рецептуры ингредиентов, обладающих функциональными свойствами, дает возможность создавать целую гамму спредов функционального назначения [48, 118].

Одним из методов комбинирования жировых продуктов с заданным составом жирных кислот является метод купажирования растительных масел. Этот путь эффективнее, дешевле и доступнее.

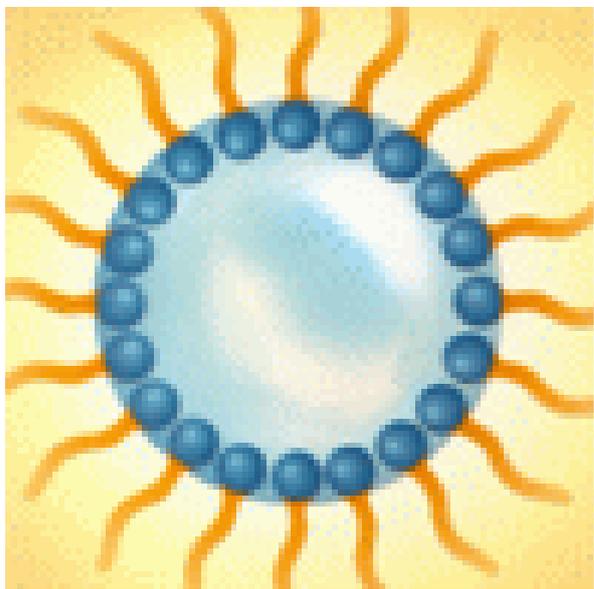
Брикота Т. Б. получила рецептуры и была проведена оценка качества низкокалорийных маргаринов функционального назначения; Хираллах Я. М. оценил потребительские свойства фосфолипидов рапсовых масел и провел разработки рекомендации по их использованию в производстве маргариновой продукции; Печерская Н. В. разработала способ повышения окислительной устойчивости спредов, на основе введения в их состав производных галловой кислоты, содержащиеся в большом количестве в биофлавоноидах зеленого чая; Ильинова С. А. научно обосновала создание пищевых эмульсий с применением фракционированных фосфолипидных продуктов.

#### **1.4. Использование эмульгаторов в производстве спредов**

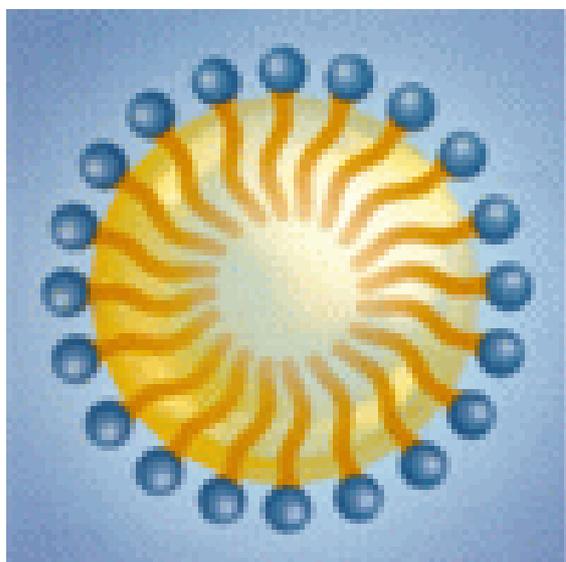
Понятие «эмульгатор» или «эмульгирующий агент» означает, что это химическое вещество, которое образует и стабилизирует эмульсию, что достигается с помощью его способности собираться на поверхности раздела фаз и уменьшать поверхностное натяжение на границе раздела фаз, это позволяет использовать их для получения тонко – дисперсных и устойчивых коллоидных систем. Основными дефинициями эмульгаторов, как поверхностно – активных веществ, являются создание и поддержание в не расслаивающемся состоянии соединений несмешиваемых фаз, например, таких как масло и вода [61, 149].

Эмульсия – дисперсия капель двух несмешиваемых в природе жидкостей [144]. Другие несмешиваемые субстанции также можно диспергировать в жидкостях, с получением либо пены (жидкость и газ), либо суспензия (жидкость и твердая масса). Эмульгаторы концентрируются по границе фаз нерастворимых друг в друге веществ, образуя межфазную пленку [142]. Это делает их незаменимыми для современной пищевой промышленности, где часто находят свое применение

пены, суспензии, и, в особенности эмульсии. Способность эмульгаторов концентрироваться по границе двух нерастворимых друг в друге веществ обусловлена их дифильной структурой [139, 140].



Эмульсия «Вода в масле»



Эмульсия «Масло в воде»

Рисунок 1.5 – Структура эмульсий

Полярная группа молекулы эмульгатора гидрофильна, т. е. она имеет сродство с водой, в то время как углеводородная часть молекулы липофильна, т. е. она имеет сродство с маслом [128]. Пищевые эмульсии представляют собой либо эмульсии «масло - в - воде», например, жидкие сливки или молоко, где масло является дисперсной фазой, а вода – основной фазой; либо эмульсии «вода – в – масле», например, спред, где вода – дисперсная фаза, а масло – основная (рисунок 1.5) [121, 122, 123, 124, 126].

Большое количество пищевых эмульсий стабилизируется белками, которые образуют защитную пленку вокруг капель жира (например, в молочных продуктах). Эмульгаторы взаимодействуют с такими белковыми пленками по-разному, в зависимости от пропорции концентрации эмульгатора и белка на границе. При низком соотношении содержания эмуль-

гатора в сравнении с содержанием белка, может быть достигнут синергизм, что улучшает стабильность эмульсии (например, рекомбинированное молоко), в то время как высокая концентрация эмульгаторов дестабилизирует систему из-за десорбции белков с капель жира (например, мороженное и взбиваемые эмуль-

сии) [62, 117, 133].

Пищевые эмульгаторы состоят в основном из масел и жиров, глицерина и кислот, таких, как лимонная, уксусная и ряд других. Они также могут включать сорбитан, полиглицерин, пропиленгликоль.

Главные технологические свойства эмульгаторов в пищевых системах: диспергирование, в частности эмульгирование и пенообразование; солубилизация; комплексообразование с крахмалом; модификация кристаллов; изменение вязкости; смачивание и смазывание [36, 86, 115].

Основными эмульгаторами, которые используются при производстве спредов являются моно- и диглицериды (E471, E472a-472g) и фосфолипиды (E322, E442). Их применение дает возможность изменять поверхностную активность молекул на границах раздела фаз [110].

В производстве жировых эмульсионных продуктов добавки моно- и диглицеридов оказывают эмульгирующее, стабилизирующее и пластифицирующее действие. Фосфолипиды обладают способностью образовывать и поддерживать в однородном состоянии и прямые, и обратные эмульсии, это расширяет диапазон их применения от майонезов и соусов для салатов (это прямые эмульсии) до спредов и маргаринов различного жирнокислотного состава (это обратные эмульсии) [145].

В отличие от большинства других пищевых добавок препараты фосфолипидов обладают высокой физиологической эффективностью, которая связана с уменьшением количества холестерина в крови, улучшением работы печени, улучшением состояния центральной и периферической нервной систем, торможением процессов старения организма. В связи с этим использование фосфолипидов выходит за рамки решения только технических задач и дает возможность создания новых видов продуктов питания, которые оказывают на здоровье человека благотворное влияние [11].

## 1.5. Обзор современных технологических линий и оборудования для производства спредов

Спреды прочно заняли определенную долю в рационе питания населения. Технология производства этого продукта и оборудование для его получения постоянно совершенствуется. Этим занимаются и непосредственные производители продукта, и изготовители оборудования [32, 38, 40, 42, 83, 108, 98, 115].

На рисунке 1.6 представлена типовая технологическая схема производства спредов. Данная схема может быть модифицирована с учетом производственных особенностей отдельных предприятий и планируемого ассортимента продукции. Предлагаемая технология позволяет осуществлять пастеризацию готовой высокожирной смеси после внесения всех компонентов (патент Украины № 12226). В данном случае (в отличие от традиционного применяемой пастеризации высокожирной смеси в нормализационной ванне) процесс осуществляется в закрытом потоке, что снижает возможность повторного обсеменения продукта вредной микрофлорой.

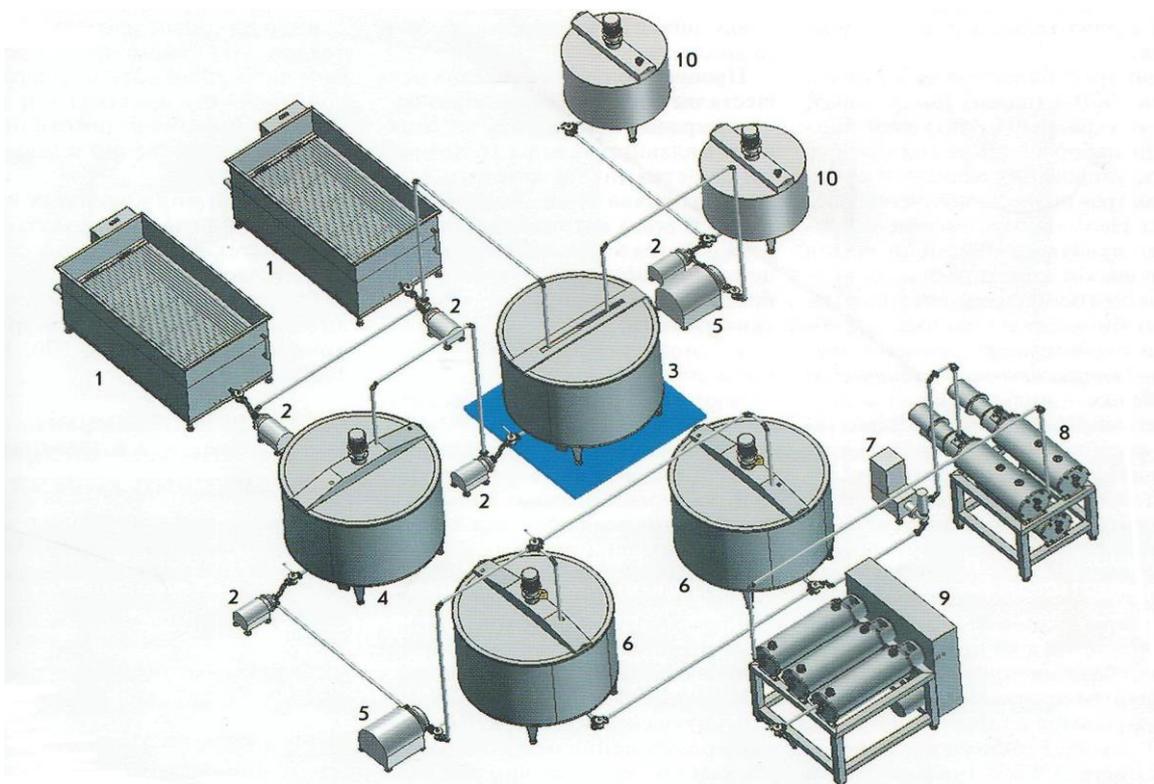


Рисунок 1.6 – Технологическая линия производства спредов

Процесс получения спредов осуществляется следующим образом. Жировые компоненты расплавляются в плавителях жира 1 с трубными решетками, по которым проходит горячая вода. Температура горячей воды автоматически поддерживается в заданных пределах с целью предотвращения пригорания продукта и изменения его химических свойств. Одновременно растворяют сухое молоко в емкостях 10 и обрабатывают смесь с помощью диспергатора 5. Расплавленный жир и восстановленное молоко перекачивают центробежным насосом 2 в емкость для взвешивания продукта 3, которая установлена на весах с тензодатчиками. В ней также взвешивают все необходимые компоненты для производства спредов. Взвешенные компоненты направляются в емкость для получения молочно-жировой эмульсии в диспергирующую емкость 4.

Емкость оснащена специальной дисковой мешалкой, которая при высокой частоте вращения позволяет получать стойкую молочно-жировую эмульсию. Для повышения дисперсности эмульсии применяют диспергатор роторного типа 5. Готовую высокожирную молочно-жировую эмульсию направляют в емкость с рамной мешалкой 6 для буферного хранения. Плунжерным насосом 7 смесь подают в теплообменник скребкового типа для высокотемпературной обработки продукта 8, и затем продукт в закрытом потоке поступает непосредственно в маслообразователь 9 [64].

Линия для производства спредов производительностью 1000 кг/ч (рисунок 1.7) состоит из плавителей жира, емкости для приготовления масложировой эмульсии, гомогенизатора, пастеризационных ванн; плунжерного насоса и маслообразователя-кристаллизатора [106].

Принцип работы: растопленные в плавителях жира компоненты поступают в емкость для приготовления масложировой эмульсии. После добавления остальных компонентов (сухое молоко и др.) смесь пропускается через гомогенизатор и направляется в пастеризационную ванну. Далее смесь проходит через маслообразователь и направляется на фасовку.

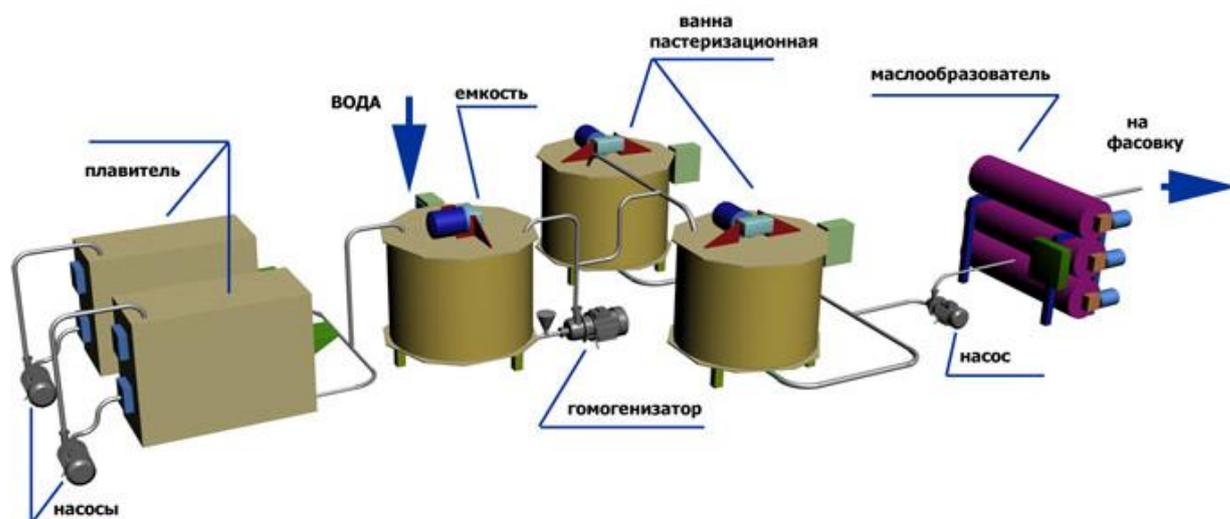


Рисунок 1.7 – Технологическая линия (оборудование) производства спредов производительностью 1000 кг/ч

На рисунке 1.8 представлена другая технологическая линия для производства спредов [107]. Она включает следующие стадии производства:

1. Приемка и сортировка сырья.
2. Подготовка компонентов. Немолочные и молочные жиры разогревают до температуры 50-65 °С в ёмкости с рубашкой или на другом оборудовании, пригодным для плавления жира.

3. Нормализация и стабилизация. Для этого используют сухое цельное или обезжиренное молоко, сухую пахту, которые предварительно растворяют в воде при температуре 45-50 °С, используя ванну с мешалкой и термостатирующей рубашкой и центробежный насос для циркулирования данной смеси до получения однородной массы. Стабилизаторы структуры вносят в высокожирную смесь в количестве 0,1-0,4 %, ароматизатор и краситель в количестве 0,01-0,1 %, перемешивают 5-10 минут.

4. Пастеризация. Полученную высокожирную смесь (эмульсию) пастеризуют в нормализационной ванне или пастеризационной установке при температуре 72 - 75 °С – 20 минут, при температуре 85-95 °С – без выдержки.

5. Преобразование высокожирной эмульсии в спред. После прохождения пастеризации полученная смесь нормализуется, и понижается ее температура до температуры 50-65 °С и направляется в маслообразователь для термомеханиче-

ской обработки. Температура продукции после маслообразователя должна быть 12-14 °С. В качестве хладагента используют ледяную воду или рассол.

#### 6. Упаковка спреда.

Перед фасованием спреда в коробочки, стаканчики, спред темперруют при температуре +15 - 18 °С, загружают в падающий бункер фасовочного оборудования.

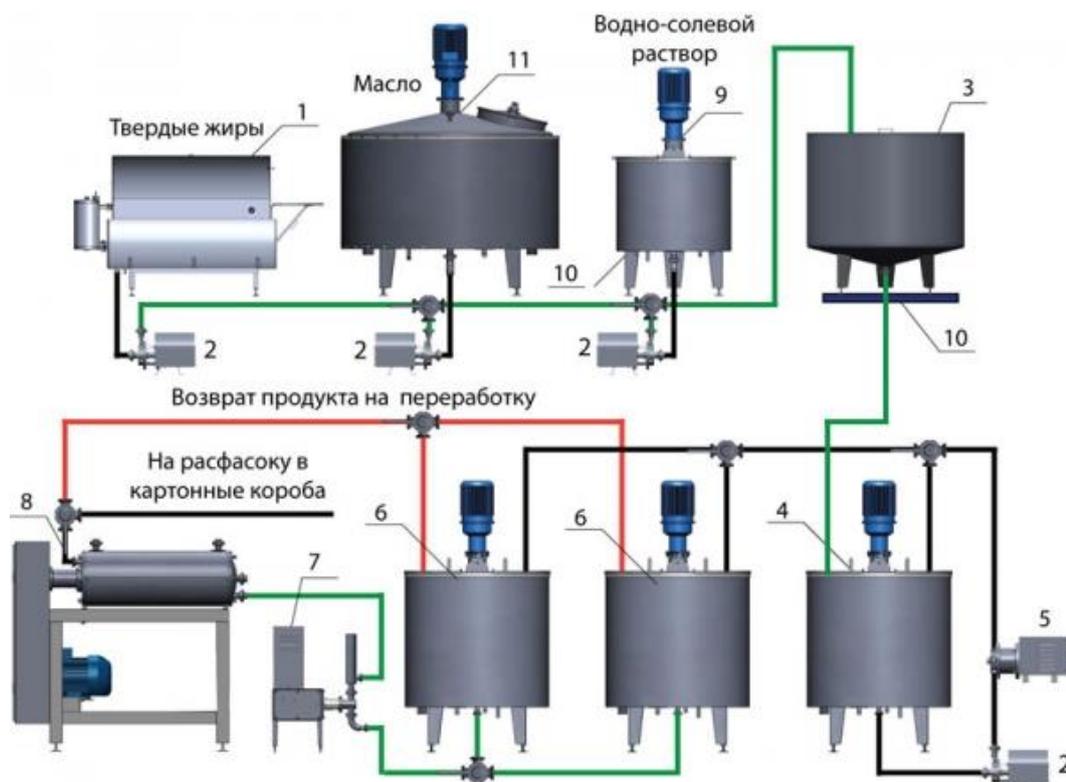


Рисунок 1.8 – Технология производства спредов

Устройство для термомеханической обработки молочно-жировой смеси при производстве комбинированного сливочного масла (спреда).

Устройство для термомеханической обработки молочно-жировой смеси (рисунок 1.9) при производстве комбинированного сливочного масла (спреда), содержащее внутреннюю ванну, змеевик, корпус на опорах и с наружной облицовкой, водяную рубашку, парораспределительную головку, патрубок для слива воды из водяной рубашки, патрубок для подачи воды в водяную рубашку, переливную трубу в водяной рубашке, патрубок для слива готового продукта, крышки, мешалку и привод мешалки, отличающееся тем, что оно снабжено мешалкой,

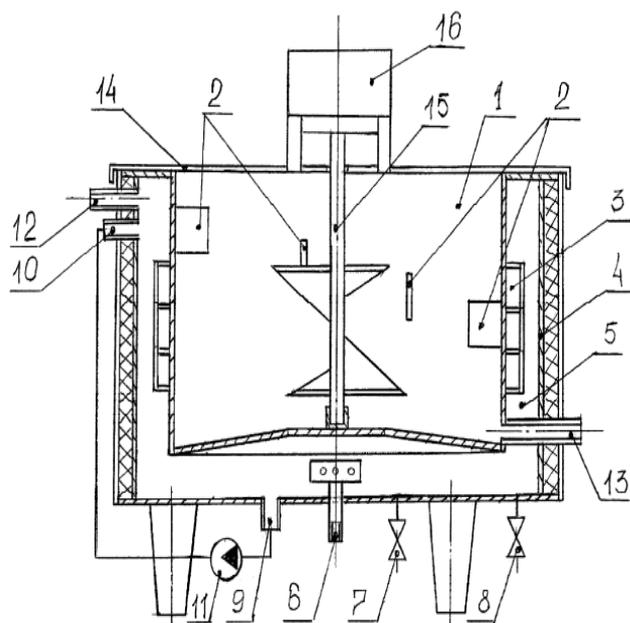


Рисунок 1.9 – Устройство для термомеханической обработки молочно-жировой смеси при производстве комбинированного сливочного масла (спреда)

консольно закрепленной к днищу внутренней ванны, а по периметру внутренней ванны установлены отбойники, образующие ветвь спирали в направлении вращения мешалки.

Устройство снабжено циркуляционным насосом, соединенным с нижним и верхним патрубками водяной рубашки [93].

Смеситель используется для пищевой, кожевенной, химической и др. отраслей промышленности, преимущественно для приготовления жидких смесей и эмульсий. Смеситель (рисунок 1.10) содержит корпус, по вертикальной оси которого установлен вращающийся подающий орган - винт, помещенный в рабочую камеру в виде цилиндрической полости с отверстиями в боковой поверхности. Камера снабжена расположенным внутри нее поршнем.

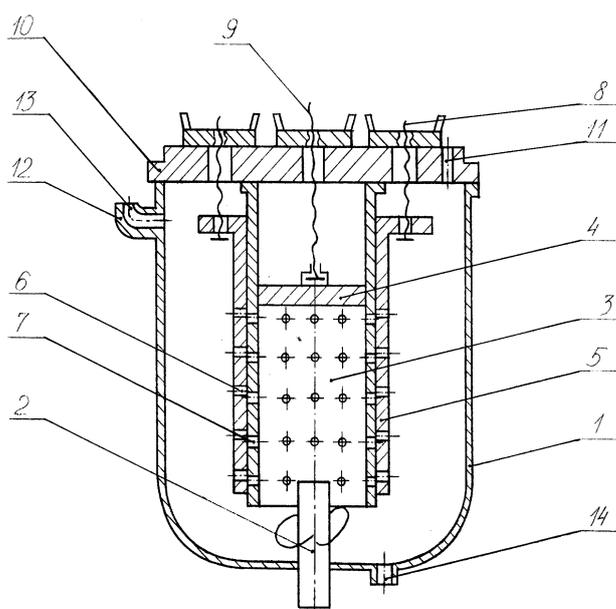


Рисунок 1.10 – Смеситель

Снаружи рабочей камеры с возможностью перемещения установлен перфорированный цилиндрический насадок. Данное устройство позволяет получать эмульсии широкого диапазона из компонентов различной степени вязкости с возможностью оперативного регулирования интенсивности процесса в зависимости от исходных параметров компонентов [75].

Смеситель работает следующим образом. При помощи винтов 8 насадок 5 перемещается относительно рабочей камеры 3. В результате этого отверстия 6 насадка 5 и отверстия 7 камеры 3 устанавливаются относительно друг друга в заданном положении. После чего винтом 9 в заданное положение устанавливается поршень 4. Через отверстие 13 в патрубке 12 загружается в полном объеме компонент, обладающий меньшей вязкостью (жидкость). Включается привод винта 2, с помощью которого компонент, перемешиваясь, поступает в полость рабочей камеры 3 до контакта с поршнем 4 и через отверстия 7 в рабочей камере 3 и отверстия 6 в насадке 5 подается в полость корпуса 1. Через отверстие 11 в крышке 10 дозированно подаются в полость между стенками корпуса 1 и насадка 5 остальные компоненты, обладающие большей вязкостью, по мере движения которых происходит их смешивание с основным компонентом и подача в рабочую камеру 3. При многократной циркуляции компонентов происходит образование эмульсии. Интенсивность перемешивания регулируется положением поршня 4. По окончании процесса готовая эмульсия через отверстие 14 удаляется из корпуса 1.



Рисунок 1.11 – Емкость РТП-1.03 для температурной обработки и перемешивания продукта

При изменении состава эмульсии заданные параметры обеспечиваются регулировкой относительного положения насадка 5 и камеры 3, а так же положением поршня 4.

По сравнению с известными устройствами данный смеситель позволяют получать: заданное количество эмульсии, определяемое объемом камеры 3, который можно регулировать положением поршня 4; эмульсию второго рода, типа "вода в масле", эмульсию заданной консистенции.

Емкость РТП-1.03 для температурной обработки и перемешивания продукта (рисунок 1.11) имеет теплообменную ру-

башку и мешалку (рамочного, ленточного либо пропеллерного типа).

Применяется при производстве сливочного масла и спредов для нормализации высокожирных сливок и получении молочно-жировой эмульсии; при производстве маргарина для получения эмульсии и ее резервирования; при производстве майонеза для эмульгирования и резервирования продукта. Вместимость, не менее 1000 л. Температура нагрева, не менее 50 °С. Установленная мощность электродвигателя, не более 2,2 кВт. Габаритные размеры: длина 1303 мм ширина 1303 мм высота 2288 мм. Масса не более 350 кг [38].

Установки приготовления эмульсий и суспензий серии УПЭС производства ИТП "ПРОМБИОФИТ" (рисунок 1.12) предназначены для приготовления эмульсий и суспензий косметического, пищевого и технического назначения и применяется в качестве технологического оборудования при производстве соусов, гелей, препаратов бытовой химии, паст, мазей, лакокрасочной продукции, эмульсий и суспензий другого назначения.



Рисунок 1.12 – Установка приготовления эмульсий и суспензий серии УПЭС

Установка представляет собой цилиндрическую рабочую ёмкость, с трубопроводным контуром с насосом-гомогенизатором и имеет пульт управления для регулировки тепловых режимов приготовления смеси. Ёмкость имеет теплообменную пароводяную рубашку и мешалку рамного типа [111, 132].

Проанализированные данные позволили сделать следующий вывод о состоянии производства спредов. Многим современным смесителям присущи следующие недоработки: большие размеры; сложность мойки, санитарной обработки и обслуживания; недостаточное механическое воздействие на продукт; высокие температуры обработки; длительное время обработки.

Таким образом, вышеприведенный обзор показывает, что некоторым аппаратам свойственны несколько сразу несколько недостатков из перечня. Современные технологические линии достаточно сложны и наделены множеством транспортных операций, увеличивающих время цикла и, как следствие, уменьшающих ее производительность.

На данный момент закономерности процесса перемешивания плохо изучены, что делает сложным создание новых перспективных конструкций и линий, позволяющих получать продукты питания высокого качества с минимальными затратами за счет рационализации процесса оптимизации транспортных и энергетических потоков, более эффективного использования потенциала теплоносителя.

#### **1.6. Анализ математических моделей процесса перемешивания в аппаратах с механическим перемешивающим устройством**

При турбулентном режиме движения продукта в аппарате с мешалкой перемешивание осуществляется благодаря турбулентной диффузии и циркуляции и описывается уравнением конвективной диффузии:

$$\frac{\partial C}{\partial \tau} + \overline{U} \frac{\partial C}{\partial x} + \overline{V} \frac{\partial C}{\partial y} + \overline{W} \frac{\partial C}{\partial z} - \frac{\partial}{\partial x} \left( D_{T_x}^n \frac{\partial C}{\partial x} \right) - \frac{\partial}{\partial y} \left( D_{T_y}^n \frac{\partial C}{\partial y} \right) - \frac{\partial}{\partial z} \left( D_{T_z}^n \frac{\partial C}{\partial z} \right) = 0 \quad (1.1)$$

где  $\tau$  – время, с;  $\overline{W}_x, \overline{W}_y, \overline{W}_z$ , – компоненты скорости в направлении осей  $x, y, z$ , м/с;  $C$  – концентрация, кг/м<sup>3</sup>;  $D_{T_x}^n, D_{T_y}^n, D_{T_z}^n$  – локальные коэффициенты турбулентной диффузии по осям  $x, y, z$ , м<sup>2</sup>/с.

Из-за трудности задания граничных условий и сложностей при вычислении, уравнения (1.1) для расчета используется ограничено. В связи с этим имеющиеся модели для описания полей концентраций и температур в аппаратах с перемешивающим устройством, используют ряд упрощающих предположений.

Первое слагаемое левой части уравнения это локальная производная концентрации, сумма следующих трех слагаемых выражает количество вещества, которое переносится за счет конвекции, сумма остальных трех слагаемых выражает количество вещества, которое переносится благодаря турбулентной диффузии.

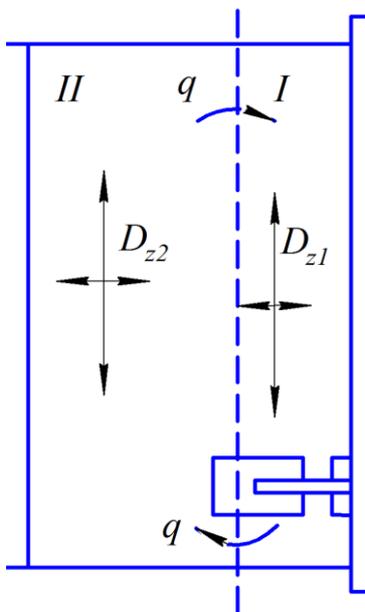


Рисунок 1.13 – Схема двухзональной диффузионно-циркуляционной модели

Математически описаны процессы перемешивания в емкостях без отражательных перегородок, с мешалкой, расположенной у дна аппарата [5]. В соответствии с этой моделью пространство аппарата рассматривалось как состоящее из двух концентрических зон (рисунок 1.13): центральной (зона I,  $0 \leq r \leq r_g$ ) и периферийной (зона II,  $r_g \leq r \leq R$ ). Перемешивание в каждой из зон осуществлялось турбулентной диффузией, а взаимодействие между ними обеспечивалось циркуляцией; через границу зон диффузия не учитывалась.

Турбулентная диффузия в окружном направлении не учитывалась, так как интенсивное тангенциальное движение жидкости провоцирует осесимметричное распределение температуры или концентраций в каждой зоне. Таким образом, насколько интенсивно протекает процесс перемешивания можно определить по скорости турбулентной диффузии и в радиальном и осевом направлениях и циркуляционным расходом жидкости между первой и второй зонами [5]. Значение радиуса  $r_g$ , на котором окружная составляющая скорости имеет наибольшее значение, берется из значений, полученных дифференцированием уравнения профиля окружной скорости в зоне  $0 \leq r \leq r_g$  [3].

Для приближенных расчетов в [4] предложен метод описания процесса распределения концентрации в оборудовании без отражательных перегородок, который основывается на применении упрощенной схемы переноса:

$$\frac{\partial C_{B1}}{\partial \tau} - \frac{q}{\pi H r_g^2} (C_{B2} - C_{B1}) = 0 \quad (1.2)$$

$$\frac{dC_{R2}}{d\tau} - \frac{q}{\pi H (R^2 - r_g^2)} (C_{B1} - C_{B2}) = 0 \quad (1.3)$$

Если ввод импульсный в зону находящуюся в центре

$$C_{B1} = \frac{F_1 + F_2}{F_1}; C_{B2} = 0 \quad \text{при } \tau = 0 \quad (1.4)$$

Решение уравнений (1.3) и (1.4) имеет следующий вид

$$C_{B2} = 1 - \exp \left[ - \frac{q \Gamma_D^4 \tau}{V_{r_g}^{-2} (\Gamma_D^2 - r_g^{-2})} \right], \quad (1.5)$$

Поскольку  $V_1 C_1 = V_2 C_2 = V$ , найдено:

$$C_{B1} = C_{B2} + \left( \frac{R^2}{r_g^2} \right) (1 - C_{B2}), \quad (1.6)$$

где  $C_{B1}$  и  $C_{B2}$  - в момент времени  $\tau$  концентрации трассера в зонах I и II:

$$C_{Б1,2} = \frac{C_{Б1,2}(\tau, z) - C_{Бн}}{C_{Бк} - C_{Бн}}, \quad (1.7)$$

где  $C_{Бн}, C_{Бк}$  - средние концентрации трассера в аппарате в момент времени  $\tau = 0$  и  $\tau = \infty$ ;  $C_{Б1,2}(\tau, z)$  - концентрация трассера в аппарате в момент времени  $\tau$ ;  $q$  - циркуляционный расход жидкости в аппарате,  $\text{м}^3/\text{с}$ ;  $F_1 = \pi r_g^2, F_2 = \pi(R^2 - r_g^2)$  - площади поперечного сечения периферийной и центральной зон,  $\text{м}^2$ ;  $R$  - радиус аппарата,  $\text{м}$ ;  $\bar{r}_g = r_g / r_m$  - относительный радиус раздела между зонами;  $V_2 = \pi(R^2 - r_g^2)H$  - объём периферийной зоны,  $\text{м}^3$ ;  $\Gamma_D$  - критерий геометрического подобия ( $\Gamma_D = D_{an}/d_m$ );  $V_1 = \pi r_g^2 H$  - объём центральной зоны,  $\text{м}^3$ .

Область использования приближенных уравнений (1.2) и (1.3) соответствует значениям  $0,8 \leq C_{Б2} \leq 0,95$  [3].

В данной модели не учитывали изменение концентраций по высоте и считали что в каждой зоне перемешивание идеально с циркуляционным обменом между ними. Также в модели не брали во внимание перемещение вещества за счет турбулентной диффузии. В процессе исследования течения жидкости в рабочей области рассматривали зоны восходящего и нисходящего потоков. Радиусом раздела зон принимался радиус  $r_g$ , окружная составляющая скорости, на котором имеет максимальное значение, а не радиус  $r_u$ , на котором осевая скорость меняет знак.

Для того чтобы описать процесс выравнивания концентраций по радиусу при малой высоте аппарата по отношению к его диаметру ( $H/D_{an} < 0,5$ ) и больших отношениях радиусов аппарата и мешалки ( $\Gamma_D > 6$ ) используют уравнения [3]:

$$\frac{\partial C_B}{\partial \tau} = 2\pi H \frac{\partial}{\partial r} \left[ D_r^n(r) r \frac{\partial C_B}{\partial r} \right], \quad (1.8)$$

где  $D_r^n(r)$  - локальный коэффициент турбулентного переноса в радиальном

направлении на радиусе  $r$ ,  $\text{м}^2/\text{с}$ ;

Это уравнение (1.8) можно использовать, если изменение концентраций в радиальном направлении больше по сравнению с остальными направлениями. В связи с этим ввод трассера в емкость с малой высотой заполнения производится импульсно в центральную зону аппарата, где концентрации выравниваются в окружном направлении практически мгновенно благодаря высокому значению окружной скорости.

Для более рационального описания процесса распределения концентраций в аппаратах без перегородок при изучении осевого перемешивания была разработана модель, которая основывается на циркуляционно-диффузионной модели (рисунок 1.13)

$$F_1 \frac{\partial C_{B1}}{\partial \tau} = -q \frac{\partial C_{B1}}{\partial z} + D_{T1} F_1 \frac{\partial^2 C_{B1}}{\partial z^2}, \quad (1.9)$$

$$F_2 \frac{\partial C_{B2}}{\partial \tau} = -q \frac{\partial C_{B2}}{\partial z} + D_{T2} F_2 \frac{\partial^2 C_{B2}}{\partial z^2}, \quad (1.10)$$

с начальными и граничными условиями

$$q(C_{B2} - C_{B1}) + D_{T1} F_1 \frac{\partial C_{B1}}{\partial z} = 0; \quad \frac{\partial C_{B2}}{\partial z} = 0 \text{ при } z = H, \quad (1.11)$$

$$q(C_{B1} - C_{B2}) + D_{T2} F_2 \frac{\partial C_{B2}}{\partial z} = 0; \quad \frac{\partial C_{B1}}{\partial z} = 0 \text{ при } z = 0, \quad (1.12)$$

$$C_{B1,2} = \delta(H - z) \text{ при } \tau = 0, \quad (1.13)$$

где  $D_{T1}$  и  $D_{T2}$  - осредненные по сечению коэффициенты турбулентной диффузии для каждой из зон,  $\text{м}^2/\text{с}$ .

В модели (1.9) – (1.10) не учитывалось варьирование коэффициента турбулентного перемешивания по высоте емкости. Этот коэффициент, который находится как произведение длины пути смешения на абсолютный градиент окружной составляющей скорости, применялся для описания диффузии в меридиональном и радиальном направлениях, что не вполне адекватно. А также из-за не-

изотропности турбулентности невозможно связывать турбулентность в осевом и радиальном направлении. Источником турбулентности считается градиент скорости, но турбулентность появляется и при обтекании лопастей мешалки, и при обтекании внутренних устройств, и при срыве потока с кромок лопасти, и т. д.

Для того чтобы экспериментально получить коэффициента турбулентной диффузии использовались подходы, основанные на исследовании дисперсии трассера или анализе кривых отклика на стандартное возмущение. Несовершенство этих подходов проявляется в физической неадекватности описания гидродинамики в аппаратах с помощью анализа распределения трассера, потому что когда вводится трассер в жидкость, ее свойства изменяются и меняется коэффициент турбулентной диффузии, и получается, что изучается уже другая среда. Также к недостаткам следует отнести то, что с помощью этих методов можно получить слишком мало информации о гидродинамике в аппарате [59].

В модели для описания полей концентраций в аппарате с отражательными перегородками его объем, как и объем аппарата без внутренних устройств представляли в виде двух зон, при этом в каждой хоне существует турбулентная диффузия. Однако в аппаратах с перегородками обмен между зонами осуществляется еще и за счет турбулентной диффузии через границу раздела зон. Радиус раздела границы зон соответствует радиусу с нулевым значением осевой скорости [120].

Еще одно отличие аппаратов с отражательными перегородками заключается в том, что все составляющие скорости и их градиенты являются величинами одного порядка [4]. Если считать поле концентраций осесимметричным, а градиент концентраций на границе раздела зон выразить в линейном приближении как:

$$\left( \frac{\partial C_B}{\partial r} \right)_{r_u} \approx \frac{C_{R1} - C_{R2}}{R/2}, \quad (1.14)$$

То процесс выравнивания концентраций будет характеризоваться уравне-

ниями [5]:

$$\frac{\partial C_{B1}}{\partial \tau} = \overline{W}_z \frac{\partial C_{B1}}{\partial \tau} - D_T \frac{\partial^2 C}{\partial z^2} - \frac{4D_T}{Rr_y} (C_{B1} - C_{B2}), \quad (1.15)$$

$$\frac{\partial C_{B2}}{\partial \tau} = \overline{W}_z \frac{\partial C_{B2}}{\partial \tau} - D_T \frac{\partial^2 C}{\partial z^2} - \frac{4D_T}{Rr_y} (C_{B1} - C_{B2}), \quad (1.16)$$

где  $r_y = 0,71R$  - радиус границы зон, м;

Если каждую часть аппарата с перегородками принять как зону идеального смешения, то математическую модель для приближенной оценки степени однородности смешения можно представить [5]:

$$\frac{\partial C_{B1}}{\partial \tau} = \frac{\overline{W}_z}{H} (C_{B2} - C_{B1}) - \frac{4D_T}{Rr_y} (C_{B1} - C_{B2}), \quad (1.17)$$

$$\frac{\partial C_{B2}}{\partial \tau} = \frac{\overline{W}_z}{H} (C_{B1} - C_{B2}) - \frac{4D_T}{Rr_y} (C_{B1} - C_{B2}) \quad (1.18)$$

Начальные условия при импульсной подаче трассера в центральную зону:

$$C_{B1} = V/V_1 = 2 \text{ и } C_{B2} = 0 \quad \text{при } \tau = 0 \quad (1.19)$$

Решение системы уравнений (1.17) и (1.18) при начальных условиях (1.19) имеет вид:

$$C_{B1} = 1 + \exp \left[ - \left( \frac{8D_T}{Rr_y} + \frac{2\overline{W}_z}{H} \right) \tau \right], \quad (1.20)$$

$$C_{B2} = 1 - \exp \left[ - \left( \frac{8D_T}{Rr_y} + \frac{2\overline{W}_z}{H} \right) \tau \right]. \quad (1.21)$$

В уравнениях (1.15) – (1.21) для описания полей концентраций в аппаратах с перегородками используется эффективный коэффициент турбулентной диффузии, определяющийся на основе внедрения осредненной скорости потока, включающей в себя все составляющие скорости.

В рассмотренных моделях перемешивание рассматривалось лишь в одном направлении. Но изменение полей концентрации происходит как в осевом, так и

в радиальном направлении. Такие потоки описываются двухпараметрической диффузионной моделью:

$$\frac{\partial C}{\partial \tau} = -\overline{W} \frac{\partial C}{\partial z} + D_z \frac{\partial^2 C}{\partial z^2} + \frac{D_r}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left( r \frac{\partial C}{\partial r} \right). \quad (1.22)$$

В этой модели учитывались эффективные коэффициенты. Математическая модель для описания скачка концентрации частиц в среде твердое тело – жидкость описывается уравнениями, которые отражают осаждения частиц, их движение с потоком и перенос за счет турбулентной диффузии. В простейшем случае:

$$\frac{\partial C_u}{\partial \tau} = (W_{oc} - \overline{W}_z) \frac{\partial C_u}{\partial z} - D_T \frac{\partial^2 C_u}{\partial z^2}, \quad (1.23)$$

где  $W_{oc}$  - скорость осаждения частиц, м/с;  $C_u$  - концентрация частиц в суспензии, кг/м<sup>3</sup>.

В работе [5] распределение частиц по высоте гладкостенного оборудования рассматривается только для периферийной зоны. При малых величинах концентрации суспензии и отсутствии радиальной неоднородности распределение концентраций взвешенных частиц по высоте аппарата описывается уравнениями однопараметрической модели:

$$C_u (W_{oc} - \overline{W}_{z2}) + D_{T2} \frac{dC_u}{dz} = 0, \quad (1.24)$$

при граничном условии:

$$C_u = C_{u0} \text{ при } z = 0, \quad (1.25)$$

Решение уравнения (1.24) имеет вид:

$$C_u / C_{u0} = \exp\left(-Pe_m \frac{z}{H}\right), \quad (1.26)$$

где  $Pe_m = (W_{oc} - \overline{W}_{z2})H / D_{T2}$  - модифицированный критерий Пекле.

Соотношение между средним значением и локальной концентрацией на

определенной высоте  $z$  имеет вид:

$$\frac{C_z}{C_{\text{ср}}} = \frac{Pe_m \exp(-Pe_m z/H)}{1 - \exp(-Pe_m)} \quad (1.27)$$

где  $C_{\text{ср}}$  - среднее значение концентрации, кг/м<sup>3</sup>.

В этой модели, кроме того, что рассматривается только периферийная зона, турбулентный перенос вещества учитывается эффективным коэффициентом турбулентной диффузии.

В рассмотренных математических моделях для расчета изменения температур или концентраций по объему аппарата используются осредненные по сечению значения коэффициента турбулентной диффузии, которые учитывают перенос вещества во всех направлениях. Также в этих моделях не учитывается то, что коэффициент турбулентной диффузии меняется по высоте аппарата, хотя из-за процессов перераспределения энергии степень неизотропности и неоднородности турбулентности и доля энергии, приходящаяся на крупные вихри, с увеличением расстояния от мешалки снижаются [57], особенно в зоне восходящего потока [1].

### **1.7. Анализ литературного обзора, формулировка цели и основных задач исследования**

Основной стадией производства сливочно-растительных спредов является перемешивание сырья. Данная стадия производства имеет низкую степень использования энергетического потенциала теплоносителя, относительно высокую продолжительность процесса и неэффективное аппаратное оформление.

При использовании высоких температур обработки могут происходить необратимые изменения в структуре продукта, снижающие его качественные показатели.

Для того чтобы интенсифицировать процесс перемешивания и

энергосбережения при перемешивании масличного сырья необходим комплексный подход, включающий важную задачу наиболее полного сохранения качества обрабатываемого продукта.

Этот методологический подход был принят при проведении исследований, разработки конструкций оборудования и способов осуществления производства сливочно-растительных спредов, сбалансированных по жирнокислотному составу.

При всем многообразии конструкций смесителей доминирующее положение занимают морально и физически устаревшие. В совокупности с существующими недостаточно эффективными способами производства, результат получается так же неэффективный.

Использование оборудования старого образца на предприятиях масложировой промышленности негативно влияет на конечный результат и способствует введению в технологический процесс дополнительных операций, ведущих к повышению финансовых затрат и снижению экономического эффекта от использования данной линии.

Экспериментальные и теоретические исследования процесса получения сливочно-растительных спредов, сбалансированных по жирнокислотному составу, при переменном теплоподводе проводились согласно общей схеме, представленной на рисунке 1.14.

**Целью работы** является 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.

На основе анализа литературного обзора, а также в соответствии с поставленной целью, сформулируем следующие **основные задачи работы**:

1. Создание и оптимизация рецептуры сливочно-растительных спредов по жирнокислотному составу.
2. Исследование реологических и теплофизических характеристик сливочно-растительных спредов, произведенных по предлагаемым 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 сливочно-растительных спредов, сбалансированных по жирнокислотному составу.
7. Расчет технико-экономической эффективности от внедрения предлагаемой технологии в производство. Выработка опытной партии продукции и проведение дегустации.

## СХЕМА ТЕОРЕТИЧЕСКИХ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПРОЦЕССА ПОЛУЧЕНИЯ СЛИВОЧНО-РАСТИТЕЛЬНЫХ СПРЕДОВ, СБАЛАНСИРОВАННЫХ ПО ЖИРНОКИСЛОТНОМУ СОСТАВУ

**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.

### Задачи исследования:

1. Создание и оптимизация рецептуры сливочно-растительных спредов по жирно-кислотному составу.
2. Исследование реологических и теплофизических характеристик сливочно-растительных спредов, произведенных по предлагаемой рецептуре.
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 сливочно-растительных спредов, сбалансированных по жирнокислотному составу.
7. Расчет технико-экономической эффективности от внедрения предлагаемой технологии в производство. Выработка опытной партии продукции и проведение дегустации.



Рисунок 1.14 – Схема теоретических и экспериментальных исследований процесса получения сливочно-растительных спредов, сбалансированных по жирнокислотному составу

## Глава 2. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СПРЕДА КАК ОБЪЕКТА ИЗУЧЕНИЯ

### 2.1. Оптимизация рецептуры

Для того чтобы снизить затраты на производство спредов необходимо решить ряд экономических задач:

1. Использование в составе продукта сырья, произрастающего в одной географической полосе для того чтобы были снижены затраты на транспортировку;
2. Комбинирование состава смеси таким образом, чтобы все его компоненты были одинаково доступны в любое время года.

Для того чтобы повысить качество продукции, необходимо решить и технологические задачи:

1. Все составляющее спреда должны находиться в балансе друг с другом;
2. Сырье должно содержать необходимое количество полезных компонентов в своем составе.

При создании рецептуры сливочно-растительных спредов руководствовались следующими критериями оптимизации:

1. Сбалансированность спреда по жирнокислотному составу;
2. Сбалансированность спреда по химическому составу;
3. Максимизация содержания всех полезных компонентов;
4. Использование сырья с оптимальным соотношением «цена : качество».

Для оптимизации рецептурных смесей сливочно-растительных спредов использовался программный комплекс «ВНИИКП» версии 5.0. Этот комплекс был создан Всероссийским научно-исследовательским институтом комбикормовой промышленности (ВНИИКП) и дает возможность произвести расчет по следующим этапам:

1. Расчет рецепта, сбалансированного по требуемым показателям каче-

ства, с минимальной стоимостью;

2. Расчет рецепта смеси, который ориентирован на имеющееся сырье потребителя;

3. Расчет необходимого количества сырья для программы производства на все периоды времени;

4. Расчет количества оставшегося и потраченного сырья;

5. Автоматизированное балансирование жирнокислотного состава сырья;

6. Оценка рыночной стоимости сырья;

7. Получение печатных форм рецепта.

Работа в программе осуществлялась следующим образом. В окне «Показатели» задаются критерии оптимизации ( $\omega$ -3 – г/т,  $\omega$ -6 – г/т), большинство параметров предустановлено. Пополнить библиотеку можно вручную.

В окно «Справочник» добавляют сырье, из которого будет изготовлен продукт. В нашем случае добавляем арахисовое масло, кукурузное масло, льняное масло, сливочное масло и эмульгатор.

Для каждого компонента задается единый перечень качественных показателей (количество влаги, витаминный состав, жирнокислотный состав, содержание холестерина и т. п.), по которым будет осуществляться расчет состава смеси.

В разделе «Нормативы» выбираются ингредиенты для производства продукта, показатели качества, на основе которых выбирается рецепт, а также максимальный и минимальный предел присутствия в рецептуре каждого из компонентов.

В окне «Рецепты» рассчитывается оптимальное соотношение компонентов с помощью введения конкретного значения параметров по показателям качества [2].

Одним из главных параметров при выработке рецептурного состава был учет органолептических характеристик.

При первичной оптимизации проявлялись противоречия между содер-

жанием некоторых ингредиентов, что требовало изменения содержания того или иного компонента смеси в оптимизированном рецепте.

В результате в программе ВНИККП v.5.0 были разработаны и оптимизированы три рецептуры спредов (таблица 2.1).

Таблица 2.1 – **Рецептурный состав**

Состав:	спред № 1, %	спред № 2, %	спред № 3, %
Масло арахисовое	6,70	13,67	13,67
Масло кукурузное	12,45	12,01	16,01
Масло льняное	20,11	13,01	9,00
Сливочное масло	60,47	61,03	61,03
Эмульгатор	0,27	0,29	0,29

## **2.2. Исследование реологических свойств сливочно-растительных спредов**

Производство жиросодержащих и других вязких продуктов сопровождается механическими и тепловыми процессами: перемешиванием, нагреванием, гомогенизацией, транспортированием продукта по трубопроводам, охлаждением, перекачиванием насосами, нагнетанием в дозирующие устройства и истечением из них. Во время всех этих процессов осуществляется в большей или меньше степени изменение дисперсной системы, и как следствие структурно-механические свойства продукта заметно меняются, что значительно воздействует на режимы работы оборудования и его энергозатраты.

Задача оптимизации, автоматизации и интенсификации технологических процессов производства жиросодержащих продуктов не может быть решена без знаний их реологических характеристик и законов, по которым происходит их изменение.

Реологические свойства сырья оказывают определяющее воздействие на протекание процесса перемешивания и влияют на качество производимой продукции. Большое влияние на реологические свойства оказывает температура из-за того, что вязкость спреда значительно зависит от температуры. Также

необходимо определить к какому классу реологических тел относятся спреды с целью применения известных реологических уравнений.

Характерной чертой многих продуктов, содержащих жир, является способность изменение их агрегатного состояния в сравнительно небольшом диапазоне температур (15 – 50 °С). При этих температурах спред находится в застывшем состоянии, в стадии плавления и в расплавленном виде. Переход из одного фазового состояния в другое сопровождается изменением эффективной вязкости и касательных напряжений жиросодержащих продуктов.

Характер изменения реологических свойств спредов определяли на структурном ротационном вискозиметре марки «Rheotest-2» (рисунок 2.1).



Рисунок 2.1 – Структурный ротационный вискозиметр «Rheotest-2»

Он используется для определения эффективной вязкости неньютоновских и ньютоновских жидкостей. С его помощью измеряются аномалии текучести: тиксотропия, пластичность, структурная вязкость, дилатация, предел текучести. «Rheotest-2» является двусистемным прибором, который оборудован соосными цилиндрическими измерительными приборами и конус-плитой. Область рабочих температур – 60...+ 150 °С, с применением предохранительной камеры можно повысить температуру до +300 °С.

Перед началом измерений проба продукта термостатировалась при необходимой температуре, после этого определяли эффективную вязкость спреда при возрастании частоты вращения рабочего цилиндра.

Порция исследуемого спреда помещалась в зазор, находящийся между выбранными цилиндрами вискозиметра. При изменении температуры проведения опыта порция продукта менялась на новую.

Привод вискозиметра позволяет устанавливать 24 частоты вращения цилиндра. В опытах использовали цилиндр, с использованием которого проводились исследования эффективной вязкости спреда при градиенте скорости от 5,4 до 145,8 с<sup>-1</sup>.

Цилиндр был выбран исходя из рекомендаций из инструкции по использованию вискозиметра с расчётом, чтобы градиентный слой располагался по всей толщине спреда, размещённого в кольцевом зазоре измерительного устройств.

Исследования спреда проводили при следующих температурах: 22, 35, 50, 65 °С. В результате экспериментов было получено, что эффективная вязкость продукта заметно уменьшается при повышении градиента скорости. При температуре продукта 22 °С и изменении градиента скорости от 5,4 до 16,2 с<sup>-1</sup>, т. е. почти в два раза, эффективная вязкость спреда, изготовленного по первой рецептуре, уменьшается от 24,45 Па·с до 47,46 Па·с.

С увеличением температуры спреда степень воздействия градиента скорости сдвига на величину касательных напряжений увеличивается. Например, при температуре 35 °С и увеличении скорости сдвига с 5,4 до 145,8 с<sup>-1</sup> касательные напряжения изменяются от 139,8 до 792,2 Па·с. При увеличении температуры спреда до 50 °С градиент скорости сдвига влияет еще более заметно на касательное напряжение: при изменении скорости сдвига с 5,4 до 145,8 с<sup>-1</sup> касательные напряжения увеличиваются от 69,9 до 559,2 Па·с (более чем в 8 раз).

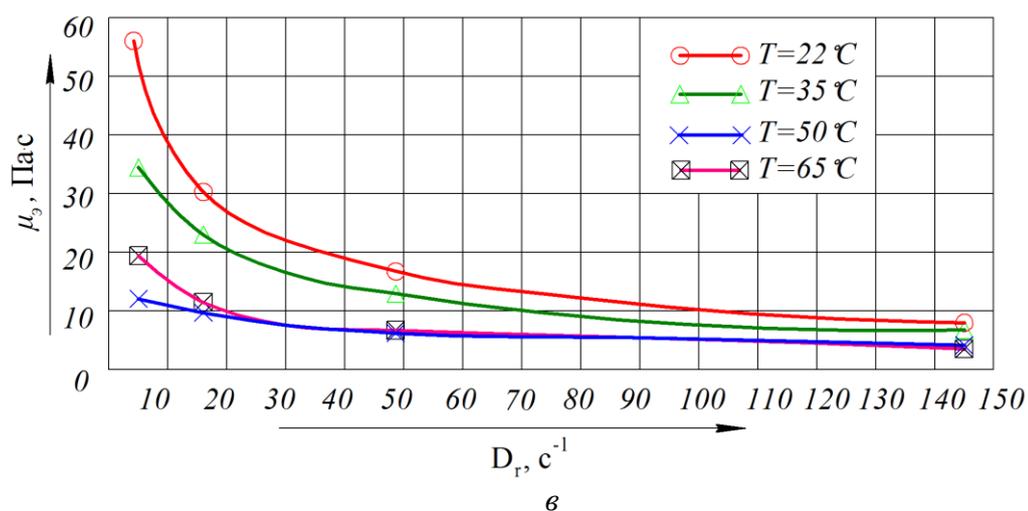
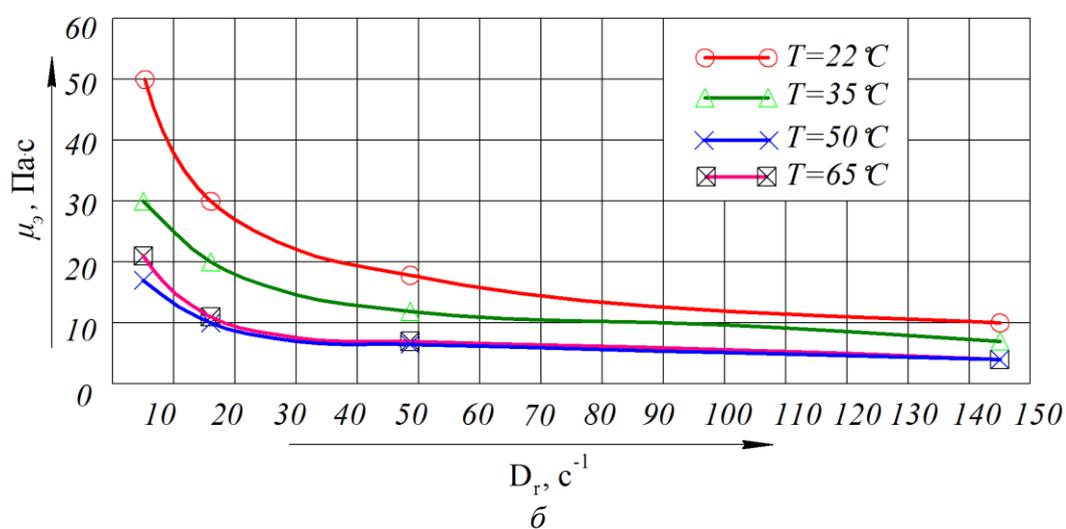
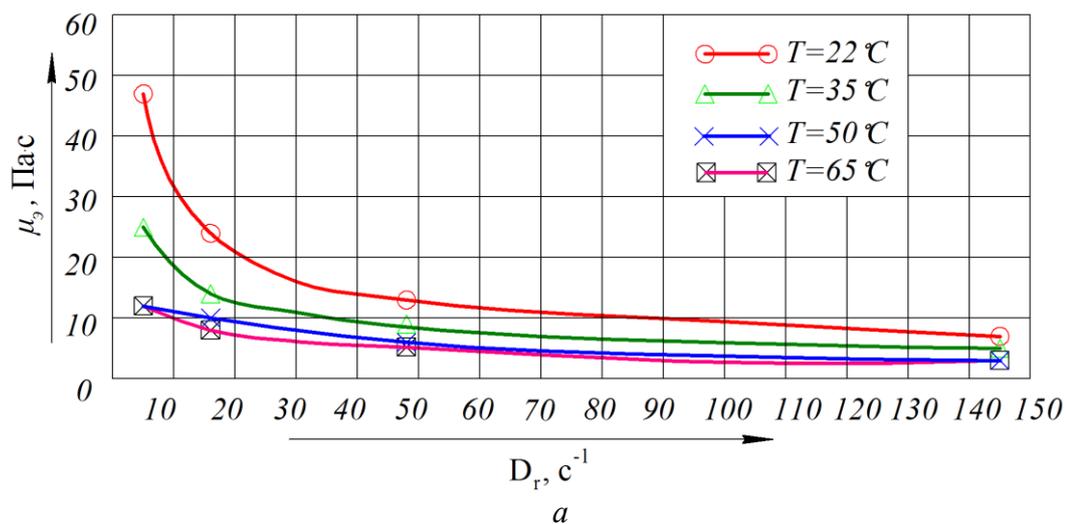


Рисунок 2.2 – Зависимость эффективной вязкости от градиента скорости сдвига:  
 а – для спреда, изготовленного по рецептуре № 1;  
 б – для спреда, изготовленного по рецептуре № 2;  
 в – для спреда, изготовленного по рецептуре № 3

На рисунке 2.3 представлены зависимости касательного напряжения от градиента скорости сдвига.

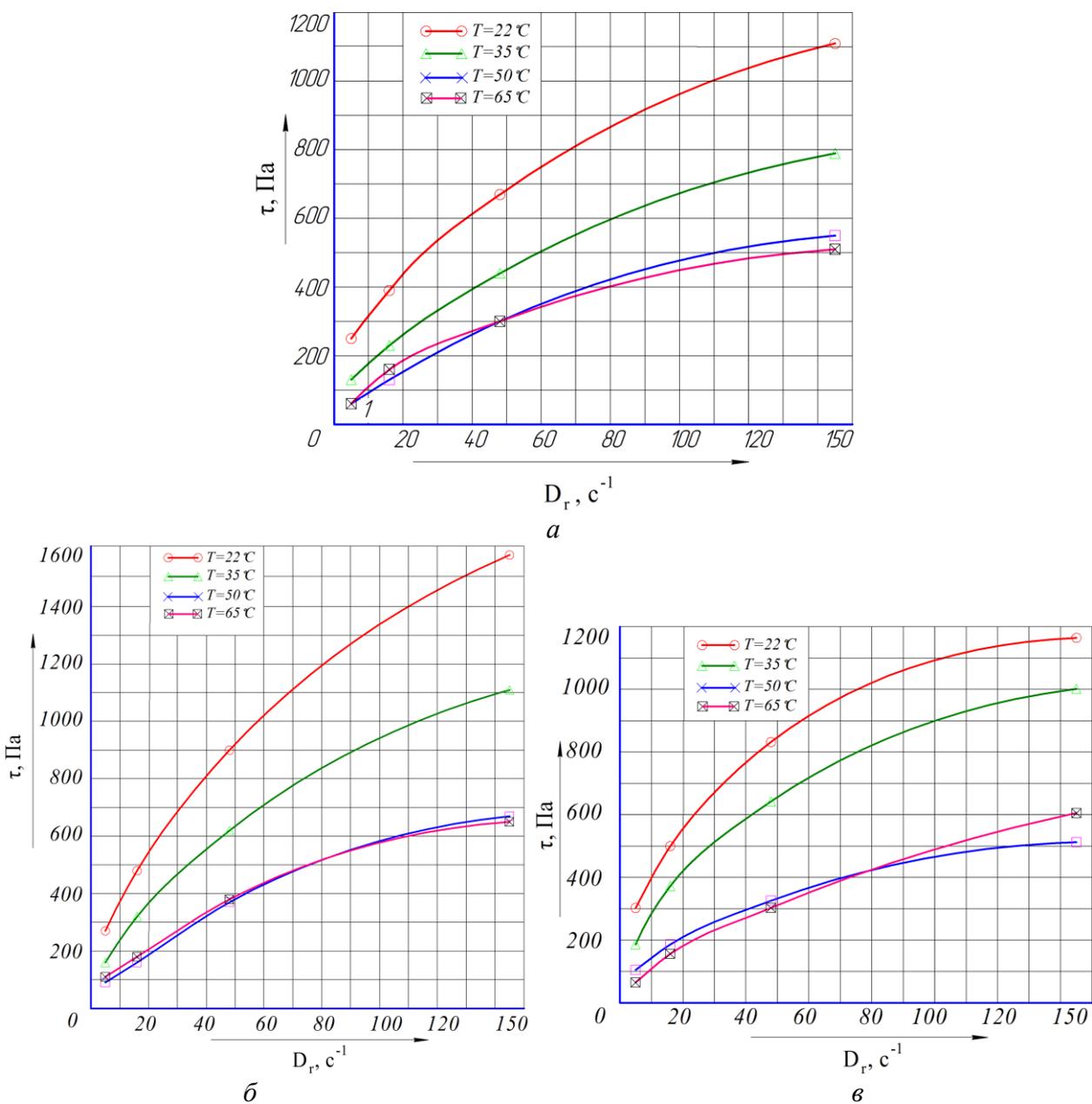


Рисунок 2.3 – График зависимости касательных напряжений от градиента скорости сдвига:  
 а - для спреда, изготовленного по рецептуре № 1;  
 б – для спреда, изготовленного по рецептуре № 2;  
 в – для спреда, изготовленного по рецептуре № 3

Характер кривых (рисунок 2.3) показывает, что исследуемая жидкость является псевдопластичной. Касательные напряжения для таких жидкостей подчиняются степенному закону реологии:

$$\tau = k \left( \frac{du}{dn} \right)^m,$$

где  $k$  и  $m$  – постоянные;  $k$  зависит от консистенции жидкости и увеличивается с ростом вязкости. Для псевдопластических жидкостей показатель степени  $m < 1$ , их вязкость становится меньше с увеличением градиента скорости  $du/dn$ . Это можно объяснить ориентированием частиц в движущейся жидкости и ослаблением взаимодействия между ними с ростом  $du/dn$  [131]. Такое поведение характерно для растворов и суспензий, которые содержат несимметричные частицы.

По результатам экспериментов (Приложение Г) с помощью компьютерной программы STATISTIKA 10.0 построены графики, представленные в приложении Г, и получены уравнения, описывающие эти зависимости.

Аналитическое описание зависимости касательного напряжения от температуры и вязкости для каждого из продуктов соответственно имеет вид:

$$\begin{aligned}\tau_1 &= 2925,3989 - 83,307 \cdot \mu - 74,5627 \cdot t + 0,9648 \cdot \mu^2 + 0,4787 \cdot \mu \cdot t + 0,5977 \cdot t^2; \\ \tau_2 &= 4905,226 - 132,2789 \cdot \mu - 127,9315 \cdot t + 1,2034 \cdot \mu^2 + 1,2109 \cdot \mu \cdot t + 0,9775 \cdot t^2, \\ \tau_3 &= 2574,2015 - 53,0633 \cdot \mu - 54,3281 \cdot t + 0,4756 \cdot \mu^2 + 0,2101 \cdot \mu \cdot t + 0,3533 \cdot t^2.\end{aligned}$$

Аналитическое описание зависимости градиента скорости сдвига от температуры и вязкости имеет вид:

$$\begin{aligned}D_{r1} &= 333,2072 - 13,8962 \cdot \mu - 5,65 \cdot t + 0,204 \cdot \mu^2 - 0,0125 \cdot \mu \cdot t + 0,0448 \cdot t^2, \\ D_{r2} &= 465,494 - 18,0082 \cdot \mu - 9,39 \cdot t + 0,2026 \cdot \mu^2 - 0,1018 \cdot \mu \cdot t + 0,0688 \cdot t^2, \\ D_{r3} &= 256,4946 - 10,601 \cdot \mu - 1,8711 \cdot t + 0,1304 \cdot \mu^2 - 0,0091 \cdot \mu \cdot t + 0,001 \cdot t^2.\end{aligned}$$

Аналитическое описание зависимости касательного напряжения от градиента скорости сдвига и вязкости имеет вид:

$$\begin{aligned}\tau_1 &= 0,3157 - 0,0361 \cdot \mu - 0,0089 \cdot D_r + 0,0005 \cdot \mu^2 + 1,0013 \cdot \mu \cdot D_r, \\ \tau_2 &= -0,4414 + 0,0349 \cdot \mu - 0,0172 \cdot D_r + 0,0004 \cdot \mu^2 + 0,9988 \cdot \mu \cdot D_r, \\ \tau_3 &= 1,0703 - 0,0858 \cdot \mu - 0,068 \cdot D_r + 0,0009 \cdot \mu^2 + 1,004 \cdot \mu \cdot D_r.\end{aligned}$$

Уменьшение эффективной вязкости при возрастании скорости сдвига происходит из-за высокой хаотичности местоположения частиц в стационарной среде и быстрой ориентацией их в направлении течения при нарастающих сдвигающих усилиях [72].

Данные полученные в результате этих экспериментов позволяют решать вопросы интенсификации гидромеханических и тепловых процессов при производстве сливочно-растительных спредов, выбирая такую частоту вращения перемешивающих устройств, с помощью которой будет максимально сохранена его структура.

В результате анализа данных проведенных исследований реологических свойств спреда было получено, что влияние градиента скорости сдвига на эффективную вязкость спреда снижается при увеличении его температуры. Это прослеживается, когда спред имеет температуру 50-65 °С, и объясняется тем, что при высоких температурах структурная сетка спреда ослаблена.

### 2.3 Исследование динамической вязкости сырья и готового продукта

Вязкость оказывает существенное влияние на гидродинамические и тепловые процессы, происходящие при их обработке [129]. Исследования динамической вязкости проводились на вибровискозиметре серии SV (рисунок 2.4), принцип работы которого основан на использование метода камерной вибрации, принципиальным отличием которого от широко применяемых сегодня ротационных вискозиметров является возможность непрерывно измерять динамическую вязкость в широких диапазонах без замены сенсорных пластин.



Рисунок 2.4 – Вибровискозиметр SV-10

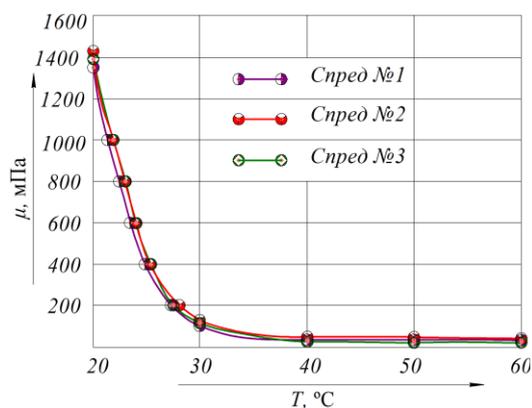


Рисунок 2.5 – Динамическая вязкость спредов в зависимости от температуры

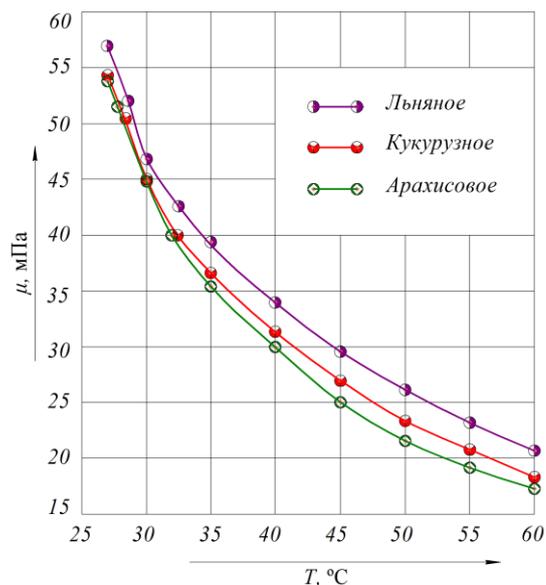


Рисунок 2.6 – Динамическая вязкость растительных масел в зависимости от температуры

Из рисунка 2.5 видно, что динамическая вязкость спредов существенно зависит от температуры. Значения, полученные для разных рецептов, различны из-за разницы в купажах добавляемых растительных масел, но, тем не менее, имеют близкие значения (Приложение Г).

Проведены исследования динамической вязкости растительных масел холодного отжима, которые используются при производстве спредов, сбалансированных по жирнокислотному составу. Полученные данные представлены в зависимости от температуры (рисунок 2.6).

Характер кривых показывает, что вязкость распределена в степенной зависимости вида  $y = Ax^n$ .

В редакторе Mathcad методом наименьших квадратов были найдены коэффициенты уравнений описывающих эти кривые.

$$\text{Для льняного масла: } \mu = 2,658 \cdot 10^3 T^{-1,184}.$$

$$\text{Для кукурузного масла: } \mu = 4,112 \cdot 10^3 T^{-1,322}.$$

$$\text{Для арахисового масла: } \mu = 6,164 \cdot 10^3 T^{-1,445}.$$

## 2.4. Определение теплофизических характеристик сливочно-растительных спредов

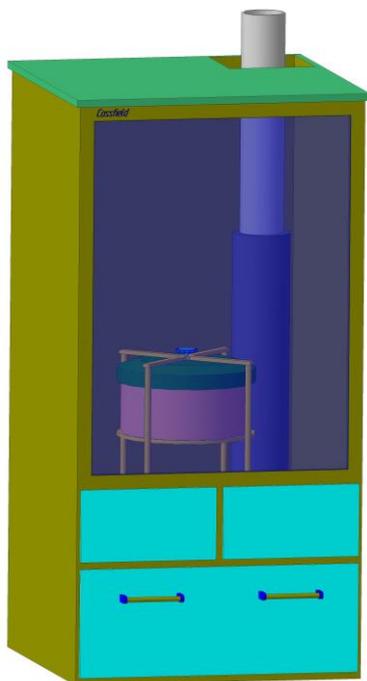


Рисунок 2.7 – Измерительная установка для определения теплофизических характеристик спредов «Cossfield RT-1394H»

Процесс перемещения влаги и теплоты внутри продукта, а также его научное обоснование определяются теплофизическими характеристиками (коэффициентом теплопроводности  $\lambda$ , Вт/(м·К), коэффициентом температуропроводности  $a$ , м<sup>2</sup>/с, удельной теплоемкости  $c$ , Дж/(кг·К)) обрабатываемого спреда.

Для рациональной организации процесса перемешивания необходимо знать характер изменения теплофизических характеристик. Исследования проводили на измерительной установке «Cossfield RT-1394H» (рисунок 2.7).

Результаты экспериментов по определению теплофизических свойств исследуемых спредов для исследуемого диапазона температур приведены в таблицах 2.2 и 2.3.

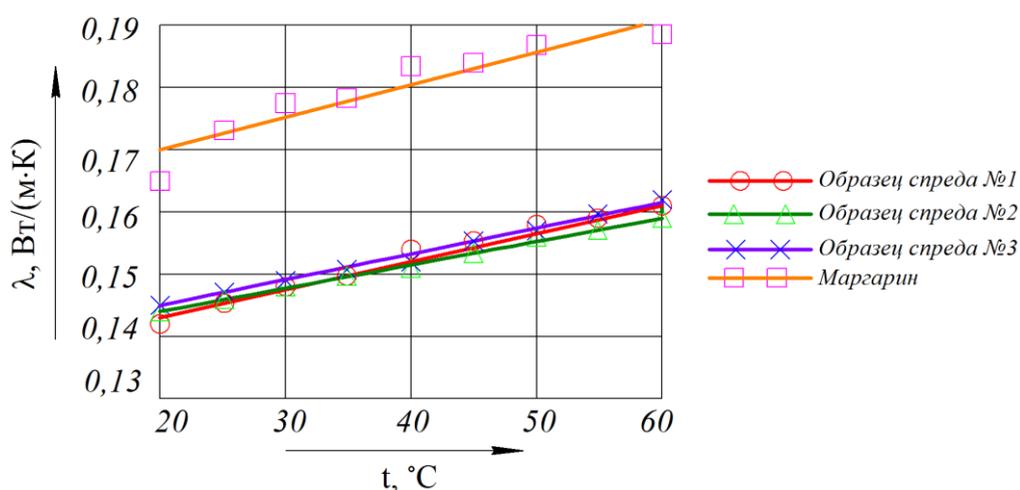


Рисунок 2.8 – Зависимость коэффициента теплопроводности образцов спреда и маргарина от температуры

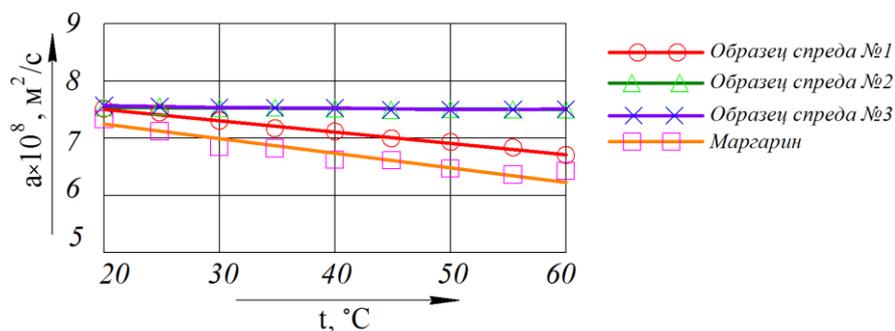


Рисунок 2.9 – Зависимость коэффициента температуропроводности образцов спреда от температуры

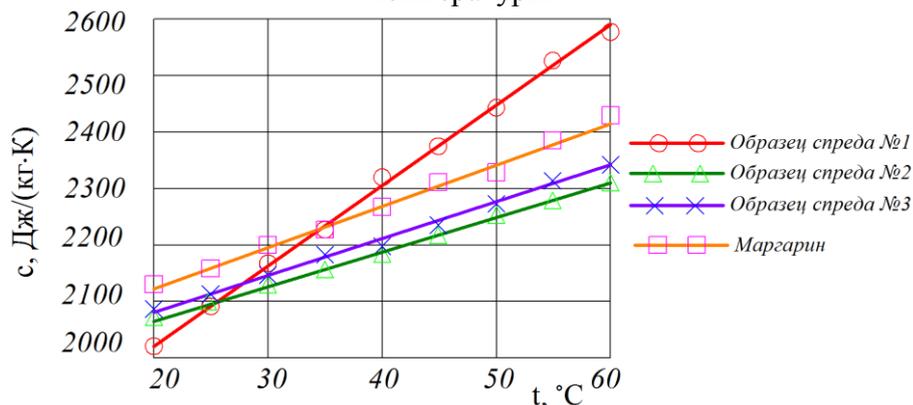


Рисунок 2.10 – Зависимость удельной теплоемкости образцов спреда и маргарина от температуры

Таблица 2.2 – Теплофизические характеристики исследуемых образцов спреда

Температура, °C	Образцы спреда		
	№1	№ 2	№3
	Коэффициент температуропроводности, $a \times 10^8 \text{ м}^2/\text{с}$		
1	2	3	4
20	7,52 ± 0,04	7,54 ± 0,02	7,55 ± 0,04
30	7,31 ± 0,02	7,53 ± 0,02	7,54 ± 0,04
40	7,12 ± 0,02	7,52 ± 0,02	7,53 ± 0,02
50	6,94 ± 0,04	7,51 ± 0,02	7,50 ± 0,04
60	6,71 ± 0,04	7,50 ± 0,04	7,51 ± 0,02
	Коэффициент теплопроводности $\lambda$ , Вт/(м·К)		
20	0,142 ± 0,002	0,144 ± 0,004	0,145 ± 0,002
1	2	3	4
30	0,148 ± 0,002	0,148 ± 0,002	0,149 ± 0,004
40	0,154 ± 0,002	0,151 ± 0,002	0,152 ± 0,004
50	0,158 ± 0,002	0,156 ± 0,002	0,157 ± 0,002
60	0,161 ± 0,002	0,159 ± 0,004	0,162 ± 0,004
	Массовая удельная теплоемкость $c$ , Дж/(кг·К)		
20	2021,15 ± 0,04	2072,51 ± 0,15	2087,08 ± 0,15
30	2168,17 ± 0,05	2130,72 ± 0,15	2147,93 ± 0,15
40	2320,21 ± 0,04	2184,02 ± 0,10	2198,75 ± 0,15
50	2443,78 ± 0,04	2253,21 ± 0,15	2273,15 ± 0,15
60	2577,73 ± 0,05	2310,52 ± 0,10	2342,78 ± 0,10

Таблица 2.3 - Плотность исследуемых образцов спреда

Показатель	Образцы спреда		
	№ 1	№ 2	№ 3
Плотность, кг/м <sup>3</sup>	932,5	923,5	919,7

Значения, полученные в результате эксперимента, были сопоставлены графически с литературными данными [15]. В качестве объекта сравнения был взят маргарин, т. к. он имеет химический состав наиболее близкий к спреду [71].

Обработка информации, полученной в результате измерений, осуществлялась с помощью виртуального прибора, разработанного в LabView 7.0.

Теплофизические характеристики спреда и маргарина имеют близкие значения но, тем не менее, различие существенно. Это обусловлено тем, что при производстве маргарина были использованы гидрогенизированные жиры, а при производстве спредов жидкие растительные масла, делающие его более мягким при комнатной температуре, а также в его составе присутствует эмульгатор, с помощью которого была связана часть влаги. Зависимость теплофизических свойств от температуры (рисунки 2.8, 2.9, 2.10) носит линейный характер.

В результате исследований было получено, что с увеличением температуры удельная теплоемкость и коэффициент теплопроводности увеличиваются. Из этого следует вывод, что по мере повышения температуры увеличивается способность спреда проводить теплоту.

Коэффициент температуропроводности исследуемого продукта по мере повышения температуры уменьшается, из этого следует, что увеличение температуры единицы объема спреда в результате притока тепла становится меньше с повышением температуры.

Полученные данные теплофизических свойств спредов, сбалансированных по жирнокислотному составу, позволяет использовать их в дальнейшей разработке математической модели процесса производства этого продукта.

Методика и результаты экспериментального определения теплофизических характеристик спреда представлены в протоколах проведения опытов (Приложение Д).

### Глава 3. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ КИНЕТИКИ ПРОЦЕССА ПЕРЕМЕШИВАНИЯ СПРЕДОВ ПРИ ПЕРЕМЕННОМ ТЕПЛОПОВОДЕ

#### 3.1. Экспериментальная установка и методика проведения исследований

Исследования процесса перемешивания спредов при переменном тепलोотводе проводились на экспериментальной установке, состоящей из: шкафа управления 1; станины 2; привода мешалки 3; мешалки 4; емкости для перемешивания 5; термостата 6; частотного преобразователя 7 (рисунок 3.1).

Емкость 5 имеет форму цилиндра высотой 230 мм и диаметром 80 мм и оснащена водяной рубашкой для осуществления теплоподвода. В качестве теплоносителя использовалась вода. Емкость оснащена крышкой, в которой имеется отверстие для ввода термопары для измерения температуры продукта.



Рисунок 3.1 – Экспериментальная установка для производства спредов:  
1 – шкаф управления; 2 – станина; 3 – привод мешалки; 4 – мешалка;  
5 – емкость для смешивания; 6 – термостат; 7 – частотный преобразователь

Водяная рубашка одним контуром соединена с термостатом 6, дающим возможность нагревания продукта, и с проточной водопроводной водой, позволяющей охлаждать до нужной температуры.



Рисунок 3.2 – Мешалка рамно-ленточная

Установка оснащена мешалкой 4 (рисунок 3.2), имеющей комбинированную конструкцию. Она состоит из двух лент с противоположным углом наклона винтовой линии и рамы. Диаметр окружности описываемой лентами равен 55 мм, высота рамы 90 мм, ширина рамы 72 мм. Диаметр вала мешалки равен 10 мм.

Привод мешалки состоит из электродвигателя АИР 56 В4 0.18/1500 IM 2081 и редуктора NMRW040-10/63B5 (передаточное число редуктора 10).

Установка оснащена шкафом управления, который содержит два двухканальных измерительных прибора ОВЕН ТРМ 200, к которым подключены четыре датчика температуры, данные подаются на табло находящееся с наружной стороны шкафа. Внутри находится частотный преобразователь Hyundai N700E-004SF. Предел регулирования частоты вращения данного частотного преобразователя от 1 до 60 Гц.

Смеситель находится на станине 2, правая часть которой (с закрепленной емкостью) дает возможность снимать емкость, выгружать продукт и осуществлять ее мойку.

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

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 %.

Все масла и эмульгатор взвешивались и направлялись в емкость для перемешивания, где они термостатировались при температуре 60 °С, до расплавления сливочного масла 20 - 25 мин. Температура в рубашке поддерживалась термостатом 6.

После термостатирования включали мешалку, устанавливали частоту вращения 150 мин<sup>-1</sup> и перемешивали масла при температуре 65 °С до получения однородной структуры. Оптимальное время перемешивания было выбрано с помощью безразмерной концентрации трассера и составило от 4 до 5 мин.

После получения однородной структуры горячий контур перекрывался и включали холодный контур с проточной водой. После достижения продуктом 30 °С начинается процесс кристаллизации продукта. Время процесса кристаллизации определялось безразмерной концентрацией ключевого компонента и температурой продукта. Оптимальное время кристаллизации составило от 12 до 14 мин, в зависимости от рецептуры.

Частоту вращения мешалки в процессе кристаллизации устанавливали 15 мин<sup>-1</sup>, что предотвращало налипание продукта на стенки аппарата, но и в свою очередь не препятствовало охлаждению продукта.

После кристаллизации спреда емкость снималась вертикально вниз, вместе с частью станины и производилась выгрузка продукта, мойка и дезинфекция оборудования.

Для проверки достоверности результатов часть опытов проводилась не один раз. Надежность работы смесителя подтверждена полученными результатами, представленными в приложении.

### 3.2. Обоснование выбора конструкции мешалки

Выбор оборудования с перемешивающими устройствами и их конструктивные особенности определяются характером процесса, производительностью технологической линии, свойствами перемешиваемой среды, технологическими режимами, при которых осуществляется процесс. Такое количество факторов, влияющих на выбор конструкции, затрудняет задачу оптимального проектирования аппарата.

По методике, предложенной С. В. Карпушкиным [49], произведен выбор механической мешалки для осуществления процессов ламинарного и турбулентного перемешивания эмульсий вода в масле. Для того чтобы обосновать такой выбор необходимо провести расчёт затрат мощности на перемешивание; определить диаметр вала перемешивающего устройства и проверить условия его виброустойчивости, жёсткости и прочности; проверить пригодность теплообменного устройства; рассчитать показатели эффективности перемешивания [49]. Т. к. по ходу реализации процесса производства спредов режим перемешивания может измениться, то возможными типами мешалок являются якорная и рамная [49, 101].

Протокол расчётов времени гомогенизации перемешиваемой среды, затрат мощности на перемешивание в этом аппарате, механических расчётов вала перемешивающего устройства, и теплового расчёта для рамной и якорной мешалок с помощью системы инженерных расчётов MathCAD приведён в приложении И. На рисунке 3.3 представлены основные результаты расчётов.

Коэффициент увеличения мощности и для якорной и для рамной мешалок составил  $K = 12,5$ ; поперечная гидродинамическая сила, действующая на мешалки -  $Q_m = 1,43$  Н; динамическое смещение вала в опасном по жесткости сечении для обеих мешалок -  $A_{Qz1} = 4,3 \cdot 10^{-5}$  м; динамическое смещение центра масс мешалок -  $A_{II} = 3,456 \cdot 10^{-4}$  м; сосредоточенная центробежная сила, дей-

ствующая на мешалки: для якорной –  $F_1 = 0,281$  Н, для рамной -  $F_1 = 0,423$  Н.

Полученные расчетные характеристики для рамной и якорных имеют близкие значений за исключение диаметра вала мешалки, скорости восходящего потока жидкости и критерия Пекле. Несмотря на большую массу рамной мешалки скорость восходящего потока жидкости в 24 раза больше, поэтому выбираем ее как оптимальный вариант для осуществления турбулентного перемешивания эмульсии ввода в жире.

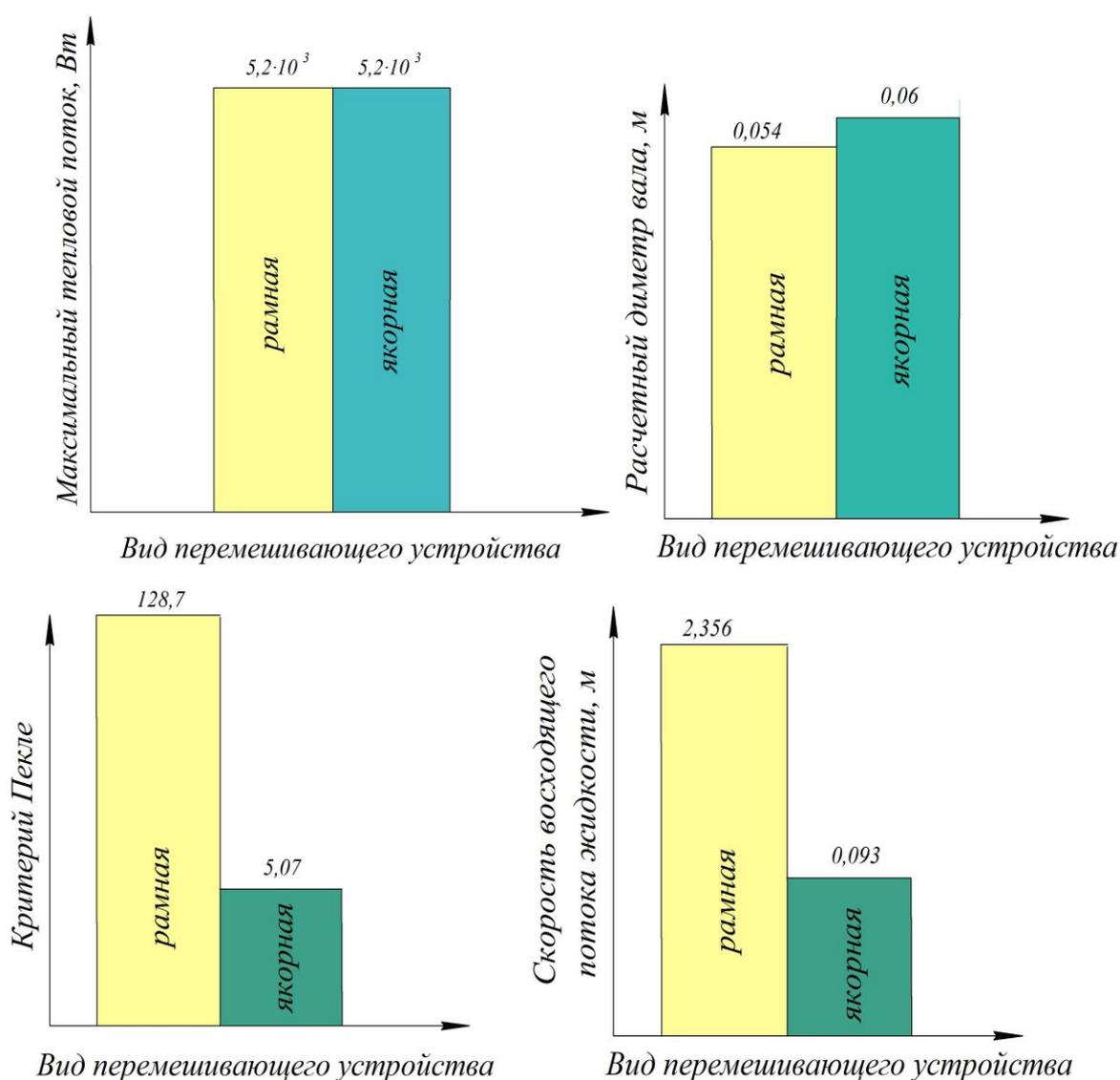


Рисунок 3.3 – Эффективность турбулентного перемешивания эмульсии мешалками различных типов

Протокол расчета ламинарного режима перемешивания мешалками трех типов (рамная, ленточная, шнековая) приведен в приложении И, основные результаты расчет приведены на рисунке 3.4.

При переходном и ламинарном режиме перемешивания основным параметром качества реализации процесса является время гомогенизации, при известной степени неоднородности перемешиваемой среды.

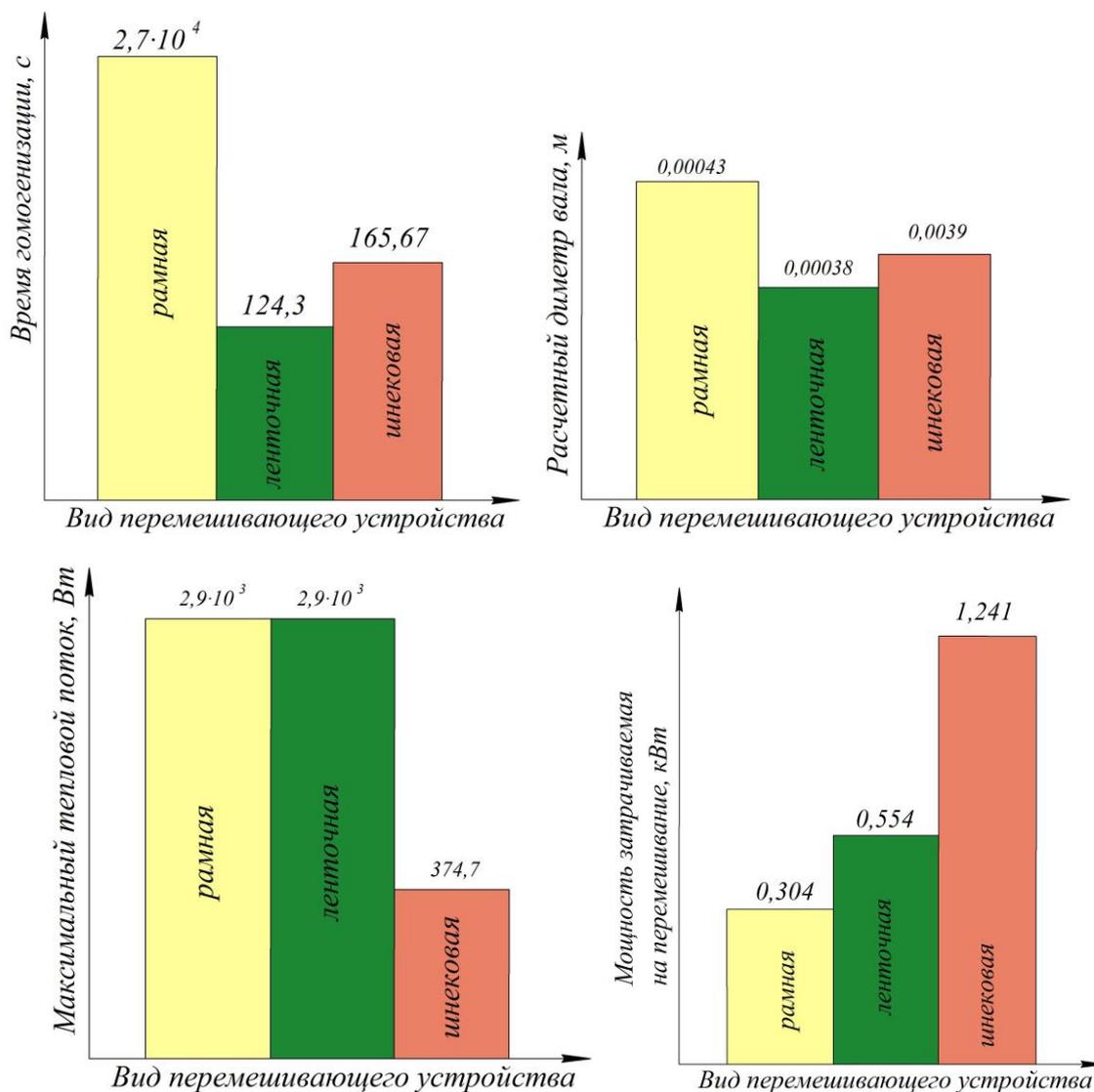


Рисунок 3.4 – Эффективность ламинарного перемешивания эмульсии мешалками различных типов

Расчетная масса мешалок составила соответственно для рамной, ленточной шнековой: 3,3; 2,0; 2,3 кг. Смещение осей валов от оси вращения за

счет динамического прогиба в опасном по жесткости сечении:  $Y_{z1} = 1,03 \cdot 10^{-8}$  м,  $Y_{z2} = 1,55 \cdot 10^{-8}$  м,  $Y_{z3} = 7,6 \cdot 10^{-8}$  м. Динамическое смещение центра масс мешалок для всех трех составило:  $A_1 = 8,695 \cdot 10^{-4}$  м.

Согласно результатам расчётов требуемый тепловой поток ( $2,77 \cdot 10^3$  Вт), обеспечиваемый рубашкой рассматриваемого аппарата, способны обеспечить рамная и ленточная мешалки, но время гомогенизации ленточной мешалкой намного меньше. Из рисунка 3.4 видно, что наиболее оправдано использование мешалки ленточного типа, однако это делает необходимым применения более мощного мотор-редуктора, и как следствие увеличение удельных энергозатрат на выпуск продукции.

В нашем случае было принято решение использовать рамно-ленточную мешалку, ввиду того что необходимо осуществление в одном емкостном аппарате двух режимов перемешивания. Спред является достаточно вязким продуктом, поэтому размещаем на одном валу раму и две ленты с противоположным углом наклона винтовой линии. Таким образом, использование комбинированной конструкции позволяет получить наиболее рациональное использование мощности затрачиваемой на перемешивание, более равномерное распределение продукта за меньший промежуток времени, чем при использовании любого вида простой мешалки. Также учитывается изменение агрегатного состояния продукта в процессе перемешивания.

### **3.3. Исследование гидродинамики процесса перемешивания спредов**

Основным аспектом процесса производства качественных спредов, является правильный подбор технологических параметров процесса. Главным параметром, в наибольшей степени влияющим на качество готовой продукции, является температура перемешивания. Использование водяной рубашки позволяет поддерживать требуемую температуру продукта, в малой степени, ока-

зывая влияние на разложение полезных компонентов, таких как витамины, полиненасыщенные жирные кислоты.

При температуре выше 200 °С происходит не только снижение биологической ценности жиров вследствие разрушения витаминов и фосфатидов, а также частичной потери полиненасыщенных жирных кислот, но и разложение жира с образованием ряда жидких и газообразных веществ, обладающих раздражающим действием на слизистую оболочку желудочно-кишечного тракта. Регулирование температуры также влияет на формирование структуры продукта.

Мощность  $N$ , расходуемая на перемешивание, подразумевает под собой энергию, которая передается перемешиваемой жидкости в единицу времени с помощью мешалки и которая затрачивается на образование вихрей в жидкости. В конечном расчете эта энергия преобразуется в теплоту [14].

Мощность, расходуемая на перемешивание при различных числах оборотов мешалки, была измерена с помощью вольтамперфазометра ПАРМА ВАФ-А (рисунок 3.5) (Приложение А).



Рисунок 3.5 – Вольтамперфазометр ПАРМА ВАФ-А

Режим движения является одним из основных показателей, характеризующих интенсивность перемешивания. Критерий Рейнольдса является критерием подобия, определяющим режим движения жидкости и рассчитывается по следующей формуле:

$$\text{Re}_m = \frac{nd^2\rho}{\mu}, \quad (3.1)$$

где  $n$  – частота вращения рабочего органа мешалки,  $\text{с}^{-1}$ ;  $d$  – диаметр мешалки, м;  $\rho$  и  $\mu$  – соответственно плотность,  $\text{кг/м}^3$ , и вязкость продукта,  $\text{Па}\cdot\text{с}$ .

При перемешивании может быть два режима перемешивания: турбулент-

ный и ламинарный. Ламинарный соответствует неинтенсивному перемешиванию. При ламинарном режиме осуществляется перемешивание только тех слоев жидкости, которые непосредственно прилегают к лопастям мешалки, ему соответствуют  $Re < 30$ .

При  $Re > 100$  проявляется турбулентный режим перемешивания, характеризующийся менее резкой зависимостью критерия мощности от  $Re$ . Увеличение турбулентности системы, которое достигается при перемешивании, приводит к снижению толщины пограничного слоя, увеличению и непрерывному обновлению поверхности взаимодействующих фаз. Это вызывает существенное ускорение процессов теплообмена.

Расчитаны критерии Рейнольдса и Эйлера (Приложение А). Построена зависимость при различных температурах перемешивания (рисунки 3.6 - 3.8).

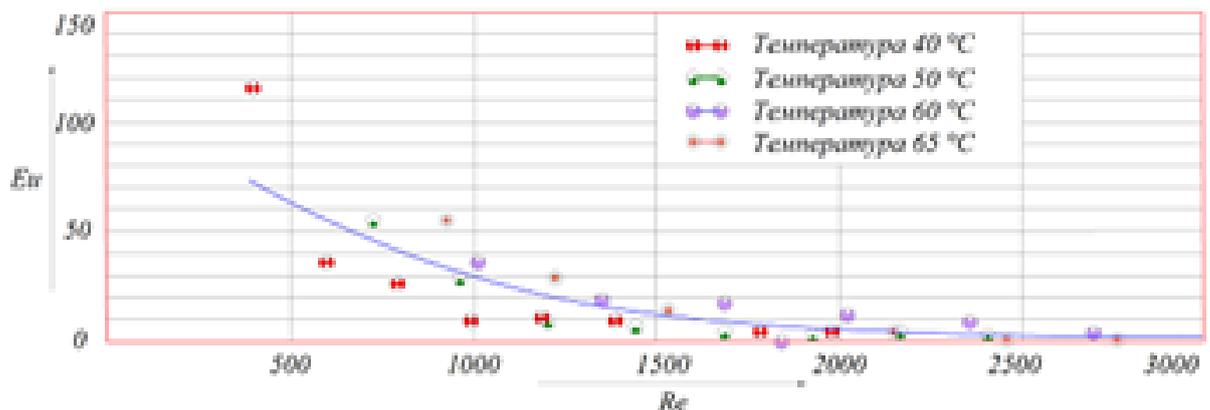


Рисунок 3.6 – Характеристика мощности мешалки по данным полученным для первой рецептуры

Уравнение гидродинамики для процессов перемешивания имеет вид:

$$K_v = E_v = A Re^m \quad (3.2)$$

Значения коэффициента  $A$  и показатель степени  $m$  определяют из опыта. Методом наименьших квадратов в программном комплексе **Mathcad 15** были найдены коэффициенты уравнений, описывающих эти кривые.

Для первого продукта была проведена усредненная кривая, описывающая зависимость критерия мощности от критерия Рейнольдса (рисунок 3.6) ей со-

ответствует следующее уравнение:

$$K_{\text{вн}} = 9,258 \cdot 10^4 \cdot Re^{-1,22} \quad (3.3)$$

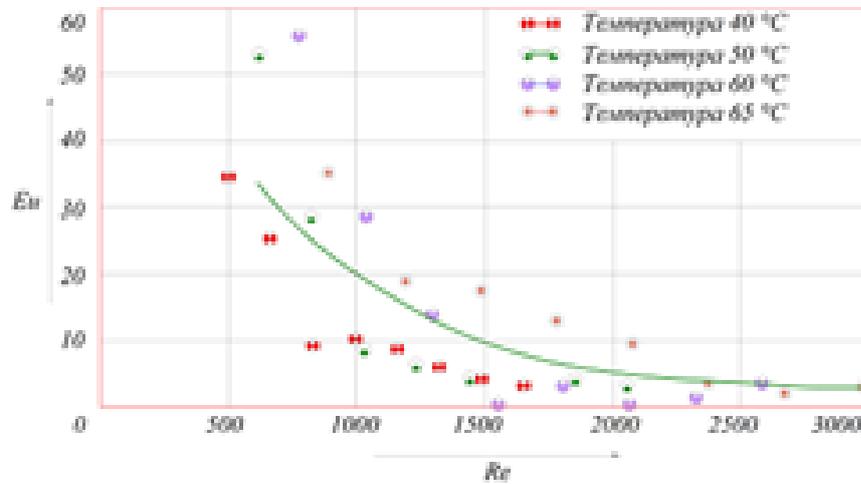


Рисунок 3.7 – Характеристика мощности мешалки по данным полученным для второй рецептуры

Аналитическое уравнение, описывающее характер усредненной кривой (рисунок 3.7) для второго продукта, имеет вид:

$$K_{\text{вн}} = 2,416 \cdot 10^4 \cdot Re^{-1,21} \quad (3.4)$$

Уравнение гидродинамики для третьего продукта по усредненной кривой (рисунок 3.8) имеет вид:

$$K_{\text{вн}} = 1,444 \cdot 10^4 \cdot Re^{-2,22} \quad (3.5)$$

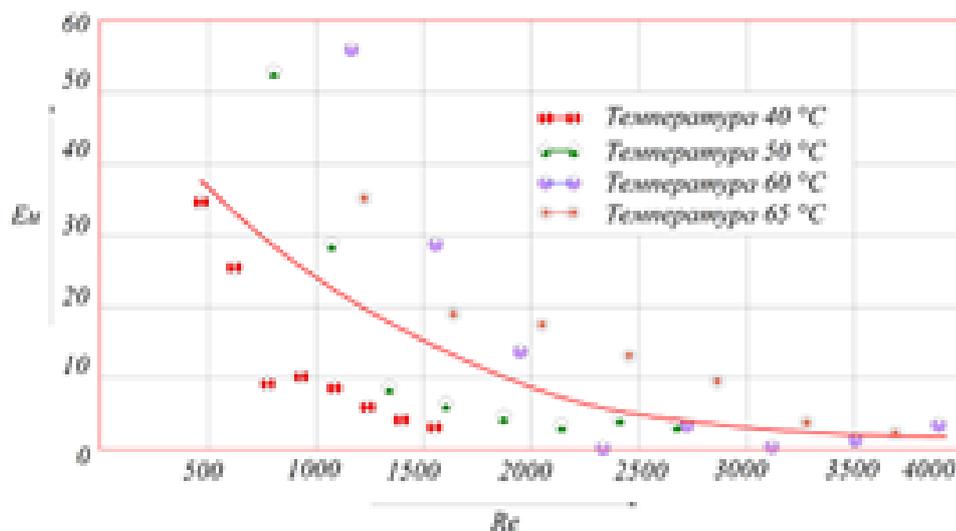


Рисунок 3.8 – Характеристика мощности мешалки по данным полученным для третьей рецептуры

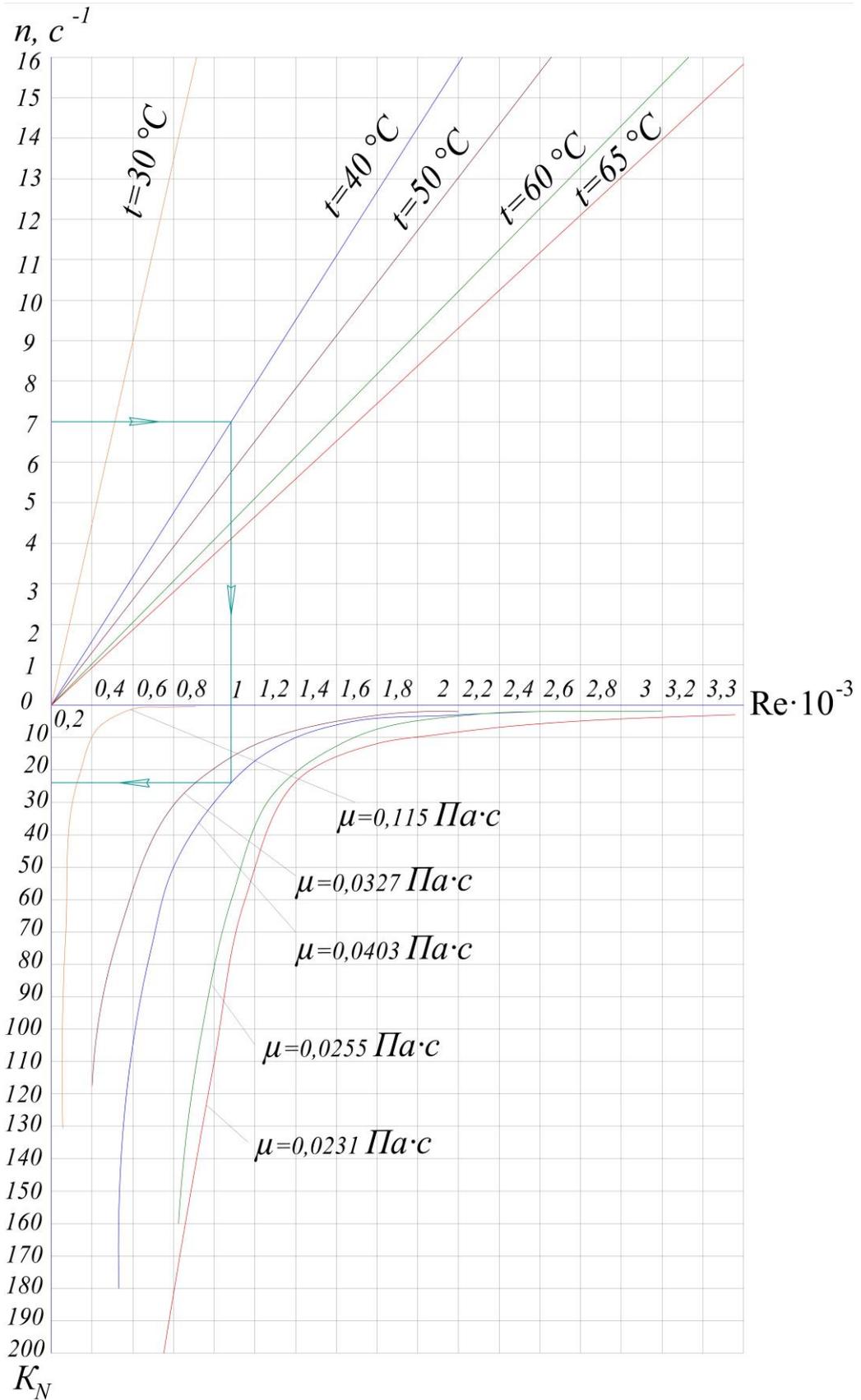


Рисунок 3.9 – Номограмма для определения режима движения и критерия мощности для среды № 1

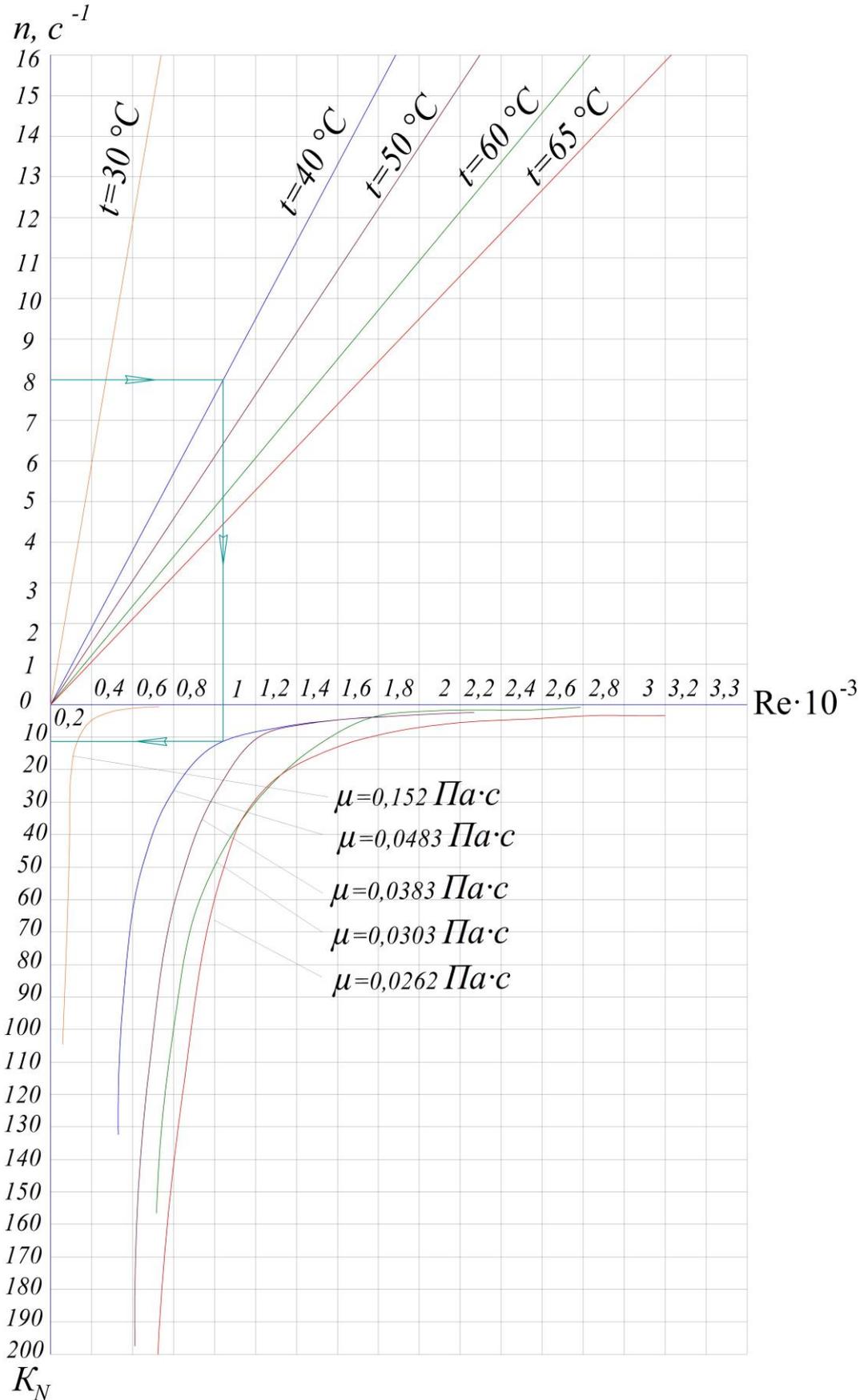


Рисунок 3.10 – Номограмма для определения режима движения и критерия мощности для спреда № 2

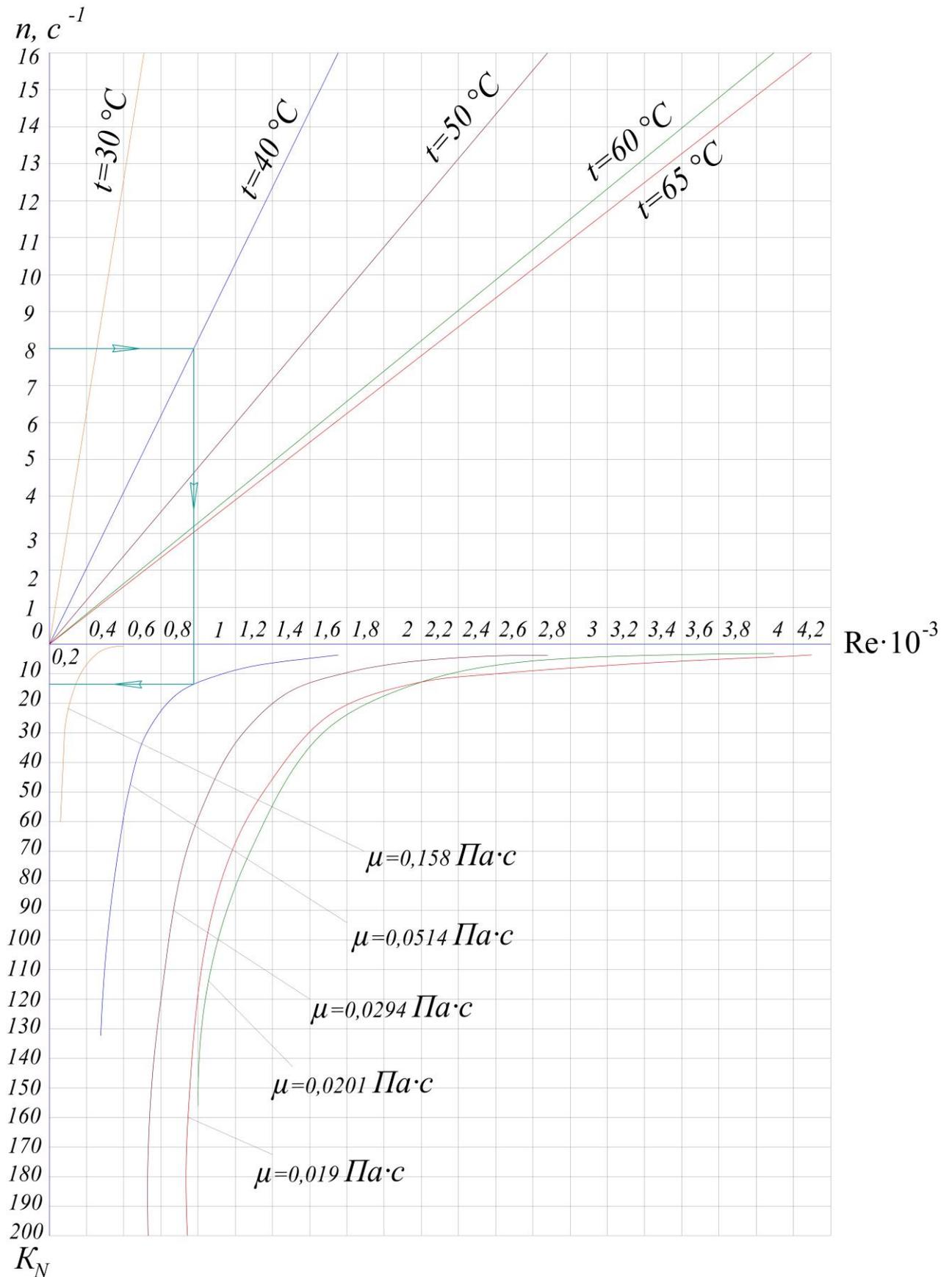


Рисунок 3.11 – Номограмма для определения режима движения и критерия мощности для спреда № 3

Васильцовым Э. А. [10] для приближенных расчетов потребляемой мощности приводится критериальная зависимость для ленточных мешалок в переходных и турбулентных режимах работы:

$$K_N = 7,0(H_1 / d_m) \cdot \text{Re}^{-0,33}. \quad (3.6)$$

Для эмалированных якорных мешалок в ламинарном режиме перемешивания эта зависимость имеет вид:

$$K_N = 245 \cdot \text{Re}^{-1,0}. \quad (3.7)$$

Уравнения 3.3 - 3.5 и уравнения 3.6- 3.7 имеют различия. Это обусловлено сложной конструкцией выбранной нами ленточно-рамной мешалки, многокомпонентным составом перемешиваемого нами продукта и использованием при перемешивании всех режимов движения продукта.

График зависимостей  $E_{\Sigma} = f(\text{Re}_m)$  позволяет подобрать размеры мешалки, ее число оборотов, а также определить мощность двигателя.

С помощью полученных экспериментальных данных были построены номограммы (рисунки 3.9 - 3.11), дающие возможность определить режим и критерий мощности по известной частоте вращения и температуре продукта, что существенно сокращает время необходимое для расчетов параметров перемешивания спреда.

#### **3.4. Кинетика процесса перемешивания сливочно-растительных спредов**

Анализ экспериментальных зависимостей безразмерной концентрации  $N$  от времени перемешивания, полученных при исследовании процесса перемешивания сливочно-растительных спредов показал, что кинетическая кривая процесса перемешивания разделяется на три характерных участка (рисунки 3.12-3.14), соответствующие определенному по времени периоду смешивания.

В периоде  $I$  преобладает перемешивание за счет конвективного переноса

са компонентов по внутреннему объему смесителя. По сравнению с процессом смешивания, процесс сегрегации идет с маленькой скоростью. Поэтому в периоде *I* концентрация резко уменьшается. К концу этого периода в рабочем объеме смесителя практически нет макрообъемов, состоящих из частиц одного компонента.

Во *II* периоде скорость процесса смешивания по величине приближается к скорости сегрегации, поэтому значение концентрации со временем изменяется незначительно, если сравнить с периодом *I*. Процесс перемешивания реализуется в основном за счет смещений относительно друг друга отдельных частиц. Так как этот процесс внешне схож с процессом диффузии молекул, его называют диффузионным.

В периоде *III* скорость процесса смешивания становится равной скорости процесса сегрегации, поэтому концентрация не меняется во времени. Время необходимое для получения однородности перемешиваемой среды, оцениваемое безразмерной концентрацией, является оптимальным временем смешивания.

Весь процесс перемешивания условно был разделен на три температурно-временных периода (рисунки 3.12 - 3.14): 1 – период интенсивного перемешивания; 2 – период охлаждения продукта до температуры кристаллизации; 3 – период кристаллизации продукта.

Для определения оптимальной частоты вращения рабочего органа были проведены исследования на каждом периоде перемешивания (Приложение Б), результаты представлены на рисунках 3.12 - 3.14. Было определено, что для спреда изготовленного по первой рецептуре оптимальному времени перемешивания соответствует частота вращения мешалки равная  $150 \text{ мин}^{-1}$  (в период интенсивного перемешивания),  $10 \text{ мин}^{-1}$  (в период охлаждения продукта до температуры кристаллизации) и  $15 \text{ мин}^{-1}$  в период кристаллизации. Для спредов изготовленных по второй и третьей рецептурам оптимальное время перемешивания обеспечивает частота вращения мешалки так же соответственно

равная  $150 \text{ мин}^{-1}$ ,  $10 \text{ мин}^{-1}$  и  $15 \text{ мин}^{-1}$ .

При температуре перемешивания  $65 \text{ }^\circ\text{C}$  оптимальный период конвективного смешивания составил для трех продуктов соответственно: 2,5 мин, 3 мин, 3 мин. Продолжительность конвективного смешивания после начала кристаллизации продукта (т.е. при температуре перемешивания от  $30 \dots 15 \text{ }^\circ\text{C}$ ) составила, так же соответственно для трех продуктов: 5 мин, 6 мин, 6 мин.

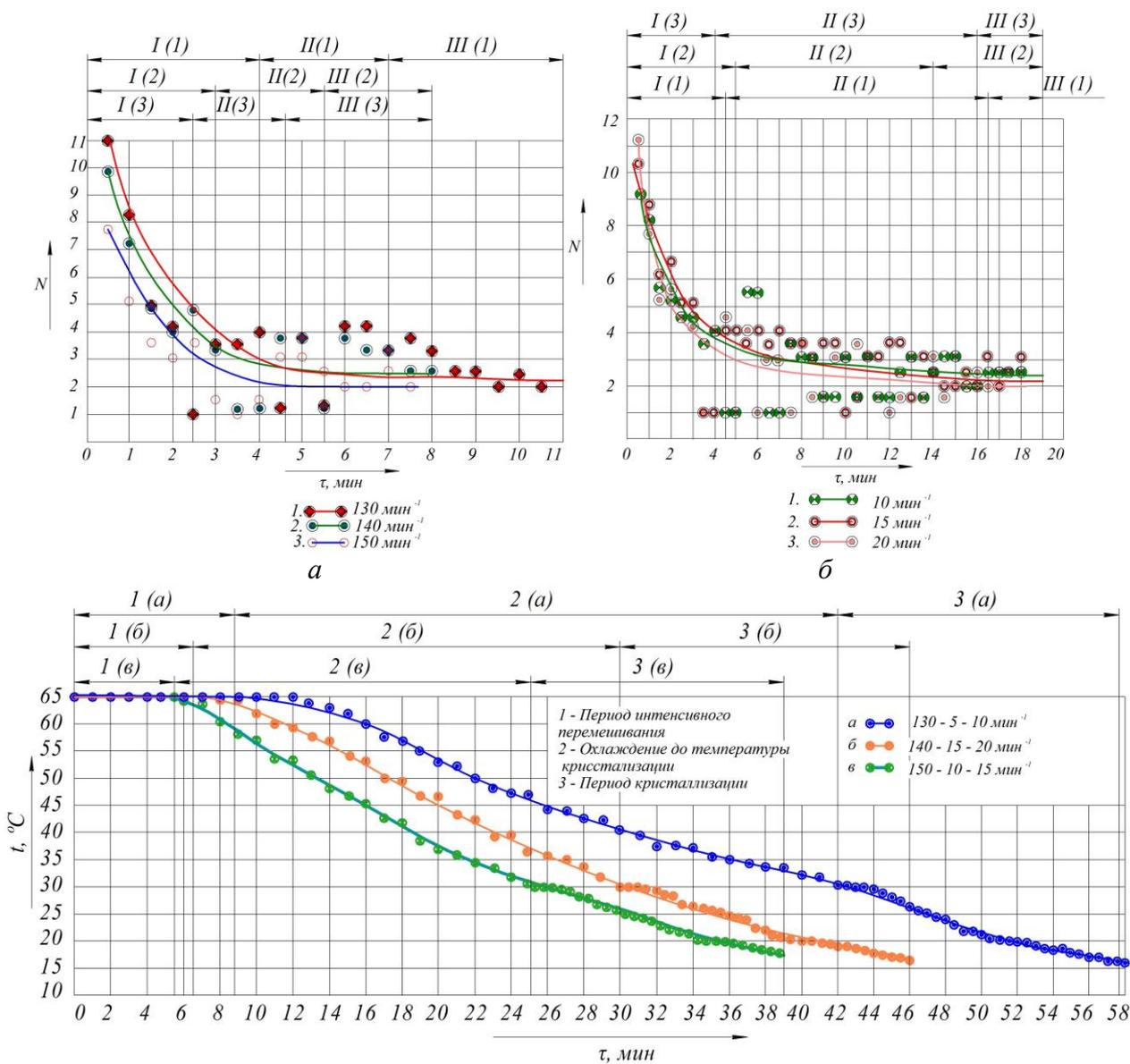


Рисунок 3.12 – Кинетические кривые процесса перемешивания для спреда № 1:  
 а – изменение концентрации в процессе перемешивания  $t = 65 \text{ }^\circ\text{C}$ ;  
 б – изменение концентрации в процессе перемешивания  $t = 30 \dots 15 \text{ }^\circ\text{C}$ ;  
 в - изменение температуры продукта в процессе перемешивания

Второй период при температуре 65 °С составил для трех продуктов соответственно: 2,2 мин, 1,5 мин, 2,8 мин. Время диффузионного смешивания в период кристаллизации продукта: 9 мин, 6 мин, 8 мин.

Чем ближе у компонентов данные свойства, тем эффективнее происходит их перемешивание. Большое различие в размерах и плотности способствует сегрегации частиц.

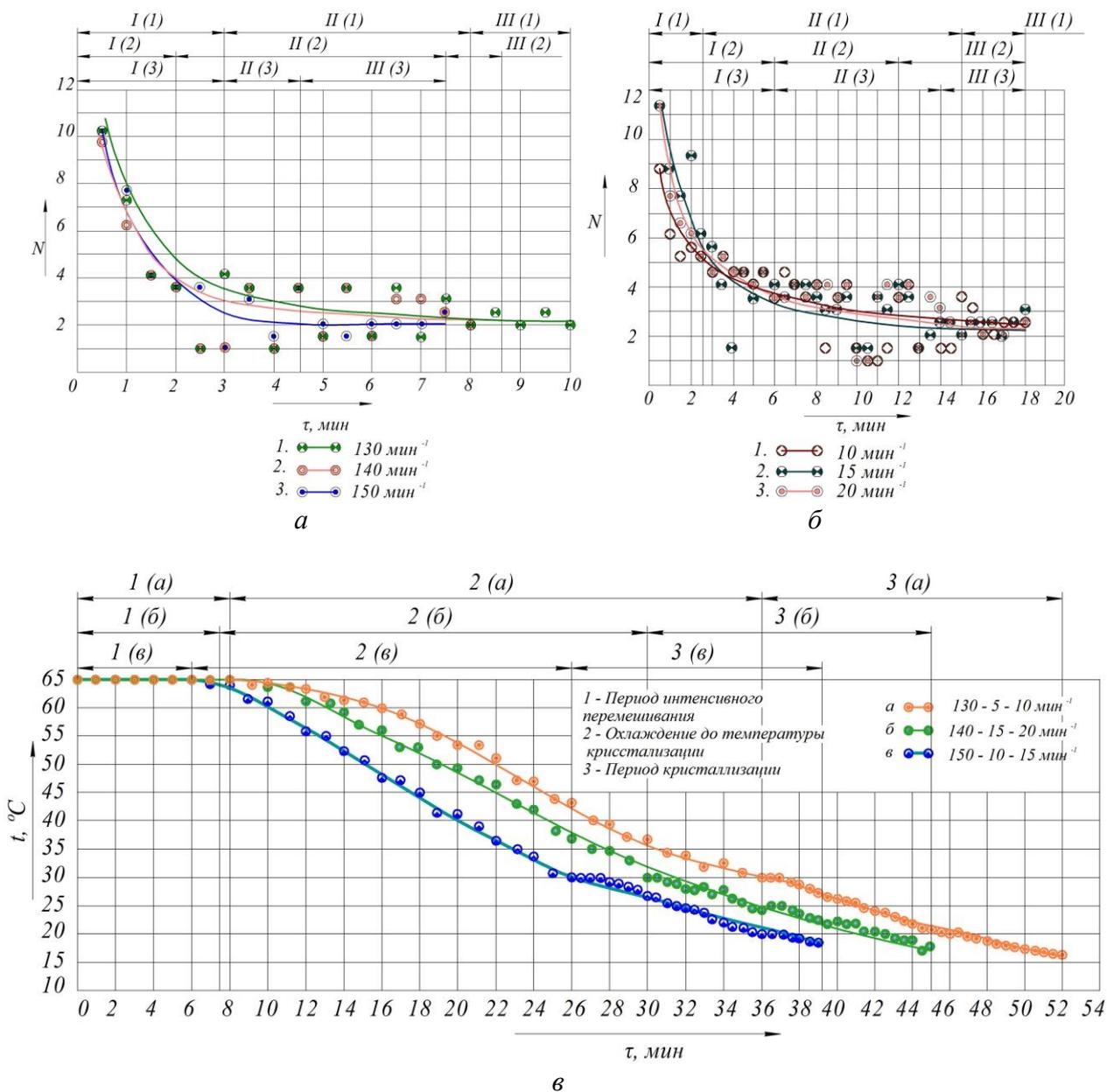


Рисунок 3.13 - Кинетические кривые процесса перемешивания для спреда № 2:

$a$  – 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

В связи с этим в период кристаллизации продукта (ввиду изменения агрегатного состояния сливочного масла) продолжительность диффузионного смешивания больше чем при температуре 65 °С.

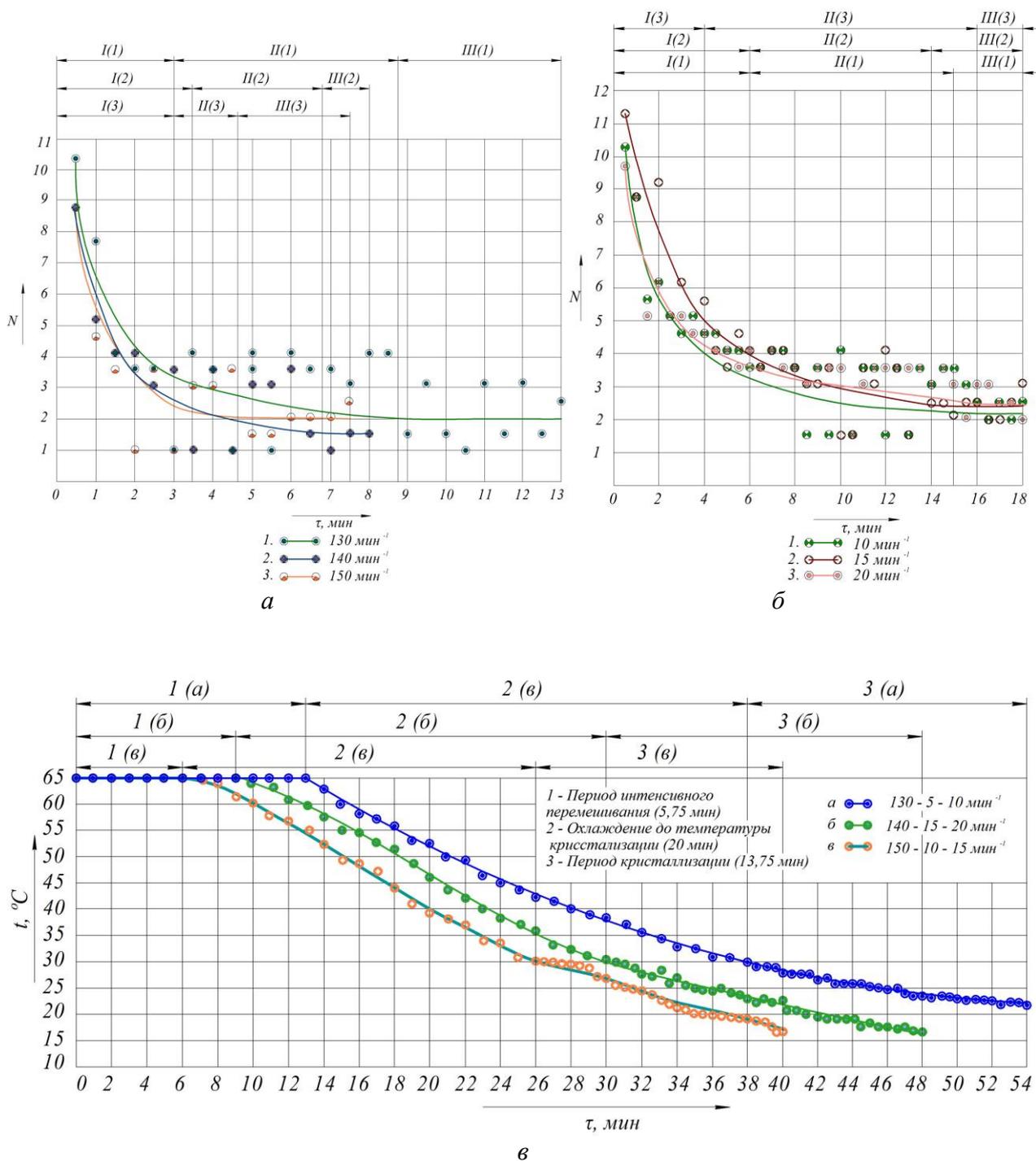


Рисунок 3.14 - Кинетические кривые процесса перемешивания для спреда № 3:  
**а** – изменение концентрации в процессе перемешивания  $t = 65$  °С;  
**б** – изменение концентрации в процессе перемешивания  $t = 30 \dots 15$  °С;  
**в** – изменение температуры продукта в процессе перемешивания

Имеет значение также число компонентов. С их увеличением доля каждого уменьшается, а процесс смешивания затрудняется.

### 3.5 Оценка качества перемешивания сливочно-растительных спредов

Эффективность перемешивания, определяющая качество этого процесса, зависит от многих факторов, обуславливаемых целью перемешивания (приготовление суспензии, ускорении химической реакции и. т. д.) и до сих пор недостаточно изучена. Для того чтобы оценить качество процесса смешивания одной величиной, смесь условно принимают двухкомпонентной, стандартно выделяют один компонент, который считают ключевым, а все остальные принимают вторым условный. К ключевому компоненту предъявляют такие требования: простота выявления его содержания в пробе; физические свойства должны отличаться от свойств остальных компонентов; небольшое его количество. Т. к. все компоненты входящие в состав спреда имеют примерно одинаковые физические свойства, было принято решение использовать в качестве ключевого компонента трассер.

В качестве трассера были выбраны семена мака, которые находятся во взвешенном состоянии в продукте во время перемешивания, являются легко определяемыми, не растворяются, не теряют цвет и для оценки качества перемешивания необходимо введения небольшого количества.

В качестве критерия оценки качества смешивания была использована безразмерная концентрация  $N$ :

$$N = n_{сч} / n_{общ} , \quad (3.8)$$

где  $n_{сч} = N_{сч} / V_{пр}$  – концентрация трассеров в отбираемой пробе, шт/м<sup>3</sup>;  $N_{сч}$  – количество трассеров в отбираемой пробе, шт;  $V_{пр}$  – объем отбираемой пробы, м<sup>3</sup>;  $n_{общ} = N_o / V$  – общая концентрация частиц, шт/м<sup>3</sup>;  $N_o$  – число вводимых трассеров, шт;  $V$  – объем продукта, м<sup>3</sup>.

Отбираемая проба составляет 3 мл, проба отбиралась в одном и том же месте через равные промежутки времени. Данные полученные в процессе эксперимента представлены в приложении Б.

Смесь считается однородной, если в  $N \rightarrow 1$ . И наоборот, чем больше значение  $N$ , тем менее однородна смесь. В смесителях периодического действия, процесс смешивания складывается из следующих процессов:

- перемещение группы смежных частиц из одного места смеси в другое внедрением, скольжением слоев (так называемое конвективное смешивание);
- постепенное перераспределение частиц через свежееобразованную границу из раздела (так называемое диффузионное смешивание);
- сосредоточение частиц, которые близки по массе и размерам, в соответствующих местах смесителя под действием гравитационных, инерционных сил (сегрегация частиц).

Если с помощью первых двух процессов качества смеси улучшается, то последний препятствует этому.

Важное влияние на скорость процесса смешивания в эти моменты времени оказывает характер движения потоков частиц в смесителе, который зависит от конструкции и параметров смесителя.

После того как компоненты распределились по рабочему объему смесителя, процессы конвективного и диффузионного смешивания становится по их воздействию на общий процесс смешивания сопоставимы. Перераспределения частиц в это время идет уже на уровне макрообъемов. Начиная с некоторого момента времени, процесс диффузионного смешивания начинает преобладать (II участок).

Существенное влияние на процесс начинает оказывать сегрегация частиц. В какой-то момент времени эти процессы могут уравновеситься, после чего дальнейшее перемешивание теряет смысл, и процесс должен быть закончен (III участок).

Анализируя полученные данные (рисунок 3.15), получаем оптимальное

время перемешивания 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.

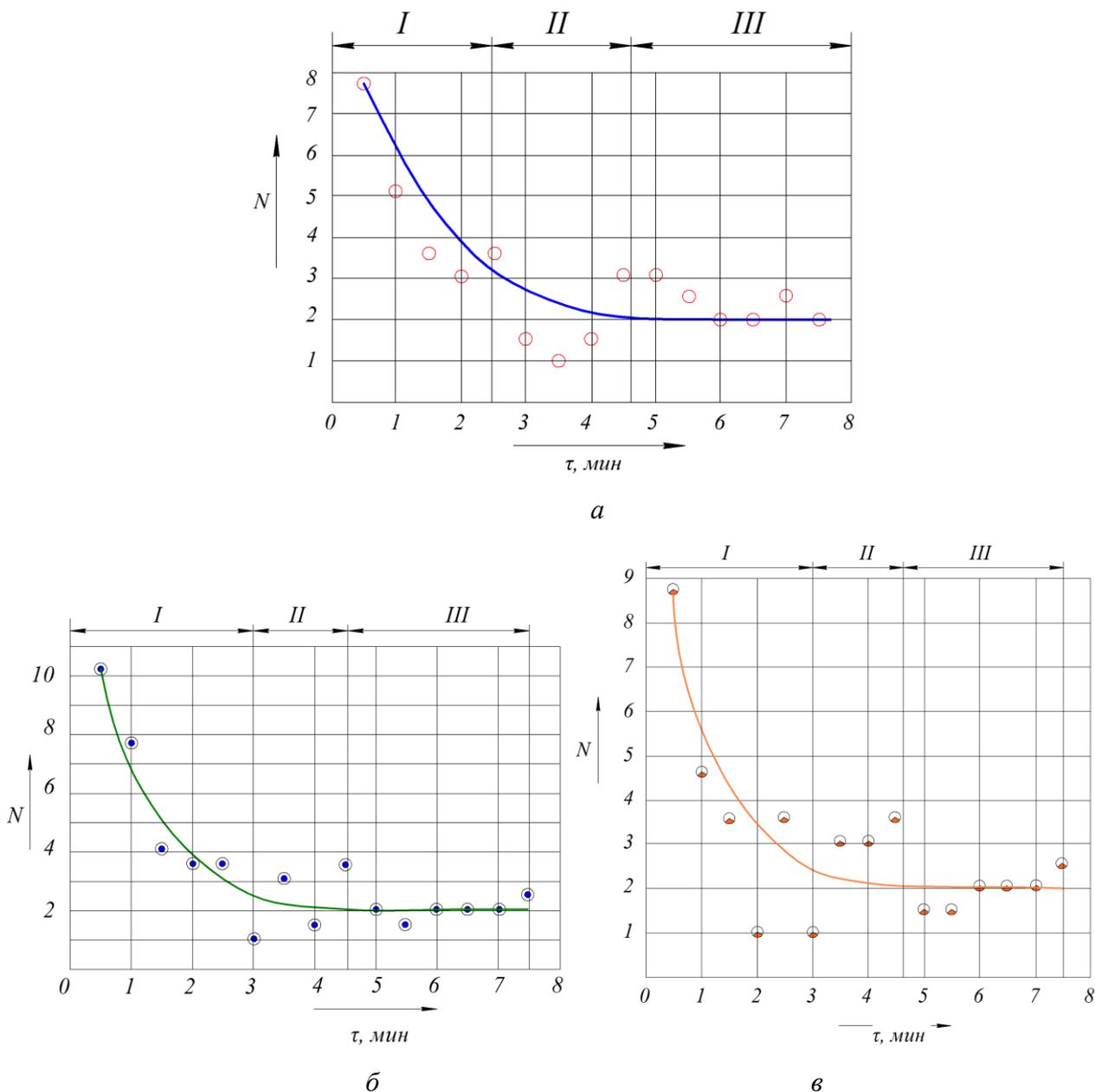


Рисунок 3.15 – Зависимость безразмерной концентрации от продолжительности смешивания: а – спред № 1; б – спред № 2; в – спред № 3, температура 65 °С

Проведены исследования для определения оптимального времени перемешивания при кристаллизации продукта (Приложение Б).

Оптимальное время перемешивания (рисунок 3.16) при кристаллизации составило: для первого продукта 14 мин, для второго продукта 12 мин, для

третьего продукта 14 мин.

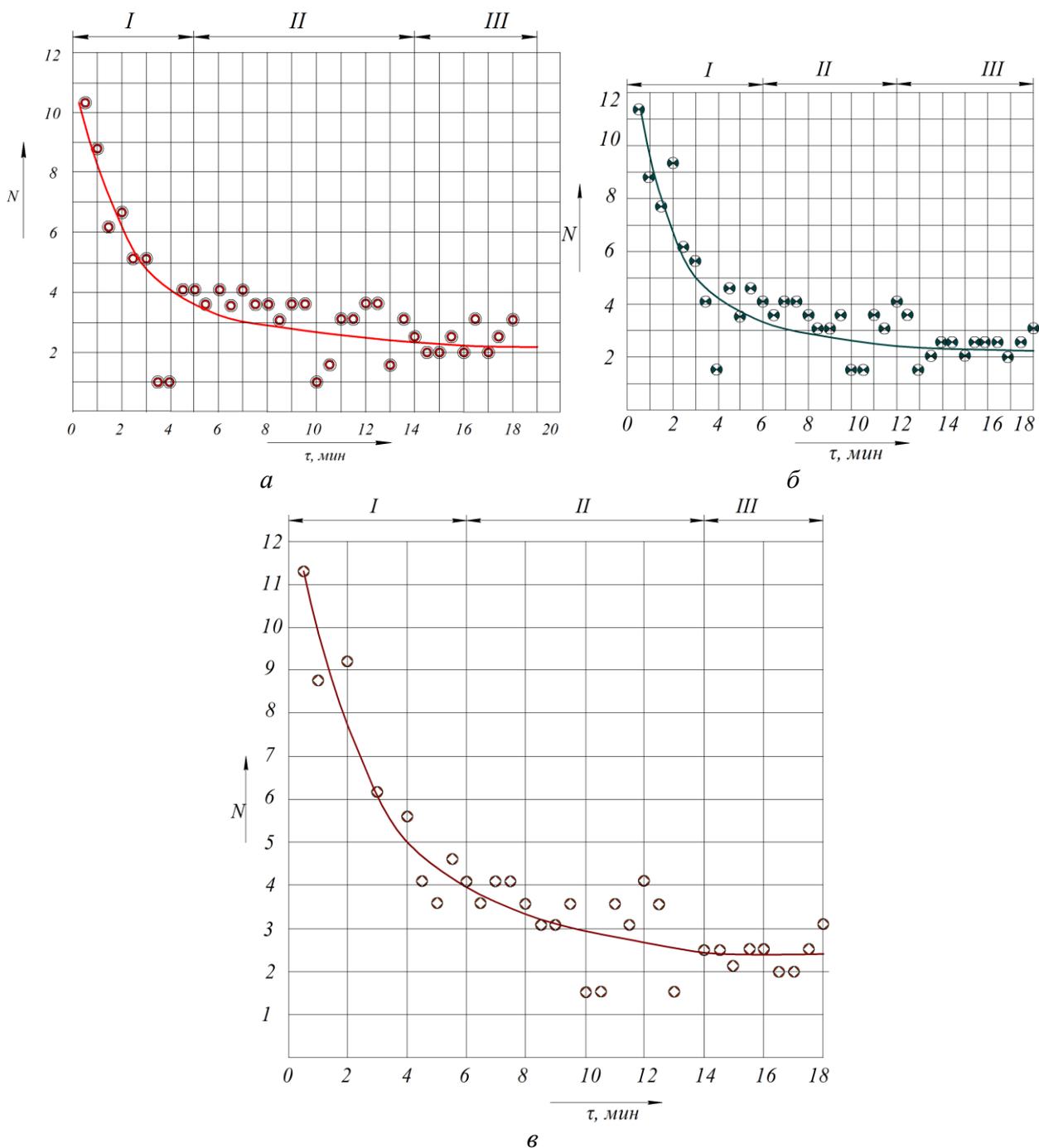


Рисунок 3.16 - Зависимость безразмерной концентрации от продолжительности смешивания: *a* – спред № 1; *б* – спред № 2; *в* – спред № 3, температура 30-15 °С

Большая продолжительность смешивания необходима для равномерного распределения компонентов, входящих в состав смеси в малых количествах. Естественно, что компоненты с большей дисперсностью, содержащие в единице объема большее количество частиц, распределяются лучше.

## Глава 4. МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА ПЕРЕМЕШИВАНИЯ СЛИВОЧНО-РАСТИТЕЛЬНЫХ СПРЕДОВ

### 4.1 Диффузионная модель процесса перемешивания спредов

В производстве спредов стадия эмульгирования является одной из основных [13]. Обеспечение условий получения стабильных эмульсий в значительной степени определяет качество получаемого продукта и возможность его длительного хранения. При реализации этой стадии необходимо учитывать, что излишнее механическое воздействие может привести к дестабилизации жировых эмульсий, а также требует дополнительных затрат энергии. В связи с этим определение продолжительности перемешивания спредовых композиций до получения однородной массы является актуальной задачей технологии их производства.

Пусть в цилиндрическом сосуде с перемешивающим устройством находятся исходные компоненты спреда в заданном соотношении. После включения мешалки начинается процесс гомогенизации, продолжительность которого можно определить по поведению частиц трассера, вводимого в перемешиваемую среду в заданном количестве через свободную поверхность жидкости в течение короткого промежутка времени. 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

$$K_{\text{var}} = \frac{1}{\bar{n}} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^m (n_i - \bar{n})^2}{m-1}}, \quad (4.1)$$

где  $\bar{n}$  – средняя по объему перемешиваемой среды концентрация частиц трассера,  $n_i$  – их локальная концентрация в  $m$  точках, равномерно распределенных по всему рабочему объему аппарата.

Очевидно, что по мере диспергирования компонентов спредовой композиции величина коэффициента вариации будет уменьшаться, в пределе стремясь к нулю.

Локальные концентрации трассера определяются закономерностями движения жидкой фазы. Если для описания ее поведения использовать уравнения движения Навье-Стокса в общей постановке, то в силу их нелинейности принципиально невозможно получить решение задачи в аналитическом виде. Различные упрощающие допущения как, например, модели перемешивания, предусматривающие разбиение потока на области с восходящим и нисходящим движением жидкости, неприменимы в данном случае, т. к. не отражают в полной мере трехмерный характер течения перемешиваемой среды.

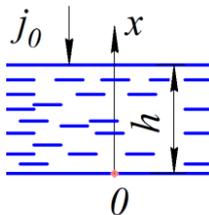


Рисунок 4.1 –  
Расчетная схема

Предположение о том, что интенсивность перемешивания, одинаковая по всему объему жидкости, позволяет воспользоваться диффузионными представлениями о характере протекания процесса [7, 8, 50]. В этом случае геометрия аппарата не имеет значения и можно рассматривать задачу как одномерный перенос частицы трассера в плоском слое перемешиваемой жидкости (рисунок 4.1) в следующей постановке:

$$\frac{\partial n(x, \tau)}{\partial \tau} = D \frac{\partial^2 n(x, \tau)}{\partial x^2}, \quad (4.2)$$

$$n(x, 0) = 0, \quad (4.3)$$

$$\frac{\partial n(0, \tau)}{\partial x} = 0, \quad (4.4)$$

$$D \frac{\partial n(h, \tau)}{\partial x} = j_0 [\mathbf{1}(\tau) - \mathbf{1}(\tau - \tau_0)], \quad (4.5)$$

где  $n$  – счетная концентрация частиц в объеме жидкости, шт/м<sup>3</sup>;  $\tau$  – время, с;  $D$  – эффективный коэффициент перемешивания, м<sup>2</sup>/с;  $x$  – координата, м;  $\tau_0$  – продолжительность ввода частиц трассера в жидкость, с;  $j_0$  – средняя штуч-

ная плотность поверхностного потока частиц за время их ввода  $\tau_0$ , шт/(м<sup>2</sup>·с);  
 $\mathbf{1}(\tau)$  – функция Хэвисайда.

По определению

$$j_0 = \frac{z}{s \cdot \tau_0}, \quad (4.6)$$

где  $z$  – общее количество вводимых частиц,  $s$  – площадь свободной поверхности жидкости.

Пусть  $n_0 = z / V$  – средняя по объему жидкости концентрация частиц.

Тогда  $z = n_0 V$  и с учетом (4.6)

$$j_0 = \frac{n_0 V}{s \cdot \tau_0} = \frac{n_0 h}{\tau_0}. \quad (4.7)$$

Принимая во внимание (4.7), граничное условие (4.5) примет вид:

$$D \frac{\partial n(h, \tau)}{\partial x} = \frac{n_0 h}{\tau_0} [\mathbf{1}(\tau) - \mathbf{1}(\tau - \tau_0)]. \quad (4.8)$$

Приведем систему уравнений (4.2-4.4), (4.8) к безразмерному виду:

$$\frac{\partial N(X, Fo)}{\partial Fo} = \frac{\partial^2 N(X, Fo)}{\partial X^2}, \quad (4.9)$$

$$N(X, 0) = 0, \quad (4.10)$$

$$\frac{\partial N(0, Fo)}{\partial X} = 0, \quad (4.11)$$

$$\frac{\partial N(1, Fo)}{\partial X} = \frac{1}{Fo_0} [\mathbf{1}(Fo) - \mathbf{1}(Fo - Fo_0)], \quad (4.12)$$

где  $N = n / n_0$ ,  $Fo = D\tau / h^2$ ,  $Fo_0 = D\tau_0 / h^2$ ,  $X = x / h$ .

Применим к системе уравнений (4.9-4.12) одностороннее преобразование Лапласа по переменной  $Fo$  [34]:

$$s \cdot N_L(X, s) = \frac{d^2 N_L(X, s)}{dX^2}, \quad (4.13)$$

$$\frac{dN_L(0, s)}{dX} = 0, \quad (4.14)$$

$$\frac{dN_L(1,s)}{dX} = \frac{1}{Fo_0} \cdot \frac{1 - \exp(-sFo_0)}{s}, \quad (4.15)$$

где  $s$  и  $N_L(X, s)$  – изображения  $Fo$  и  $N(X, Fo)$ .

Найдем решение однородного уравнения (4.13), используя его характеристическое уравнение:

$$\lambda^2 - s = 0, \quad \lambda_{1,2} = \pm\sqrt{s};$$

$$N_L(X, s) = C_1 \text{sh}(\sqrt{s} \cdot X) + C_2 \text{ch}(\sqrt{s} \cdot X). \quad (4.16)$$

Константы интегрирования найдем с использованием граничных условий, предварительно определив производную по  $X$  от выражения (4.16):

$$\frac{dN_L(X, s)}{dX} = \sqrt{s} [C_1 \text{ch}(\sqrt{s} \cdot X) + C_2 \text{sh}(\sqrt{s} \cdot X)]. \quad (4.17)$$

Тогда из (4.14)

$$0 = \sqrt{s} [C_1 \cdot 1 + C_2 \cdot 0]$$

и, следовательно,  $C_1 = 0$ .

С учетом (4.15)

$$\frac{1}{Fo_0} \cdot \frac{1 - \exp(-sFo_0)}{s} = \sqrt{s} C_2 \text{sh}(\sqrt{s}),$$

откуда

$$C_2 = \frac{1}{Fo_0} \cdot \frac{1 - \exp(-s \cdot Fo_0)}{s \cdot \sqrt{s} \cdot \text{sh}(\sqrt{s})}.$$

С использованием полученных констант интегрирования решение задачи в изображениях примет вид:

$$N_L(X, s) = \frac{1}{Fo_0} \cdot \frac{[1 - \exp(-sFo_0)] \text{ch}(\sqrt{s} \cdot X)}{s\sqrt{s} \cdot \text{sh}(\sqrt{s})}. \quad (4.18)$$

Рассмотрим первое слагаемое решения (4.18):

$$N_L^1(X, s) = \frac{1}{Fo_0} \cdot \frac{\text{ch}(\sqrt{s} \cdot X)}{s\sqrt{s} \cdot \text{sh}(\sqrt{s})} = \frac{1}{Fo_0} \frac{\varphi(s, X)}{\psi(s)}, \quad (4.19)$$

которое представляет собой отношение двух обобщенных полиномов, причем степень полинома числителя меньше, чем знаменателя, а степенной ряд

$\psi(s)$  не содержит постоянной, следовательно, выполняются все условия теоремы разложения.

Знаменатель  $N_L^1$ , представленный в виде

$$\psi(s) = s^2 \cdot \frac{\text{sh}(\sqrt{s})}{\sqrt{s}},$$

имеет корень  $s=0$  кратности два и простые корни, удовлетворяющие уравнению  $\text{sh}(\sqrt{s})=0$ , при этом физическому смыслу задачи отвечают только их мнимые значения, т.е.

$$\sqrt{s_n} = \mu_n i, \quad s_n = -\mu_n^2, \quad \mu_n = \pi n, \quad n = \overline{1, \infty}.$$

Найдем стационарную составляющую оригинала изображения выражения (4.19) корня  $s=0$  кратности два, воспользовавшись теоремой Ващенко-Захаренко [5].

Пусть

$$\varphi(s) = \text{ch}(\sqrt{s} \cdot X), \quad \eta(s) = \text{sh}(\sqrt{s}) / \sqrt{s}.$$

Тогда

$$\lim_{s \rightarrow 0} \left\{ \frac{d}{ds} \left[ e^{s \cdot Fo} \cdot \frac{\varphi(X, s)}{\eta(s)} \right] \right\} = Fo + \frac{X^2}{2} - \frac{1}{6}.$$

Найдем оригинал нестационарной составляющей выражения (4.19), используя теорему обращения Ващенко-Захаренко:

$$L^{-1} \left[ \frac{1}{Fo_0} \frac{\varphi(s, X)}{\psi(s)} \right] = \frac{1}{Fo_0} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\varphi(s_n, X)}{\psi'(s_n)} e^{Fo \cdot s_n},$$

где  $L^{-1}$  – оператор обратного преобразования Лапласа. Так как производная знаменателя

$$\psi'(s_n) = \frac{1}{2} s \cdot \text{ch}(\sqrt{s}),$$

то

$$L^{-1} \left[ \frac{1}{Fo_0} \frac{\varphi(s, X)}{\psi(s)} \right] = -\frac{2}{Fo_0} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\cos(\mu_n, X)}{\mu_n^2 \cos \mu_n} \exp(-\mu_n^2 \cdot Fo).$$

Окончательно для оригинала первого слагаемого имеем:

$$N^1(X, Fo) = \frac{1}{Fo_0} \left[ Fo + \frac{X^2}{2} - \frac{1}{6} - 2 \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\cos(\mu_n X)}{\mu_n^2 \cos \mu_n} \exp(-\mu_n^2 \cdot Fo) \right]. \quad (4.20)$$

Второе слагаемое решения (4.18)

$$N_L^2(X, s) = \frac{1}{Fo_0} \frac{\exp(-s \cdot Fo_0) \operatorname{ch}(\sqrt{s} \cdot X)}{s \sqrt{s} \cdot \operatorname{sh}(\sqrt{s})} = \frac{1}{Fo_0} \frac{\varphi_1(s, X)}{\psi(s)} \quad (4.21)$$

также является отношением двух обобщенных полиномов относительно  $s$ , причем степень полинома числителя меньше степени полинома знаменателя, а  $\psi(s)$  не содержит постоянной.

Стационарная составляющая для (4.21), если

$$\varphi_1(s, X) = \exp(-s \cdot Fo_0) \cdot \operatorname{ch}(\sqrt{s} \cdot X), \quad \eta(s) = \operatorname{sh}(\sqrt{s}) / \sqrt{s},$$

определяется выражением

$$\lim_{s \rightarrow 0} \left\{ \frac{d}{ds} \left[ e^{s \cdot Fo} \cdot \frac{\varphi_1(X, s)}{\eta(s)} \right] \right\} = Fo - Fo_0 + \frac{X^2}{2} - \frac{1}{6},$$

а оригинал нестационарной составляющей для выражения (4.21) в соответствии с теоремой обращения Ващенко-Захарченко будет:

$$L^{-1} \left[ \frac{1}{Fo_0} \frac{\varphi_1(s, X)}{\psi(s)} \right] = \frac{1}{Fo_0} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\varphi_1(s_n, X)}{\psi'(s_n)} e^{Fo \cdot s_n} = - \frac{2}{Fo_0} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\cos(\mu_n X)}{\mu_n^2 \cos \mu_n} \exp[-\mu_n^2 \cdot (Fo - Fo_0)]$$

Следовательно, оригинал второго слагаемого решения (4.18) таков:

$$N^2(X, Fo) = \frac{1}{Fo_0} \left[ Fo - Fo_0 + \frac{X^2}{2} - \frac{1}{6} - 2 \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\cos(\mu_n X)}{\mu_n^2 \cos \mu_n} \exp[-\mu_n^2 \cdot (Fo - Fo_0)] \right] \quad (4.22)$$

С учетом (4.20) и (4.22) окончательное решение задачи принимает вид:

$$N(X, Fo) = 1 - \frac{2}{Fo_0} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\cos(\mu_n X)}{\mu_n^2 \cos \mu_n} \exp(-\mu_n^2 Fo) \cdot [1 - \exp(\mu_n^2 Fo_0)]. \quad (4.23)$$

Характер изменения счетной безразмерной концентрации частиц трасера  $N(X, Fo)$ , рассчитанной по формуле (4.23) для начала процесса перемешивания, показан на рисунке 4.2, а на рисунке 4.3 – эта зависимость уточнена по высоте перемешиваемого слоя жидкости. Из рисунка 4.3 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. В нижней части слоя концентрация монотонно возрастает до предельного значения  $N(X, \infty) = 1$ , что отвечает физическому смыслу задачи.

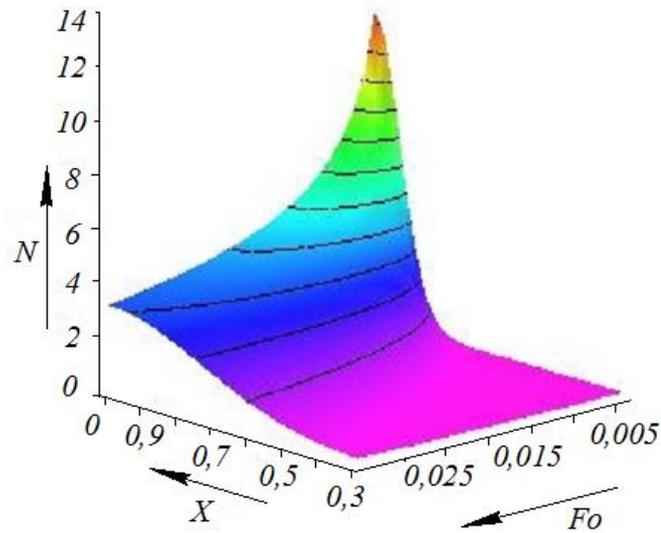


Рисунок 4.2 – Характер изменения объемной концентрации частиц трассера в начале процесса перемешивания

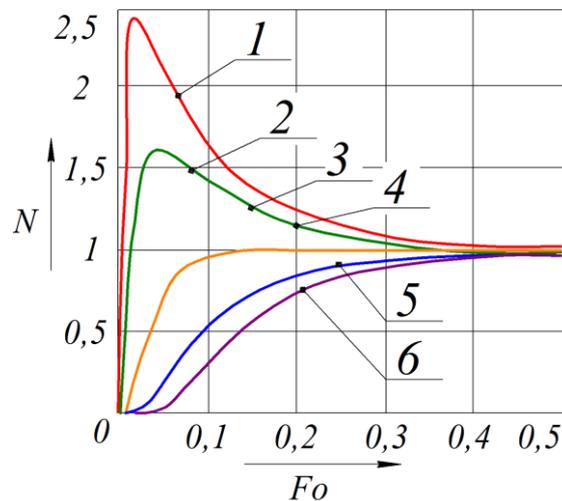


Рисунок 4.3 – Изменение объемной концентрации частиц трассера по высоте перемешиваемого слоя: 1 –  $X = 0,8$ ; 2 –  $X = 0,7$ ; 3 –  $X = 0,5$ ; 4 –  $X = 0,3$ ; 5 –  $X = 0,1$

Если в определенной точке перемешиваемого слоя в различные моменты времени отбирать пробу жидкости, то можно получить экспериментальную зависимость безразмерной концентрации частиц от числа Фурье  $N_{\text{эсп}}(X, Fo)$ , которая дает возможность рассчитать коэффициент эффективно-го перемешивания по следующему алгоритму. Задаются произвольным зна-

чением  $D$ , рассчитывают соответствующую величину безразмерной продолжительности ввода импульса частиц трассера  $Fo_0 = \frac{D\tau_0}{h^2}$  ( $\tau_0 = 3 \div 4$  с – длительность импульса,  $h = 0,105$  м – высота слоя жидкости), а также безразмерное текущее время процесса  $Fo_i = \frac{D\tau_i}{h^2}$  ( $\tau_i$  – размерное текущее время, с).

Экспериментальное значение безразмерной концентрации частиц трассера определяют по формуле:

$$N_{\text{эксн}} = n_{\text{пр}} / n_0,$$

где счетную концентрацию частиц трассера в пробе рассчитывали как  $n_{\text{пр}} = z_{\text{пр}} / V_{\text{пр}}$ , а  $n_0 = z / V$ , где  $z$  – общее число вводимых в жидкость частиц трассера,  $z_{\text{пр}}$  – их количество в пробе, шт;  $V_{\text{пр}}$  и  $V$  – объем пробы и всей перемешиваемой жидкости соответственно, м<sup>3</sup>.

Отбор проб из-за наличия работающей мешалки производили в верхней части слоя при  $X = 0,96$ . Минимизацией функционала

$$\Phi = \sum_i \left[ \frac{N_{\text{расч}}(0,96; Fo_i) - N_{\text{эксн}}(0,96; Fo_i)}{N_{\text{расч}}(0,96; Fo_i)} \right], \quad (4.24)$$

где  $N_{\text{расч}}(0,96; Fo_i)$  находили по (4.23) при  $X = 0,96$ , с использованием данных приложения Б были идентифицированы значения коэффициента эффективного перемешивания для различных условий проведения процесса.

На рисунке 4.4 приведены типичные кривые изменения концентрации частиц трассера во времени для процесса перемешивания спредовых композиций при 65 °С, а на рисунке 4.5 – для процесса их кристаллизации при охлаждении от 30 °С до 15 °С.

Найденные значения коэффициентов эффективного перемешивания приведены в таблице 4.1.

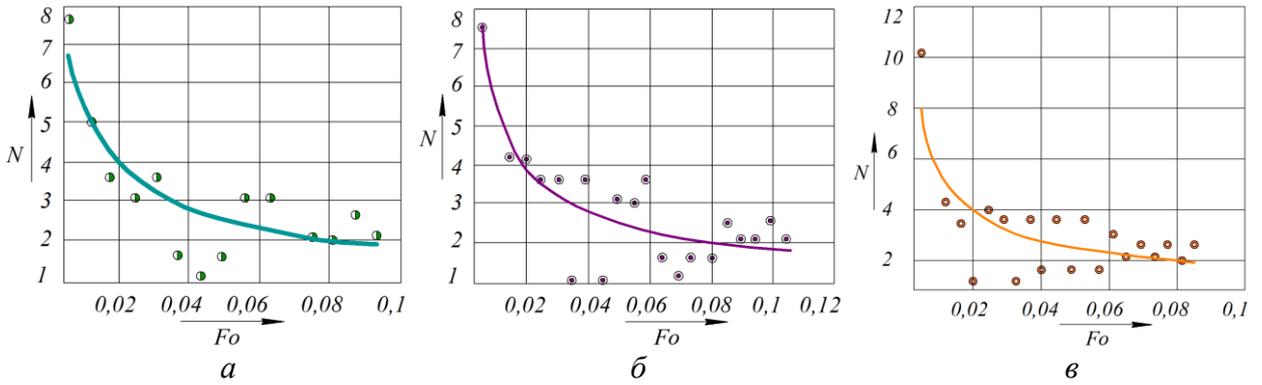


Рисунок 4.4 – Сравнение результатов эксперимента (точки) с расчетом по (4.23) (линия) процесса перемешивания спредов ( $x = 0,96$ ): *a* – спред № 1,  $n = 150 \text{ мин}^{-1}$ ,  $D = 2,29 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$ ; *б* – спред № 3,  $n = 140 \text{ мин}^{-1}$ ,  $D = 1,82 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$ ; *в* – спред № 2,  $n = 130 \text{ мин}^{-1}$ ,  $D = 1,49 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$

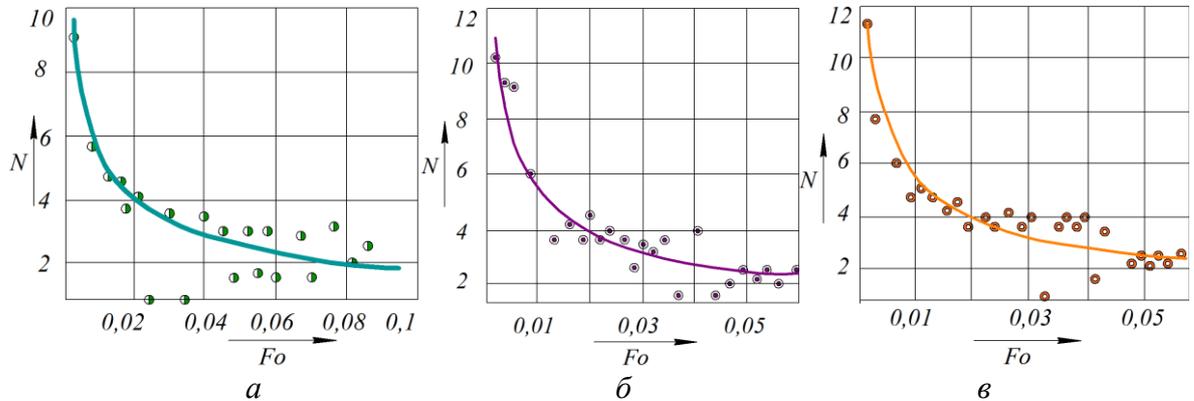


Рисунок 4.5 – Сравнение результатов эксперимента (точки) с расчетом по (4.23) (линия) процесса кристаллизации спредов: *a* – спред № 1,  $n = 150 \text{ мин}^{-1}$ ,  $D = 0,954 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$ ; *б* – спред № 3,  $n = 140 \text{ мин}^{-1}$ ,  $D = 0,617 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$ ; *в* – спред № 2,  $n = 130 \text{ мин}^{-1}$ ,  $D = 0,586 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$

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

- для процесса перемешивания спредов

$$D = 3,54 \cdot 10^{-13} \cdot \text{Re}^2 - 1,77 \cdot 10^{-9} \cdot \text{Re} + 3,66 \cdot 10^{-6}, \quad (4.25)$$

- для процесса кристаллизации спредов

$$D = 1,84 \cdot 10^{-10} \cdot \text{Re}^2 - 2,06 \cdot 10^{-8} \cdot \text{Re} + 1,21 \cdot 10^{-6}. \quad (4.26)$$

При исследовании процессов перемешивания обычно рассматриваются две взаимосвязанные задачи: 1 – определение продолжительности перемешивания до получения продукта заданной однородности; 2 – определение

однородности продукта при заданной длительности процесса перемешивания. Указанные задачи могут быть решены с использованием временной зависимости для коэффициента вариации, характеризующего однородность перемешиваемой системы согласно уравнению (4.1).

Таблица 4.1 – Коэффициенты эффективного перемешивания

№ п/п	Эффективный коэффициент перемешивания, $D \cdot 10^6$ , м <sup>2</sup> /с	Частота вращения мешалки $n$ , мин <sup>-1</sup>	Продолжительность опыта	
			$\tau$ , мин	Fo
Сред № 1				
1	2,29	150	7,5	0,0935
2	0,702	15	18	0,0688
3	1,41	140	9	0,0691
4	0,931	20	18	0,0912
5	1,09	130	11	0,0652
6	0,954	10	18	0,0935
Сред № 2				
7	1,99	150	7,5	0,0812
8	0,612	15	18	0,0600
9	1,63	140	10,5	0,0931
10	0,586	20	18	0,0574
11	1,49	130	10,5	0,0851
12	0,709	10	18	0,0695
Сред № 3				
13	2,38	150	7,5	0,0971
14	0,617	15	18	0,0604
15	1,82	140	10,5	0,104
16	0,552	20	18	0,0540
17	1,04	130	15	0,0849
18	0,605	10	18	0,0593

Переход в правой части (4.1) к безразмерным величинам дает следующую расчетную формулу для коэффициента вариации, учитывающую изменение этой величины, как по высоте слоя жидкости, так и по времени:

$$K_{\text{var}} = \sqrt{\frac{1}{m-1} \sum_{i=1}^m \left[ \frac{N(X_i, Fo)}{\overline{N}(Fo)} - 1 \right]^2}. \quad (4.27)$$

Здесь  $m$  – число точек разбиения отрезка  $[X_n, X_k]$ , для которого среднее по его длине значение концентрации частиц трассера определяется выражением

$$\bar{N}(Fo) = 1 - \frac{2}{Fo_0(X_\kappa - X_n)} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{[\sin(\mu_n X_\kappa) - \sin(\mu_n X_n)]}{\mu_n^3 \cdot \cos \mu_n} \exp(-\mu_n^2 Fo) \cdot [1 - \exp(\mu_n^2 Fo_0)], \quad (4.27)$$

вытекающим из (4.23).

Так как идентификацию коэффициента эффективного перемешивания производили по пробам жидкости, взятым из верхней части перемешиваемого слоя при  $X = 0,96$ , то для расчета  $\bar{N}(Fo)$  также будем рассматривать область жидкости, расположенную выше верхней кромки перемешивающего устройства.

Если в рассматриваемом слое будет достигнута некоторая однородность смеси, то логично предположить, что в области непосредственного воздействия мешалки, тем более будет достигнут этот же результат.

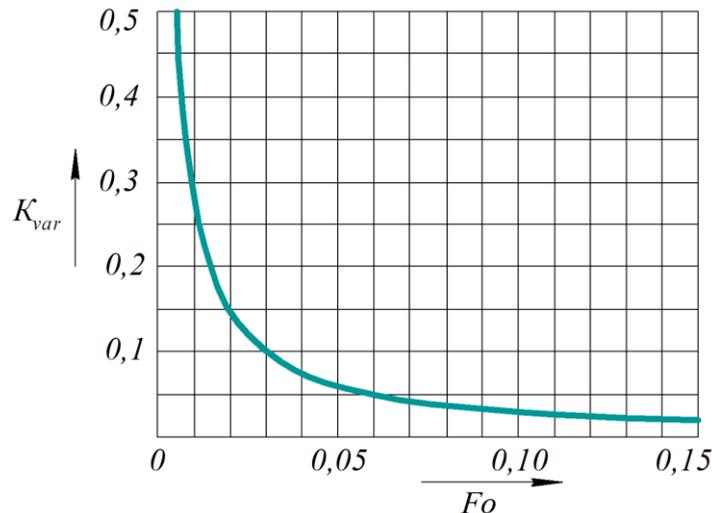


Рисунок 4.6 – Временная зависимость коэффициента вариации, при перемешивании спредов,  $X = [0,8; 1]$ ,  $D = 2,29 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$

Выбирая слой осреднения, расположенный над мешалкой и определяемый отрезком  $[0,8; 1,0]$ , и рассчитывая временную зависимость для  $K_{\text{var}}$  по (4.27), получают по существу верхнюю оценку продолжительности процесса перемешивания. Результаты вычислений при  $m = 100$  и  $n = 100$  представлены на рисунке 4.6.

Определим коэффициент вариации в конце процесса перемешивания спреда № 1 при  $n = 150$  об/мин (опыт № 1 в таблице 4.1). Безразмерная длительность процесса составляет  $Fo = 0,0935$ . Этому значению числа Фурье со-

гласно рисунку 4.6 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.

## **Глава 5. ИССЛЕДОВАНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА СЛИВОЧНО-РАСТИТЕЛЬНЫХ СПРЕДОВ, СБАЛАНСИРОВАННЫХ ПО ЖИРНО-КИСЛОТНОМУ СОСТАВУ**

### **5.1. Исследование химического состава сливочно-растительных спредов**

Для подтверждения соответствия разработанного продукта требуемым показателям качества необходимо исследовать его состав. Был проведен анализ химического, витаминного, минерального и жирнокислотного состава продукта. Опыты проведены с использованием жидкостного хроматографа HP 3600 MXL, (колонки: Hypesil ODS; 200×2,1 мм; размер частиц 5 мкм; Hр-Innowax; 30 м×0,25 мкм), а также газового хроматографа и капель 105.

Исследования витаминного состава проводились по методике изложенной в ГОСТ 30417-96, ГОСТ Р 52741-2007, ГОСТ Р 50928-96, МУК 2015.5-99, минерального состава по ГОСТ Р 51429-99 (РФ), ГОСТ Р 51430-99 (РФ), углеводного по ГОСТ Р 52187-2003, ГОСТ 8756.13-87, жирнокислотного состава по ГОСТ 30418-96, ГОСТ Р 52677-2006, ГОСТ 30089-93 [21, 22?27].

Из диаграмм (рисунок 5.1) видно, что разработанный нами спред представляет собой прямую эмульсию, вода является дисперсной фазой, распределенной в жировой дисперсионной среде. Стабильность эмульсии поддерживается эмульгатором, представляющим собой дистиллированный моно глицерид. В 100 г разработанного спреда содержится 87 мг холестерина, что в три раза меньше чем в сливочном масле [16, 26].

Установлено, что наиболее эффективное воздействие на организм человека оказывают ненасыщенные жирные кислоты с двойными связями, лежащими между третьим и четвертым, а также шестым и седьмым атомами углерода, если считать от  $\text{СН}_3$ -группы ( $\omega$ -конца молекулы жирной кислоты). Эти кислоты относятся к семействам омега-3 и омега-6 ( $\omega$ -3 и  $\omega$ -6) (таблица 5.1).

Таблица 5.1 – Жирные кислоты семейств омега-3 и омега-6

омега-3	омега-6
$\alpha$ -линоленовая (18:3)	линолевая (18:2)
эйкозапентаеновая (20:5)	$\gamma$ -линоленовая (18:3)
докозагексаеновая (22:6)	арахидоновая (20:4)

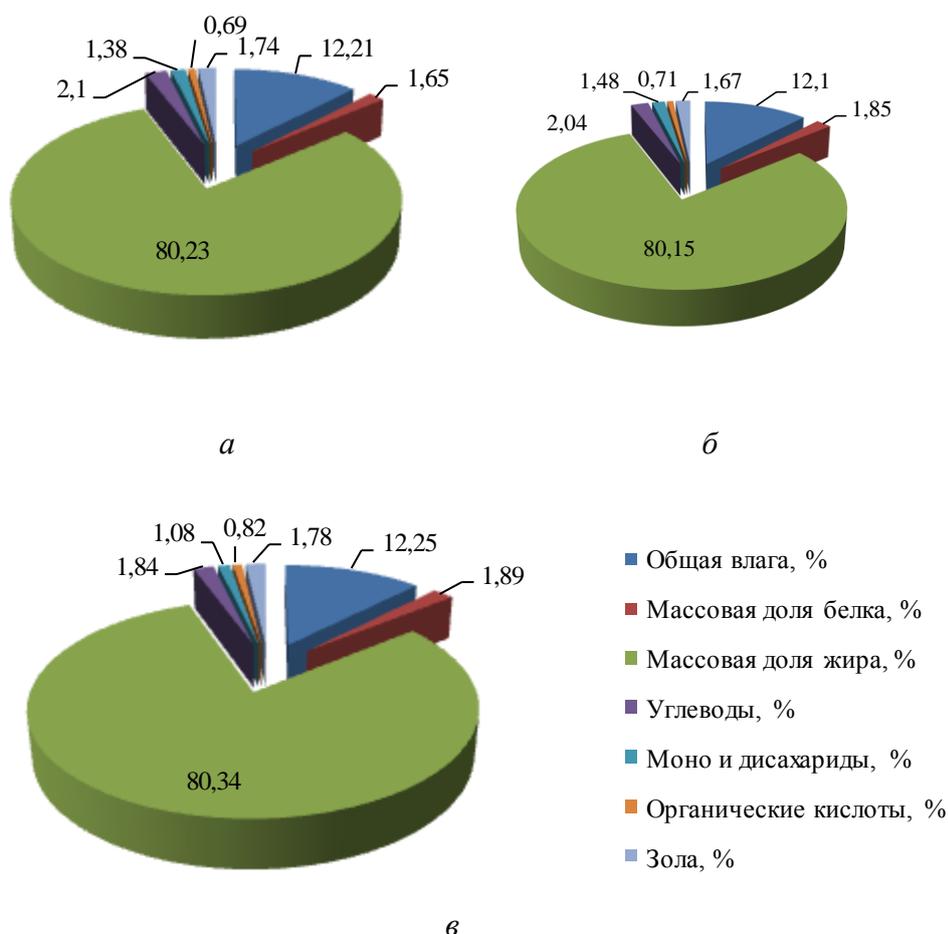


Рисунок 5.1 – Химический состав: а – спред № 1; б – спред № 2; в – спред № 3

Из таблицы 5.2 видно, что 100 г спреда практически полностью удовлетворяют суточную потребность взрослого организма в витаминах *A* и *E*, многие из элементов содержатся в данном продукте, таким образом частично восполняя потребность в них у организма (рисунок 5.2) [20]. Витамин *E* является главным представителем группы антиоксидантов. Он оказывает омолаживающее действие, замедляя старение клеток, вызванное пагубным воздействием свободных радикалов на клетки организма. Витамин

*A* необходим нашему организму для нормального функционирования мочевыводящей системы и легких. К тому же он имеет отношение к здоровью волос, кожи, зубов, костей и зрению. Если мы получаем меньше, чем требуется витамина *A*, то это может привести к так называемой «куриной слепоте».

От недостатка витамина *E* человек может ощущать слабость и апатию. Витамин *E* защищает клетки организма от старения и гибели, так как является антиоксидантом, предохраняя от рака. Витамин *E* улучшает транспортировку кислорода к тканям, защищает эритроциты, препятствует появлению тромбов в сосудах. Применение витамина *E* способствует профилактике атеросклероза.

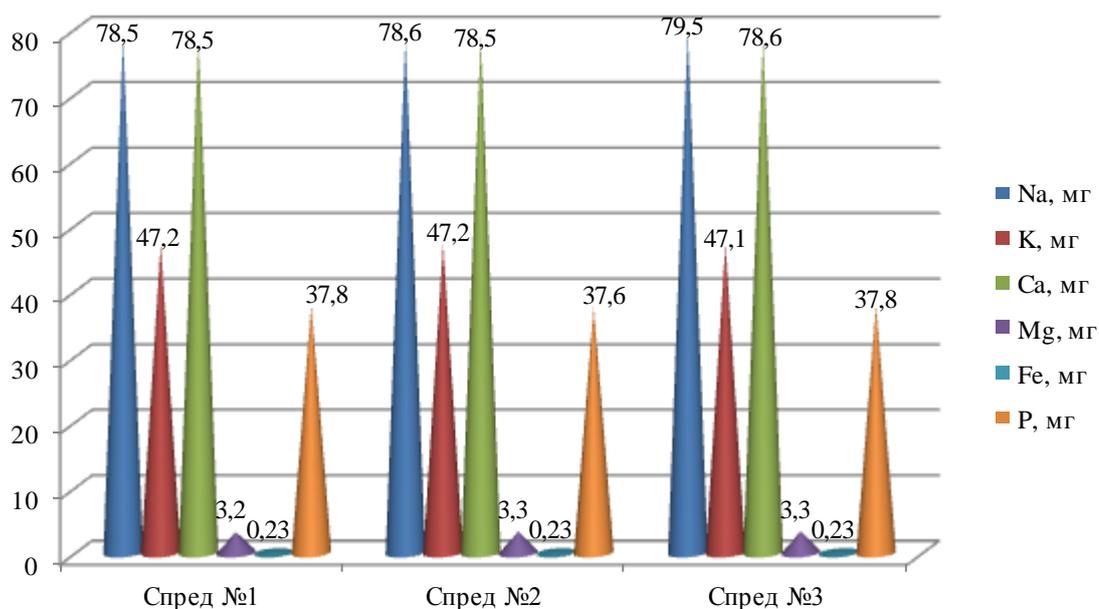


Рисунок 5.2 – Минеральный состав

Таблица 5.2 – Витаминный состав

Номер образца	A, мкг%	A, МЕ/IU	B <sub>1</sub> , мг%	B <sub>2</sub> , мг%	E, мг%	C, мг%	PP, мг%
1	892,1	3689,5	0,027	0,039	7,23	0,25	0,17
2	893,5	3690,7	0,027	0,039	7,82	0,25	0,17
3	892,1	3690,2	0,027	0,039	7,71	0,25	0,17
Норма потребления	800	3000	1,3	2	10	70	20

Таблица 5.3 – Жирнокислотный состав

<i>Измеряемый параметр</i>	<i>Сред №1</i>	<i>Сред №2</i>	<i>Сред №3</i>
<i>Насыщенные:</i>	<b>42,7</b>	<b>42,25</b>	<b>42,43</b>
4:0 Масляная, %	0,63±0,02	0,63±0,02	0,63±0,02
6:0 Капроновая, %	0,67±0,04	0,67±0,04	0,67±0,04
7:0 Энантовая, %	0,18±0,04	0,18±0,04	0,18±0,04
8:0 Каприловая, %	0,34±0,02	0,34±0,02	0,34±0,02
10:0 Каприновая, %	0,57±0,04	0,57±0,04	0,57±0,04
11:0 Ундекановая, %	0,24±0,04	0,24±0,04	0,24±0,04
13:0 Тридекановая, %	0,27±0,04	0,26±0,04	0,27±0,04
12:0 Лауриновая, %	0,84±0,04	0,82±0,04	0,83±0,04
14:0 Миристиновая, %	0,78±0,02	0,69±0,02	0,70±0,02
15:0 Пентадекановая, %	0,51±0,04	0,51±0,04	0,51±0,04
16:0 Пальмитиновая, %	18,34±0,02	18,39±0,02	18,42±0,02
17:0 Маргариновая, %	0,62±0,02	0,62±0,02	0,62±0,02
18:0 Стеариновая, %	13,35±0,02	13,27±0,02	13,25±0,02
20:0 Арахидовая, %	3,02±0,04	2,92±0,04	2,97±0,04
22:0 Бегеновая, %	2,19±0,04	2,02±0,04	2,11±0,04
24:0 Лигноцериновая, %	0,12±0,02	0,12±0,02	0,12±0,02
<i>Мононенасыщенные:</i>	<b>39,5</b>	<b>38,96</b>	<b>38,30</b>
16:1 Пальмитолеиновая, %	1,99±0,04	1,97±0,04	1,98±0,04
18:1 Олеиновая, %	28,28±0,04	27,80±0,04	27,10±0,04
18:1 Элаидиновая, %	3,13±0,04	3,09±0,04	3,10±0,04
14:1 Миристоолеиновая, %	3,34±0,04	3,32±0,04	3,35±0,04
17:1 Маргариноолеиновая, %	2,77±0,04	2,78±0,04	2,77±0,04
<i>Полиненасыщенные:</i>	<b>14,1</b>	<b>15,25</b>	<b>15,39</b>
18:2 Линолевая, %	7,62±0,02	9,59±0,02	10,53±0,02
18:3 Альфа-линоленовая, %	3,68±0,04	3,21±0,04	2,76±0,04
18:3 Гамма-линоленовая, %	2,80±0,04	2,45±0,04	2,91±0,04

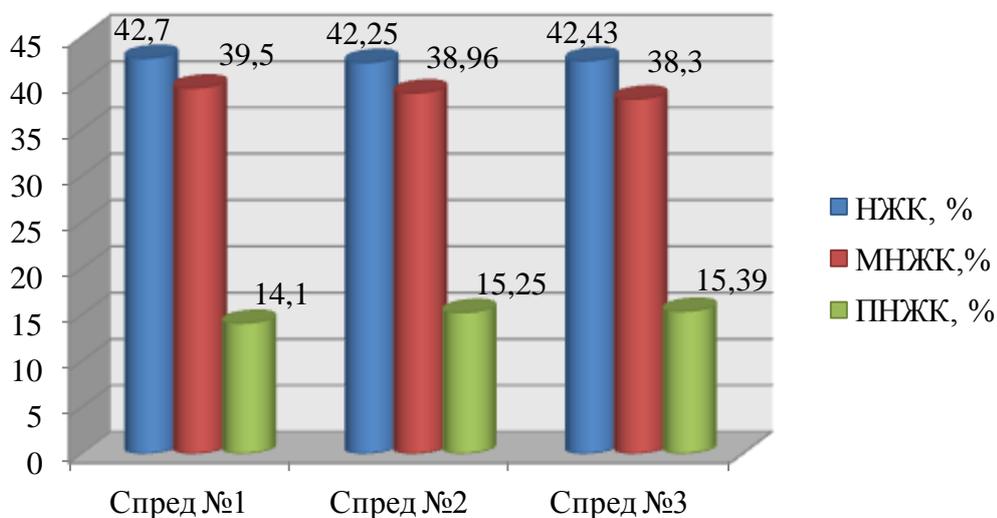


Рисунок 5.3 – Соотношение групп жирных кислот

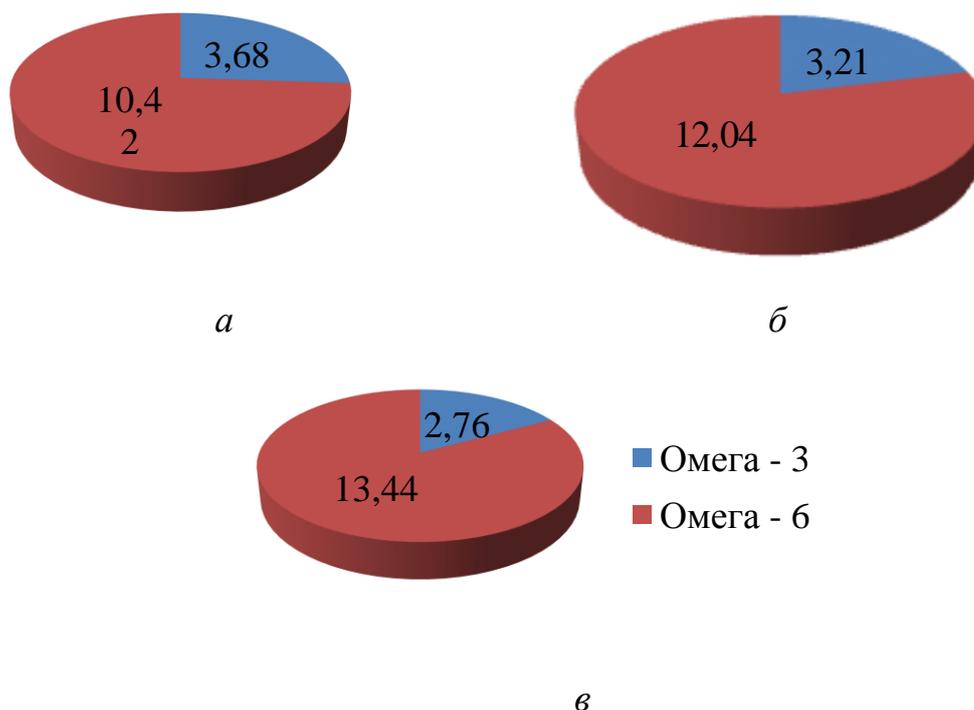


Рисунок 5.4 – Соотношение жирных кислот групп  $\omega$ -3: $\omega$ -6  
 а – спред № 1, б – спред № 2, в – спред № 3

Анализируя жирнокислотный состав образцов спреда (рисунок 5.4) можно сделать вывод о том, что он соответствует заявленным требованиям соотношению жирных кислот групп  $\omega$ -3 к  $\omega$ -6 действительно равно: 1:2,83; 1:3,75; 1:4,87 [19, 21, 29, 73]. Повышено содержание мононенасыщенных жирных кислот. Содержание трансизомеров жирных кислот незначительно [70, 95].

## 5.2 Определение температуры плавления жировой основы разрабатываемого спреда

Температура плавления одна из важнейших характеристик жировых продуктов, характеризующая потребительские и технологические свойства продукта, его усвояемость. Температура плавления пищевого жира не должна быть больше температуры тела человека, иначе он не будет усваиваться организмом.

Согласно ГОСТ Р 52100 температура плавления жира, выделенного из сливочно-растительного спреда, должна находиться в диапазоне от 27 до 36 °С. Для выбранной смеси жиров о рецептуре №2, а также для чистого молочного жира были определены температуры плавления методом открытого капилляра.

Для этого взвешивали отдельные компоненты смеси на технических весах. Затем расплавляли на водяной бане при 80 °С и смешивали. Данные по температурам плавления приведены в таблице 5.4.

Таблица 5.4 – Температура плавления экспериментальных рецептур и молочного жира

Продукт	Средняя температура плавления, °С
Рецептура №1	27,6
Рецептура №2	27,4
Рецептура №3	27,5
Молочный жир	29,3

Таким образом, разработанные рецептуры спредов будут соответствовать требованиям ГОСТ 52100-2003 «Спреды и смеси топленые» по температуре плавления.

### 5.3 Экспертная оценка качества спреда

Для экспертной оценки органолептических характеристик разработанных спредов была выбрана комиссия в составе 6 человек. Среди экспертов имели место следующие соотношения:

- распределение по половому признаку: 3 женщин и 3 мужчин;
- распределение по возрастным группам: 21-40 лет – 2, 41-60 лет – 4,
- распределение по образованию: высшее образование – 6,
- род деятельности: 6 занимаются выполнением научных исследований, из них 4 – в области пищевой промышленности.

Экспертная комиссия собиралась для дегустации трех разновидностей спреда два раза: в начале рекомендуемого срока хранения продукта и в конце (через 10 суток). Экспертам предлагалось оценить органолептические показатели качества: цвет, вкус, запах, консистенцию и поверхность среза продукта.

Каждый из показателей оценивался по десятибалльной шкале. Характеристики каждой из оценок представлены в таблице 5.5.

Таблица 5.5 – Характеристика каждой из оценок

Оценка	Цвет	Вкус	Запах	Консистенция	Поверхность среза
1	2	3	4	5	6
10	Светло-желтый, однородный по всей массе.	Сладкосливочный	Сладкосливочный	Пластичная, однородная и мягкая.	Блестящая
9	Светло-желтый с белыми вкраплениями	Сладкосливочный с легким специфическим привкусом	Сладкосливочный с легким ароматом арахиса	Пластичная, с небольшими вкраплениями, мягкая	Слабоблестящая
8	Желтый однородный по всей массе	Сладкосливочный с специфическим привкусом	Сладкосливочный с ярко выраженным ароматом арахиса	Пластичная однородная с вкраплениями мягкая	Слабоблестящая сухая на вид
7	Желтый не однородный по всей массе с белыми вкраплениями	Сладкосливочный с выраженным специфическим привкусом	Сладкосливочный с посторонними запахами	Пластичная не однородная, мягкая	Слабоблестящая с неровностями
6	Желтый не однородный по всей массе с светло-желтыми вкраплениями	Кислосливочный	Кислосливочный с легким ароматом арахиса	Пластичная не однородная, с твердыми участками	Блестящая с неровностями
5	Желтый не однородный по всей массе с темно-желтыми вкраплениями	Кислосливочный с легким специфическим привкусом	Кислосливочный с легким специфическим ароматом	Пластичная не однородная, твердая	Слабоблестящая с капельками воды
4	Темно-желтый однородный по всей массе	Кислосливочный с специфическим привкусом	Кислосливочный с специфическим ароматом	Непластичная однородная мягкая	Не блестящая

1	2	3	4	5	6
3	Темно-желтый не однородный по всей массе	Кислосливочный с ярко выраженным специфическим привкусом	Кислосливочный с ярко выраженным специфическим ароматом	Непластичная, с небольшими вкраплениями мягкая	Не блестящая не однородная
2	Коричневый однородный по всей массе	Кислый	Кислый	Непластичная, неоднородная, мягкая	Не блестящая с неровностями
1	Коричневый не однородный по всей массе	Кислый с специфическим привкусом	Кислый с специфическим ароматом	Непластичная, неоднородная, твердая	Не блестящая с капельками воды

Результаты экспертных оценок приведены в таблицах 5.6 - 5.11.

Для определения тесноты связи между произвольным числом ранжированных признаков применяется множественный коэффициент корреляции (коэффициент конкордации). В практике статистических исследований встречаются случаи, когда совокупность объектов характеризуется не двумя, а несколькими последовательностями рангов, необходимо установить статистическую связь между несколькими переменными. В качестве такого измерителя используют множественный коэффициент корреляции (коэффициент конкордации) рангов Кендалла, определяемой по следующей формуле:

$$W = \frac{S}{S_{\max}} = \frac{\sum_{i=1}^m \left\{ \sum_{j=1}^p a_{ij} - \frac{1}{2} p(m+1) \right\}^2}{\frac{1}{12} m p^2 (m^2 - 1)}, \quad (5.1)$$

где  $S$  – сумма квадратов отклонений всех оценок каждого объекта экспертизы от среднего значения;  $m$  – число анализируемых порядковых переменных;  $p$  – число экспертов.

$$S = \sum_{i=1}^m \left\{ \sum_{j=1}^p a_{ij} - \frac{1}{2} p(m+1) \right\}^2 \quad (5.2)$$

$S$  достигает максимального значения, если все  $p$  экспертов одинаково оценят каждое событие.

Коэффициент конкордации принимает значения из отрезка  $[0;1]$ . Воз-

растание коэффициента от 0 к 1 доказывает большую согласованность суждений. Если все эти суждения совпадают, то  $W = 1$ .

В том случае, если последовательность (5.1) кроме строгих неравенств имеет равенства, т.е. существует совпадение рангов, то формула для вычисления коэффициента конкордации имеет вид:

$$W = \frac{S}{\frac{1}{12}mp^2(m^2 - 1) - p \sum_{j=1}^p T_j} \quad (5.3)$$

где  $T_j = \frac{1}{12} \sum_{k_i} (t_j^3 - t_j)$   $k_i$  – число повторяющихся рангов в  $j$ -м ряду;  $t_j$  – число повторений каждого ранга в  $j$ -м ряду.

Когда ранги повторяются, то для получения нормальной ранжировки, имеющей среднее значение ранга, равное

$$a = \frac{1}{2}p(m + 1) \quad (5.4)$$

необходимо приписать событиям, имеющим одинаковые ранги, ранг, равный среднему значению мест, которые эти события поделили между собой. Таким образом, получаем нормальную ранжировку.

$$S = (7,5 - 18)^2 + (22 - 18)^2 + (22 - 18)^2 + (25,5 - 18)^2 + (18 - 18)^2 = 199,75$$

$$T_1 = \frac{1}{12}((2^3 - 2) + (2^3 - 2)) = 1$$

$$T_2 = \frac{1}{12}(4^3 - 4) = 5$$

$$T_3 = \frac{1}{12}(4^3 - 4) = 5$$

$$T_4 = \frac{1}{12}(4^3 - 4) = 5$$

$$T_5 = \frac{1}{12}(4^3 - 4) = 5$$

$$T_6 = \frac{1}{12}((2^3 - 2) + (2^3 - 2)) = 1$$

$$W = \frac{199,75}{\frac{1}{12} \cdot 5 \cdot 6^2 (5^2 - 1) - 6(1+5+5+5+5+1)} = 0,88.$$

Таблица 5.6 – Экспертная оценка спреда № 1 после выработки

Наименование показателя		События				
		Цвет	Вкус	Запах	Консистенция	Поверхность среза
Оценки экспертов $a_{ij}$	1 эксперт $j=1$	10	9	9	10	10
	2 эксперт $j=2$	10	10	10	10	10
	3 эксперт $j=3$	10	10	10	10	10
	4 эксперт $j=4$	10	10	10	9	10
	5 эксперт $j=5$	10	10	10	10	10
	6 эксперт $j=6$	10	9	9	10	10
Ранг важности $a_{ij}$	1 эксперт $j=1$	1	4,5	4,5	2,5	2,5
	2 эксперт $j=2$	1	3,5	3,5	3,5	3,5
	3 эксперт $j=3$	1	3,5	3,5	3,5	3,5
	4 эксперт $j=4$	2,5	2,5	2,5	5	2,5
	5 эксперт $j=5$	1	3,5	3,5	3,5	3,5
	6 эксперт $j=6$	1	4,5	4,5	2,5	2,5
Суммарный ранг важности		7,5	22	22	25,5	18

Таблица 5.7 – Экспертная оценка спреда № 2 после выработки

Наименование показателя		События				
		Цвет	Вкус	Запах	Консистенция	Поверхность среза
Оценки экспертов $a_{ij}$	1 эксперт $j=1$	10	9	10	10	10
	2 эксперт $j=2$	10	10	9	10	10
	3 эксперт $j=3$	10	10	9	10	9
	4 эксперт $j=4$	10	9	10	10	10
	5 эксперт $j=5$	10	10	10	10	10
	6 эксперт $j=6$	10	9	10	10	10
Ранг важности $a_{ij}$	1 эксперт $j=1$	1	5	3	3	3
	2 эксперт $j=2$	1	3	5	3	3
	3 эксперт $j=3$	1	2,5	4,5	2,5	4,5
	4 эксперт $j=4$	1	5	3	3	3
	5 эксперт $j=5$	1	3,5	3,5	3,5	3,5
	6 эксперт $j=6$	1	5	3	3	3
Суммарный ранг важности		6	24	22	18	20

$$S = (6-18)^2 + (24-18)^2 + (22-18)^2 + (18-18)^2 + (20-18)^2 = 201$$

$$T_1 = \frac{1}{12}(3^3 - 3) = 2$$

$$T_2 = \frac{1}{12}(3^3 - 3) = 2$$

$$T_3 = \frac{1}{12}((2^3 - 2) + (2^3 - 2)) = 1$$

$$T_4 = \frac{1}{12}(3^3 - 3) = 2$$

$$T_5 = \frac{1}{12}(4^3 - 4) = 5$$

$$T_6 = \frac{1}{12}(3^3 - 3) = 2$$

$$W = \frac{201}{\frac{1}{12} \cdot 5 \cdot 6^2 (5^2 - 1) - 6(2+2+1+2+5+2)} = 0,73$$

Таблица 5.8 – Экспертная оценка спреда № 3 после выработки

Наименование показателя		События				
		Цвет	Вкус	Запах	Консистенция	Поверхность среза
Оценки экспертов $a_{ij}$	1 эксперт j=1	10	9	9	10	10
	2 эксперт j=2	10	10	10	10	10
	3 эксперт j=3	10	10	9	10	10
	4 эксперт j=4	10	10	9	10	10
	5 эксперт j=5	10	10	10	10	10
	6 эксперт j=6	10	9	9	10	10
Ранг важности $a_{ij}$	1 эксперт j=1	1	4,5	4,5	2,5	2,5
	2 эксперт j=2	1	3,5	3,5	3,5	3,5
	3 эксперт j=3	1	2,5	5	2,5	2,5
	4 эксперт j=4	1	2,5	5	2,5	2,5
	5 эксперт j=5	1	3,5	3,5	3,5	3,5
	6 эксперт j=6	1	4,5	4,5	2,5	2,5
Суммарный ранг важности		6	20	25	18	18

$$S = (6-18)^2 + (20-18)^2 + (25-18)^2 + (18-18)^2 + (18-18)^2 = 199$$

$$T_1 = \frac{1}{12}((2^3 - 2) + (2^3 - 2)) = 1$$

$$T_2 = \frac{1}{12}(4^3 - 4) = 5$$

$$T_3 = \frac{1}{12}(3^3 - 3) = 2$$

$$T_4 = \frac{1}{12}(4^3 - 4) = 5$$

$$T_5 = \frac{1}{12}(4^3 - 4) = 5$$

$$T_6 = \frac{1}{12}((2^3 - 2) + (2^3 - 2)) = 1$$

$$W = \frac{199}{\frac{1}{12} \cdot 5 \cdot 6^2 (5^2 - 1) - 6(1 + 5 + 2 + 5 + 5 + 1)} = 0,81$$

Таблица 5.9 – Экспертная оценка спреда № 1 через 10 суток

Наименование показателя		События				
		Цвет	Вкус	Запах	Консистенция	Поверхность среза
Оценки экспертов $a_{ij}$	1 эксперт j=1	10	9	9	10	10
	2 эксперт j=2	10	8	9	9	10
	3 эксперт j=3	10	7	10	10	10
	4 эксперт j=4	10	8	10	9	10
	5 эксперт j=5	10	8	9	10	10
	6 эксперт j=6	10	7	9	10	10
Ранг важности $a_{ij}$	1 эксперт j=1	1	4,5	4,5	2,5	2,5
	2 эксперт j=2	1	5	3,5	3,5	2
	3 эксперт j=3	1	5	3	3	3
	4 эксперт j=4	1	5	2,5	4	2,5
	5 эксперт j=5	1	5	4	2,5	2,5
	6 эксперт j=6	1	5	4	2,5	2,5
Суммарный ранг важности		6	29,5	20,5	18	15

$$S = (6-18)^2 + (29,5-18)^2 + (20,5-18)^2 + (18-18)^2 + (15-18)^2 = 292,5$$

$$T_1 = \frac{1}{12}((2^3 - 2) + (2^3 - 2)) = 1$$

$$T_2 = \frac{1}{12}(2^3 - 2) = 0,5$$

$$T_3 = \frac{1}{12}(3^3 - 3) = 2$$

$$T_4 = \frac{1}{12}(2^3 - 2) = 0,5$$

$$T_5 = \frac{1}{12}(2^3 - 2) = 0,5$$

$$T_6 = \frac{1}{12}(2^3 - 2) = 0,5$$

$$W = \frac{292,5}{\frac{1}{12} \cdot 5 \cdot 6^2 (5^2 - 1) - 6(1 + 0,5 + 2 + 0,5 + 0,5 + 0,5)} = 0,89$$

Таблица 5.10 – Экспертная оценка спреда № 2 через 10 суток

Наименование показателя		События				
		Цвет	Вкус	Запах	Консистенция	Поверхность среза
Оценки экспертов $a_{ij}$	1 эксперт j=1	10	9	9	10	10
	2 эксперт j=2	10	8	9	10	10
	3 эксперт j=3	10	7	9	10	10
	4 эксперт j=4	10	8	8	10	10
	5 эксперт j=5	10	8	9	10	10
	6 эксперт j=6	10	7	9	10	10
Ранг важности $a_{ij}$	1 эксперт j=1	2	4,5	4,5	2	2
	2 эксперт j=2	2	5	4	2	2
	3 эксперт j=3	2	5	4	2	2
	4 эксперт j=4	2	4,5	4,5	2	2
	5 эксперт j=5	2	5	4	2	2
	6 эксперт j=6	2	5	4	2	2
Суммарный ранг важности		12	29	25	12	12

$$S = (12 - 18)^2 + (29 - 18)^2 + (25 - 18)^2 + (12 - 18)^2 + (12 - 18)^2 = 278$$

$$T_1 = \frac{1}{12}((2^3 - 2) + (2^3 - 2)) = 1$$

$$T_2 = \frac{1}{12}(3^3 - 3) = 2$$

$$T_3 = \frac{1}{12}(3^3 - 3) = 2$$

$$T_4 = \frac{1}{12}((3^3 - 3) + (2^3 - 2)) = 2,5$$

$$T_5 = \frac{1}{12}(3^3 - 3) = 2$$

$$T_6 = \frac{1}{12}(3^3 - 3) = 2$$

$$W = \frac{278}{\frac{1}{12} \cdot 5 \cdot 6^2 (5^2 - 1) - 6(1 + 2 + 2 + 2,5 + 2 + 2)} = 0,96$$

Таблица 5.11 – Экспертная оценка спреда № 3 через 10 суток

Наименование показателя		События				
		Цвет	Вкус	Запах	Консистенция	Поверхность среза
Оценки экспертов $a_{ij}$	1 эксперт $j=1$	10	9	10	10	10
	2 эксперт $j=2$	10	9	8	10	10
	3 эксперт $j=3$	10	9	9	10	10
	4 эксперт $j=4$	10	9	9	10	10
	5 эксперт $j=5$	10	9	10	10	10
	6 эксперт $j=6$	10	9	9	10	10
Ранг важности $a_{ij}$	1 эксперт $j=1$	2,5	5	2,5	2,5	2,5
	2 эксперт $j=2$	2	5	4	2	2
	3 эксперт $j=3$	2	4,5	4,5	2	2
	4 эксперт $j=4$	2	4,5	4,5	2	2
	5 эксперт $j=5$	2,5	5	2,5	2,5	2,5
	6 эксперт $j=6$	2	4,5	4,5	2	2
Суммарный ранг важности		13	28,5	22,5	13	13

$$S = (13-18)^2 + (28,5-18)^2 + (22,5-18)^2 + (13-18)^2 + (13-18)^2 = 205,5$$

$$T_1 = \frac{1}{12}(4^3 - 4) = 5$$

$$T_2 = \frac{1}{12}(3^3 - 3) = 2$$

$$T_3 = \frac{1}{12}((3^3 - 3) + (2^3 - 2)) = 2,5$$

$$T_4 = \frac{1}{12}(3^3 - 3) = 2$$

$$T_5 = \frac{1}{12}(4^3 - 4) = 5$$

$$T_6 = \frac{1}{12}((3^3 - 3) + (2^3 - 2)) = 2,5$$

$$W = \frac{205,5}{\frac{1}{12} \cdot 5 \cdot 6^2 (5^2 - 1) - 6(1 + 2 + 2 + 2,5 + 2 + 2)} = 0,83$$

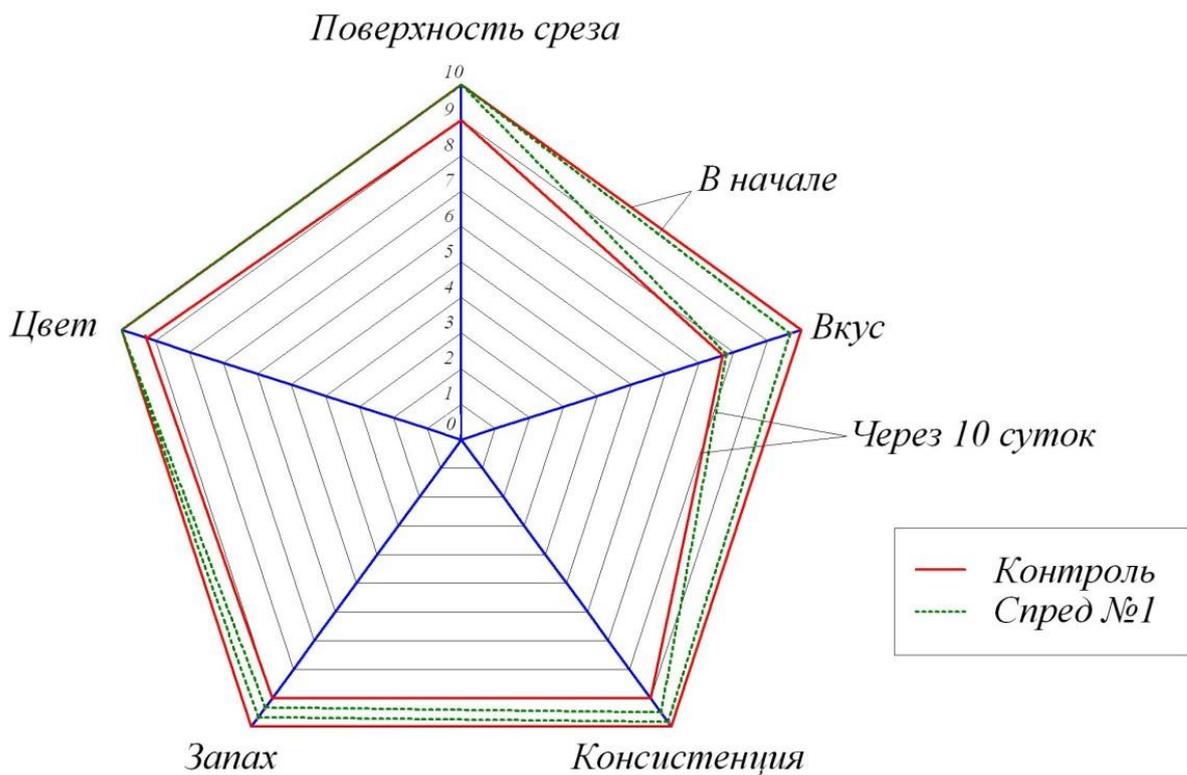


Рисунок 5.5 – Профилограмма органолептических показателей спреда №1 при хранении

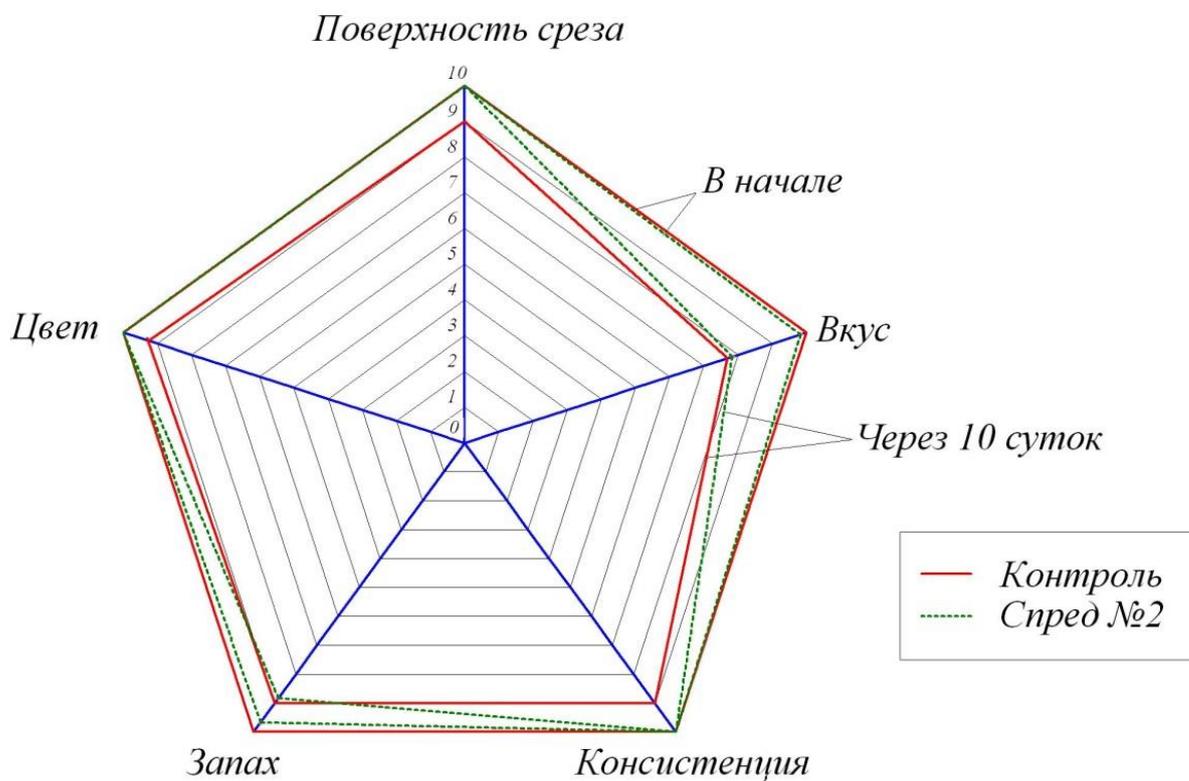


Рисунок 5.6 – Профилограмма органолептических показателей спреда №2 при хранении

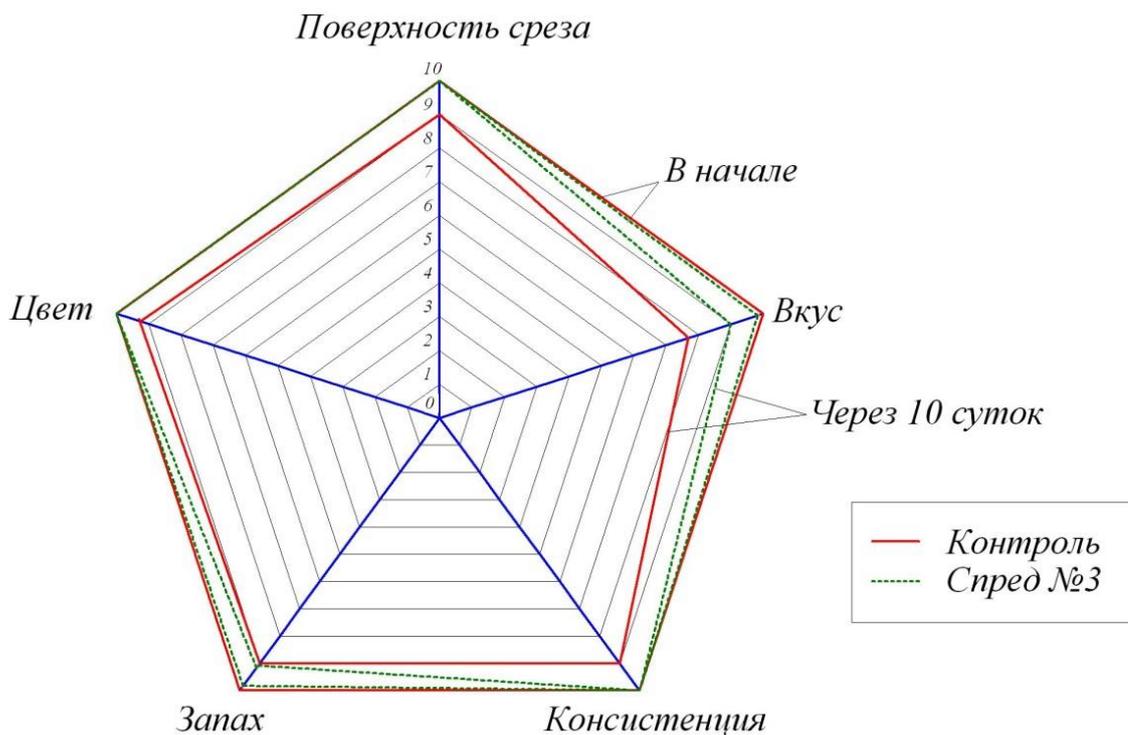


Рисунок 5.7 – Профилограмма органолептических показателей спреда №3 при хранении

В целом, эксперты дали высокую оценку (рисунки 5.5 – 5.7) органолептическим показателям качества спреда и порекомендовали образцы для промышленного производства (Приложение 3).

#### 5.4 Анализ консистенции «пробой на срез»

Оценка консистенции спреда проводилась через 48 ч после начала температурирования при различных температурах. Перед проведением оценки консистенции спред отепливался до необходимой температуры. Методика проведения исследований представлена в приложении В. Анализ консистенции готового спреда представлен в таблице 5.12.

Таблица 5.12 – Анализ консистенции спреда

Показатели	Готовый спред
Консистенция при 0...-2 <sup>0</sup> С	Пластинка толщиной 0,5 см при отрезании разделяется на слои
Консистенция при 10...12 <sup>0</sup> С	Пластинка толщиной 0,2 см выдерживает изгиб не ломаясь, имеет плотную ровную поверхность и края

## 5.5 Определение термоустойчивости

Определение термоустойчивости сводится к контролю спреда сохранять форму (не деформироваться под действием собственной массы) при температуре 28...30 °С.

Из образцов спреда с помощью пробоотборника вырезают цилиндрики установленного размера (высотой и диаметром около 20 мм) и осторожно размещают их на стеклянной пластинке с номерами проб на расстоянии 2...3 см друг от друга. Затем пластинку с пробами помещают в термостат с заранее отрегулированной температурой  $30 \pm 1$  °С, где выдерживают в течение 2 ч.

По окончании выдержки пробы осторожно (без толчков) достают из термостата, помещают на миллиметровую бумагу и измеряют диаметр основания каждого цилиндрика. В том случае, если основание пробы продукта имеет эллипсовидную форму, то измеряют минимальный и максимальный диаметр и вычисляют среднее значение.

Для характеристики термоустойчивости спреда подсчитывают коэффициент термоустойчивости ( $K_T$ ), равный отношению начального диаметра основания цилиндрика ( $D_0$ ) к его среднему диаметру после термостатирования ( $D_1$ ):

$$K_T = \frac{D_1}{D_0} \quad (5.5)$$

Показатель термоустойчивости  $K_T$  близкий к единице характеризует высокую термоустойчивость, а сильно отклоняющийся от единицы – низкую.

Шкала определения термоустойчивости спреда: 1 – хорошая ( $K_T = 1 \dots 0,86$ ); 2 – удовлетворительная ( $K_T = 0,85 \dots 0,7$ ); 3 – неудовлетворительная ( $K_T < 0,7$ ).

Коэффициент термоустойчивости получился равен соответственно для трех рецептур: 0,85, 0,86 и 0,82. Таким образом, полученный спред имеет удовлетворительный коэффициент термоустойчивости.

## 5.6 Определение физико-химических показателей

Кислотное число спреда составило соответственно для трех рецептур:  $KЧ_1 = 1,82$  мгКОН/г,  $KЧ_2 = 1,62$  мгКОН/г,  $KЧ_3 = 1,57$  мгКОН/г; перекисное число:  $ПЧ_1 = 4,98$  ммоль акт.О/г,  $ПЧ_2 = 4,28$  ммоль акт.О/г,  $ПЧ_3 = 3,98$  ммоль акт.О/г. Такие высокие показатели КЧ и ПЧ связаны с тем, что при производстве использовались нерафинированные растительные масла. Однако, исключение цикла рафинации позволяет сохранить все полезные свойства, которыми обладают льняное и арахисовое масла [15, 20].

Показатель содержания твердой фазы триглицеридов (ТТГ) – основной показатель при производстве заменителей молочного жира. Содержание твердых триглицеридов позволяет понять изменение консистенции жира (масла) при определенной температуре. Определение производилось методом импульсного ядерно-магнитного резонанса на приборе ЯМР-анализаторе.

Первоначально из спреда выделяли жировую фазу. Затем расплавленный жир заливали в 2 пробирки (высота заполнения 5-6 см) и выдерживали на водяной бане при  $80\text{ }^{\circ}\text{C}$ , с целью полного расплавления. Первый замер производили при температуре  $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ , далее замеры производили при 15, 20, 25, 30 и  $35\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Содержание ТТГ полученного спреда и сливочного масла представлены в таблице 5.13.

Таблица 5.13 – Содержание ТТГ в спреде и сливочном масле

Температура, $^{\circ}\text{C}$	Содержание ТТГ, %			
	Рецептура №1	Рецептура №2	Рецептура №3	Сливочное масло
10	18,8	19,2	19,0	39,5
15	11,0	12,0	12,1	27,3
20	6,3	7,1	7,3	14,4
25	3,6	4,2	4,4	8,5
30	1,3	1,9	1,8	3,8
35	0,1	0,2	0,2	0,3

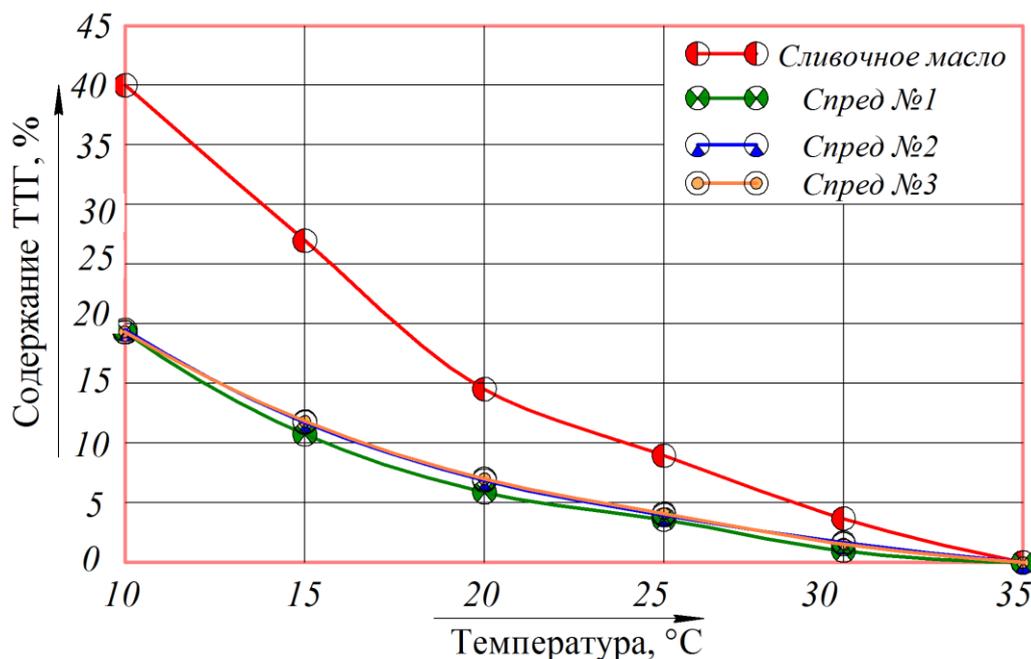


Рисунок 5.8 – График содержания ТТГ в сливоочном масле и в образцах спреда

Полученный спред получился мягче, чем сливоочное масло 72,5 %-ной жирности за счет использования растительных масел, которые являются жидкими при комнатной температуре. Это делает его более мягким, пластичным, чем сливоочное масло.

### 5.7 Исследование устойчивости спреда при хранении

Устойчивость при хранении спреда, также как и сливоочного масла, характеризуется не только изменением органолептических показателей, но и увеличением активной кислотности молочной плазмы.

Согласно ГОСТ Р 52100 «Спреды и смеси топленые» активная кислотность молочной плазмы в течение всего гарантийного срока годности должна составлять 4,2 – 6,7 единиц рН.

В процессе хранения спреда от момента выработки до 10 суток при температуре  $(4 \pm 2)$  °C существенных изменений органолептических показателей не наблюдалось. На 13 сутки вкус становился более горький, появлялся сильный запах исходных масел (льняного и арахисового). Изменение актив-

ной кислотности молочной плазмы происходило в сторону снижения показателей, что приводило к появлению излишне кислого вкуса спреда в конце хранения (рисунок 5.9).

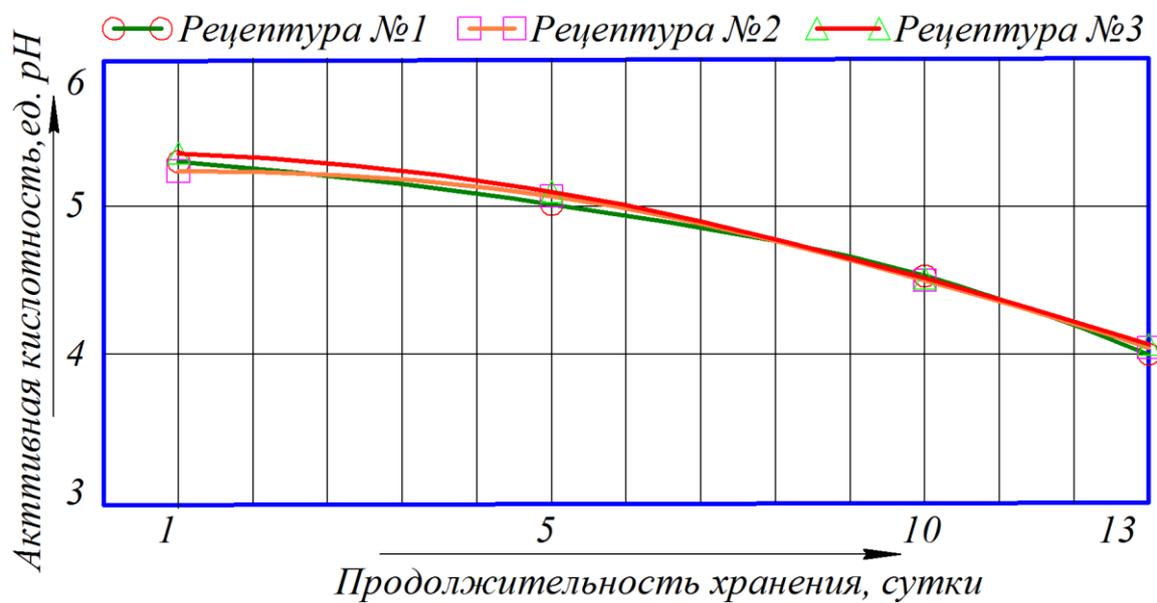


Рисунок 5.9 – Изменение активной кислотности молочной плазмы спреда в процессе хранения

Таким образом, рекомендуемый срок хранения разработанного спреда – 10 суток при температуре  $(4 \pm 2)^\circ\text{C}$ .

## Глава 6. РАЗРАБОТКА СПОСОБА ПРОИЗВОДСТВА СПРЕДОВ, СБАЛАНСИРОВАННЫХ ПО ЖИРНОКИСЛОТНОМУ СОСТАВУ, И ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ ПРОЦЕССА ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

### 6.1 Разработка способа производства спредов

Масличные культуры (арахис, кукуруза, лен) при поступлении на производство очищают от сорных примесей и сушат путем продувания сухим теплым воздухом. Каждая культура прессуется отдельно, а затем смешивается в соотношении 11,01 : 5 : 10,01 при котором достигается соотношение жирных кислот  $\omega$ -3 :  $\omega$ -6 = 1 : 3.

При выборе рецептурного состава сливочно-растительного спреда учитывали ряд факторов: повышенное содержание полиненасыщенных жирных кислот класса  $\omega$  -3 и  $\omega$  -6, мононенасыщенных жирных кислот, адекватный уровень поступления в организм токоферолов (таблица 6.1).

Таблица 6.1 – Рецептура разрабатываемого спреда

Наименование компонента	Содержание в 10 кг готового спреда, кг
Масло арахисовое	1,101
Масло кукурузное	0,5
Масло льняное	1,001
Сливки, 30%	3,401
СОМ	0,4
Вода	3,502
Эмульгатор	0,095
Итого	10

После анализа жирнокислотного состава масличных культур были выбраны три растительных составляющих смеси: арахис, кукуруза, лен.

Арахис, кукуруза и лен для создания купажа растительных масел, на основе которого производится спред, должны быть свежими, здоровыми, с высоким содержанием масла, соответствующей окраски. Используемые для получения спреда масличные культуры являются недорогими и широко распространенными.

Полученное посредством холодного отжима масло очищается в фильтре и смешивается. Полученный купаж масел направляется в бункер временного хранения масла, откуда направляется на эмульгирование.

Предварительно восстанавливали сухое обезжиренное молоко умягченной водой, нагретой до температуры 40 °С, в соотношении 9 : 1. Затем полученное обезжиренное молоко подвергали высокой пастеризации при 95-99 °С с выдержкой в течение 1 часа для придания вкуса топленого молока.

Далее в эмульсионный танк вносят растительные масла, сливки, эмульгатор, отфильтрованное обезжиренное молоко и подвергают эмульгированию в течение 30 мин при температуре 65 °С. Температура компонентов при смешении должна отличаться не более чем на 5 °С.

Полученная эмульсионная смесь направляется на трехступенчатую кристаллизацию: на первой стадии эмульсионную смесь обрабатывают при температуре 22 °С в течение 40 с, на второй стадии обрабатывают при температуре 11 °С в течение 20 с, на третьей стадии обрабатывают при температуре 10 °С в течение 200 с, готовый закристаллизованный спред охлаждают до температуры +2 С в течение 36 часов.

Технический результат заключается в улучшении качества готовой продукции, за счет использования растительных масел, позволяющих повысить содержание в готовом продукте полиненасыщенных жирных кислот, получение необходимого соотношения жирных кислот  $\omega -3 : \omega -6 = 1 : 3$  для людей, испы-

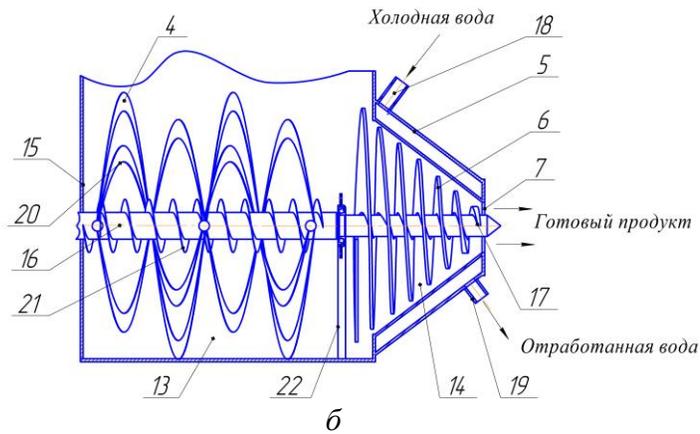
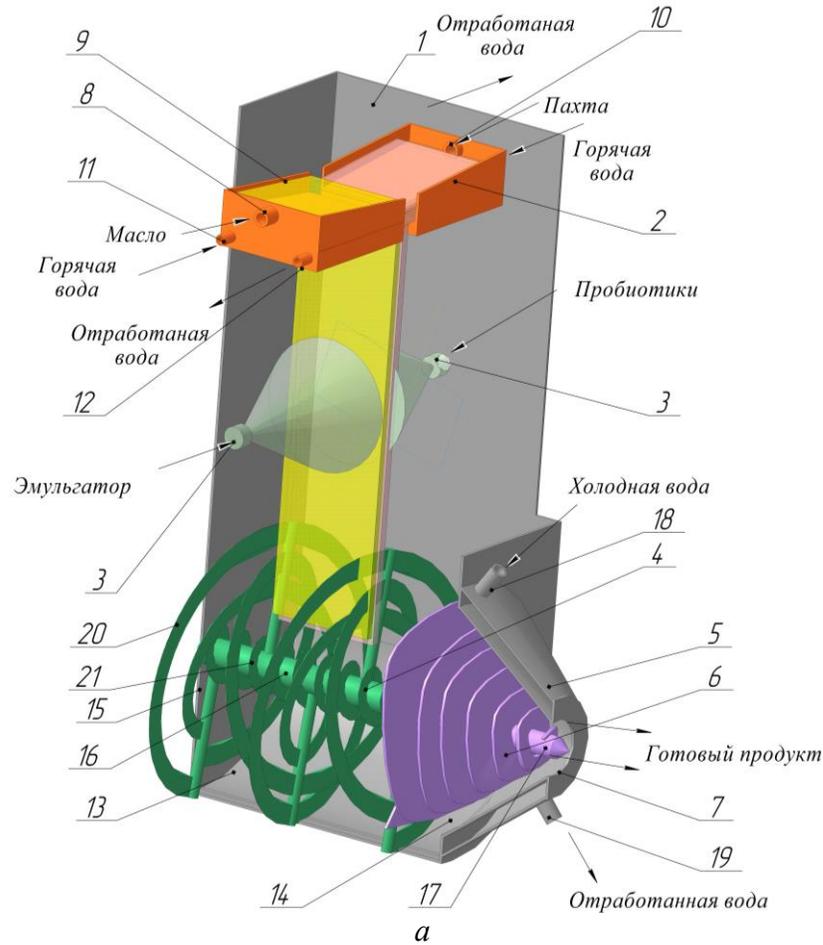
тывающих дефицит в полиненасыщенных жирных кислотах, достижение поступления необходимого количества токоферолов, защищающих жирные кислоты от свободно радикального окисления в организме человека при избыточном потреблении полиненасыщенных жирных кислот, снижение материальных и энергетических затрат на производство сливочно-растительных спредов за счет объединения процессов получения растительных масел, формирования эмульсии и ее кристаллизации [77].

## 6.2 Разработка конструкции эмульсера

Эмульсер (рисунок 6.1) включает вертикальный прямоугольный корпус 1, в верхней части которого установлены друг навстречу другу два наклонных подающих лотка 2 и 9. В передней стенке лотка 2 имеется загрузочный патрубок 10 для подачи одного из исходных компонентов (например, пахты), а в передней стенке лотка 9 – загрузочный патрубок 8 для подачи второго из исходных компонентов (например, растительного масла). Лотки 2 и 9 имеют двойное дно. Нижняя плоскость каждого из лотков 2 и 9 обогревается горячей водой, подаваемой через патрубки 11 в двойное дно, а отработанный теплоноситель удаляется через патрубки 12. Подогрев исходных компонентов необходим для понижения их вязкости и равномерного растекания по всей площади горизонтальной наклонной и обогреваемой поверхности лотков.

Задние стенки лотков 2 и 9 между собой не соприкасаются: между ними имеется зазор для стекания в виде тонкой пленки исходных компонентов, которые при стекании с поверхности лотков соприкасаются между собой, образуя одну стекающую пленку.

Под каждым из лотков 2 и 9 в двух противоположных боковых стенках корпуса 1 установлены распылительные форсунки 3 для подачи жидких компонентов.



1 – корпус, 2, 9 – подающий лоток, 3 – распылительная форсунка, 4 – лента мешалки меньшего диаметра, 5 – двутельный корпус конусообразной части смесителя, 6 – шнек, 7 – выгрузочное отверстие, 8, 10 – загрузочный патрубок, 11 – патрубок для подачи горячей воды, 12 – патрубок для отвода теплоносителя, 13 – первая смешивальная камера, 14 – вторая смешивальная камера, 15 – смеситель, 16 – быстроходный вал, 17 – тихоходный вал, 18 – патрубок для входа холодной воды, 19 – патрубок для отвода отработанной воды, 20 – лента мешалки большего диаметра, 21 – шнек, 22 – опоры  
Рисунок 6.1 – Эмульсер (а) и смешивальная камера (б)

Причем одна форсунка 3 распыляет эмульгатор, а вторая – водный раствор пробиотиков (например, бифидобактерии, лактобактерии). Число форсунок 3, устанавливаемых в двух противоположных боковых стенках корпуса 1, в зависимости от количества вводимых ингредиентов может изменяться. С помощью распыляющих форсунок 3 происходит равномерное распределение эмульгатора и водного раствора пробиотиков по поверхности стекающей пленки продукта.

Прямоугольный корпус 1 вертикально установлен на смеситель 15, имеющий корытообразную форму. Смеситель 15 включает в себя две последовательно расположенные камеры: первая камера 13 находится под цилиндрическим прямоугольным корпусом 1, а вторая 14 – в конусообразной части, выходящей за пределы корпуса 1.

Внутри смесителя 15 коаксиально расположены тихоходный 17 и быстроходный 16 валы, при этом тихоходный вал 17 находится внутри быстроходного вала 16 и находится сразу в двух камерах 13 и 14, а быстроходный вал 16 – только через первую камеру 13.

Конусообразная часть смесителя 15 имеет двутельный корпус 5 с патрубком 18 для подвода холодной воды и 19 для отвода отработанной воды. Это позволяет охлаждать смесь компонентов до требуемой температуры.

На быстроходном валу 16 смесителя 15, расположенного в первой камере 13, установлены две ленточные спирали: 20 большего и 4 меньшего диаметра, имеющие противоположную навивку и нагнетающий шнек 21. На входе и выходе из камеры 13 установлены опоры 22 для тихоходного вала 16. Благодаря используемой конструкции перемешивающего устройства в виде ленточных спиралей 4 и 20 и нагнетающего шнека 21 перемешивание интенсифицируется, продукт приобретает необходимую степень однородности в соответствии с требованиями технологии.

На тихоходном валу 17, проходящем через вторую камеру 14, в конусообразной части смесителя 15 смонтирован конусообразный нагнетающий шнек 6 переменного шага и диаметра, а на выходе из второй камеры – выгрузочное отверстие 7. Валы 16 и 17 приводятся во вращение с разной частотой от электродвигателей (на рис. 6.1 не показаны).

Эмульсер (рисунок 6.1) работает следующим образом. Через патрубки 11 подается горячая вода, которая нагревает нижнюю поверхность лотков 2 и 9. Отработанная вода отводится через патрубки 12. Через патрубок 8 на поверхность лотка 9 подается первый исходный компонент, например, растительное масло. Через патрубок 10 на поверхность лотка 2 подается второй исходный компонент, например, пахта. Исходные компоненты, нагреваясь от обогреваемой поверхности лотков, снижают свою вязкость и равномерно растекаются по всей площади наклонной и поверхности лотков 2 и 9.

Затем исходные компоненты (пахта и масло) стекают с поверхности лотков в виде тонкой пленки в зазор между ними, при этом они соприкасаются между собой, образуя одну стекающую пленку.

Далее в одну форсунку 3 подается под давлением эмульгатор, а во вторую – водный раствор пробиотиков. С помощью распыляющих форсунок 3 происходит равномерное распределение эмульгатора и водного раствора пробиотиков по поверхности стекающей пленки продукта. Причем число форсунок 3, устанавливаемых в двух противоположных боковых стенках корпуса 1, может изменяться в зависимости от количества вводимых ингредиентов.

Смесь растительного масла, пахты, эмульгатора и пробиотиков, направляется в первую камеру 13 смесителя 15.

Быстроходный 16 и тихоходный вал 17 приводятся во вращение от электродвигателя. Быстроходный вал 16 смесителя 15 с помощью двух ленточных спиралей 20 большего и 4 меньшего диаметра с противоположной

навивкой и нагнетающего шнека 21 осуществляет окончательное взбивание продукта.

Затем взбитая смесь компонентов нагнетающим шнеком 21 подается во вторую конусообразную камеру 14 смесителя 15. Тихоходный вал 17 с расположенным на нем конусообразным нагнетающим шнеком 6 переменного шага и диаметра медленно перемещает продукт к выгрузочному отверстию 7.

Одновременно через патрубок 18 в двутельный корпус 5 подводится холодная вода, которая затем удаляется через патрубок 19. С помощью подаваемой холодной воды охлаждается внутренняя поверхность конусообразной камеры 14, а от нее смесь компонентов – до требуемой температуры.

Охлажденный продукт транспортируется шнеком 6 к разгрузочному отверстию 7 и затем направляется на фасовку и упаковку.

Использование разработанного эмульсера позволяет оптимизировать процесс воздействия на исходное сырье, которое различается по физико-механическим характеристикам, благодаря рациональному характеру движения продукта и поддержанию необходимой температуры в каждой из двух камер смесителя в зависимости от их функционального назначения; получить пробиотические растительно-сливочные эмульсии функционального назначения, состоящие из смеси различных компонентов, благодаря решению проблемы равномерного распределения компонентов смеси и наиболее рациональному температурному воздействию на них; расширить область применения за счет достигнутой универсализации механизмов перемешивания с учетом особенностей физико-механических свойств исходных компонентов [76].

### **6.3. Линия производства спредов**

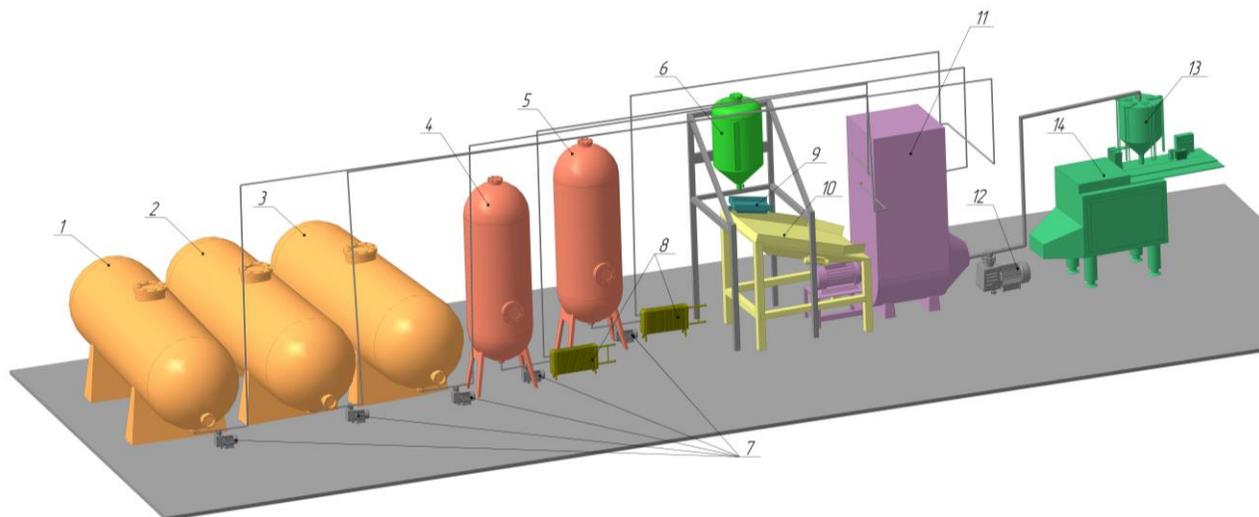
Линия производства спредов (рисунок 6.2) включает в себя: бункеры для

хранения кукурузного, льняного, арахисового масел, бункер для сливок, бункер для хранения обезжиренного молока, бункер для хранения сыпучего эмульгатора, пастеризационные установки, весовой дозатор, насосы-дозаторы жидких продуктов, эмульсер, вибротранспортер, насос для перекачивания готового продукта, бункер готового продукта, фасовочно-упаковочный автомат.

В верхней части прямоугольного корпуса эмульсера 11 установлено четыре наклонных подающих лотка, нижняя плоскость которых обогревается горячей водой. По лоткам подаются: арахисовое, кукурузное и льняное масла, а также сливки. Нагреваясь, они уменьшают свою вязкость, что дает возможность их равномерного стекания и образования тонкой стекающей пленки продуктов. Также имеется пятый лоток без подогрева, на который подается вибротранспортером 10 сыпучий эмульгатор.

Количество подающих лотков может меняться в зависимости от числа вводимых в продукт компонентов. Под лотками установлена распылительная форсунка для подачи жидких компонентов (например, обезжиренного молока) для равномерного распределения этих ингредиентов во всем объеме продукта (равномерное распыление по стекающей пленке смеси масел, сливок и эмульгатора). Их количество также может меняться в зависимости от числа вводимых компонентов.

Прямоугольный корпус эмульсера вертикально установлен на смеситель, имеющий корытообразную форму. Смеситель включает в себя две последовательно расположенные камеры, причем первая камера находится под цилиндрическим прямоугольным корпусом, а вторая – в конусообразной части, выходящей за пределы корпуса. Внутри смесителя коаксиально расположены тихоходный и быстроходный валы, при этом тихоходный вал расположен внутри быстроходного и находится сразу в двух камерах, а быстроходный вал проходит только через первую камеру.



1 - бункер для хранения кукурузного масла, 2 - бункер для хранения льняного масла, 3 - бункер для хранения арахисового масла, 4 - бункер для хранения высокожирных сливок, 5 - бункер для хранения обезжиренного молока, 6 - бункер для хранения 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 6.2 - Линия производства спредов

Конусообразная часть смесителя имеет двутельный корпус с патрубками для подвода и отвода холодной воды. На быстроходном валу смесителя, расположенного в первой камере, закреплены две ленточные спирали разного диаметра, имеющие противоположную навивку, и нагнетающий шнек. На тихоходном валу, проходящем через вторую камеру, в конусообразной части смесителя смонтирован конусообразный нагнетающий шнек переменного шага и диаметра, а на выходе из второй камеры – выгрузочное отверстие. За счет использования данной конструкции на выходе получается структурированный охлажденный продукт.

Спред расфасовывается и упаковывается на фасовочно-упаковочном автомате 14 в стаканчики. Наполнение и объемное дозирование продуктом стаканчиков осуществляется дозатором поршневого типа.

Предлагаемая линия по производству спредов работает следующим образом (рисунок 6.2). Исходные растительные масла (например, кукурузное, льняное, арахисовое) из бункеров 1, 2, 3 отправляются в определенном соотношении насосом дозатором 7 в эмульсер 11. Производственные бункера хранения растительных масел оснащены перемешивающими устройствами для предотвращения образования осадка. Благодаря купажированию достигается требуемое соотношение полиненасыщенных жирных кислот, которые содержатся в растительных маслах.

Из емкостей 4 и 5 насосами-дозаторами 7 подаются сливки и обезжиренное молоко в пастеризаторы 8, и далее в эмульсер 11. Необходимое количество эмульгатора из бункера 6 отмеряется весовым дозатором 9 и направляется в эмульсер 11 вибротранспортером 10.

Использование эмульсера 11 позволяет рационально вести процесс термомеханического воздействия на исходную смесь за счет оптимизации характера движения продукта и обеспечения поддержания заданного температурного режима и максимальной универсализации перемешивающих устройств.

Готовый спред насосом высокого давления 12 направляется в бункер 13, из которого поступает в фасовочно-упаковочный автомат 14. После расфасовки спред направляется в холодильную камеру для хранения и конечной кристаллизации.

Использование предлагаемой линии для производства спредов дает возможность: снизить энергозатраты на производство спредов; улучшить качество производимых спредов за счет оптимизации жирнокислотного состава; повысить технологические возможности линии по производству спредов; подобрать наиболее рациональные режимы для переработки продукции без ухудшения ее качества [78, 9].

## ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ

1. Получены три рецептурные смеси со сбалансированным содержанием полиненасыщенных жирных кислот групп  $\omega$ -3: $\omega$ -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<sup>-1</sup>, время кристаллизации составило 14 мин при температуре от 30 до 15 °С и частоте вращения рабочего органа 15 мин<sup>-1</sup>;

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

- для третьей рецептуры время перемешивания при температуре 65 °С составляет 4,7 мин при частоте вращения рабочего органа 150 мин<sup>-1</sup>, время кристаллизации составило 14 мин при температуре от 30 до 15 °С и частоте вращения рабочего органа 15 мин<sup>-1</sup>.

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.

## ЛИТЕРАТУРА

1. **Абиев, Р. Ш.** Вычислительная гидродинамика и тепломассообмен. Введение в метод конечных разностей [Текст]: Учебное пособие. СПб.: Изд-во НИИХимии СПбГТУ. - 2002. - 576 с.
2. Антиоксидантная активность растительных масел с разным соотношением омега-6/омега-3 жирных кислот [Текст] / Д. А. Гусева, Н. Н. Прозоровская, А. В. Широнин [и др.] // Биомедицинская химия. – 2010. - том 56. – вып.3. - С. 342-350.
3. **Арутюнян, Н. С.** Лабораторный практикум по химии жиров [Текст] / Арутюнян Н.С., Корнена Е.П., Мартовщук Е.В. и др. - Учебное пособие. СПб.: ГИОРД, 2004. - 264 с.
4. **Афони́на, Е.** Транс-жиры и гидрогенизированные жиры [Электронный ресурс] – Режим доступа: www. URL: <http://subscribe.ru/archive/science.health.dermatoz/201003/12222255.html>.
5. **Брагинский, Л. Н.** Перемешивание в жидких средах: Физические основы и инженерные методы расчета [Текст] / Л. Н. Брагинский, В. И. Бегачев, В. М. Барабаш / Л.: Химия, 1984. - 336 с.
6. **Беляев, Н. М.** Методы теории теплопроводности [Текст] / Н. М. Беляев, А. А. Рядно / М.: Высш. шк., 1982. – Ч. 1. – 327 с.
7. **Богер, А. А.** Математическое моделирование кинетики осаждения частиц при их импульсном вводе через свободную поверхность плоского слоя перемешиваемой среды [Текст] / А. А. Богер, В.И. Ряжских, М.И. Слюсарев // ИФЖ. – 2012. – Т. 85. - № 1. – С. 27-33.
8. **Буровой, И. А.** Математическая модель процесса перемешивания и сепарации полидисперсного материала в кипящем слое [Текст] / И. А. Буровой, А. Х. Ибраев // Известия вузов. Цветн. металлург. – 1971. – Т. 14. - № 1. – С. 136-139.

9. **Василенко, Л. И.** Разработка лечебно-профилактических продуктов с использованием микрокапсулированных биопрепаратов [Текст] / Л. И. Василенко, Л. Н. Фролова, А. В. Горбатова // Вестник воронежского государственного университета инженерных технологий. - 2013. - № 2. - С. 179-181.
10. **Васильцов, Э. А.** Аппараты для перемешивания жидких сред [Текст]: Справочное пособие. / Э.А. Васильцов, В. Г. Ушаков / Л.: Машиностроение, 1979. – 272 с.
11. **Воскопян, О. С.** Основные направления и этапы создания эмульсионных жировых продуктов [Текст] / О. С. Воскопян, Е. В. Серeda // Масложировая промышленность. – 2012. – № 6. – С. 16-17.
12. **Воскопян, О. С.** Основные аспекты инноваций в производстве масложировых продуктов, безопасных в потреблении [Текст] / О. С. Воскопян, О. С. Шаурина // Масложировая промышленность. – 2012. - № 5. – С. 28.
13. **Вышемирский, Ф. А.** Дунаев А.В. Спреды: состав, технологии, перспективы [Текст] / Ф. А. Вышемирский, А. В. Дунаев // СПб: Профессия. - 2014. – 412 с.
14. Гидродинамика в аппаратах с многоярусными быстроходными мешалками [Текст] / Минибаева Лилия Радиковна. – Казань, 2011. - 111 с.
15. **Гинзбург, А. С.** Теплофизические характеристики пищевых продуктов: Справочник [Текст] / А. С. Гинзбург, М. А. Громов, Г. И. Красовская. – М.: Агропромиздат, 1990. – 287 с.
16. **Горбатова, А. В.** Исследование качественных показателей сливочно-растительного спреда функциональной направленности [Текст] / А. В. Горбатова // Аграрный вестник Урала. – 2013. - № 1. – С. 37-39.
17. **Горщенко, Л. Г.** Российское производство сливочного масла и спредов в 2012 г. [Текст] / Л. Г. Горщенко // Сыроделие и Маслоделие. – 2012. - № 3. – С. 50-52.

18. **ГОСТ 26593-85.** Масла растительные. Метод измерения перекисного числа [Текст]. – Введ. 01-01-86. - Минск: Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации, 2013. – С. 89-93.

19. **ГОСТ 30089-93.** Масла растительные. Метод определения эруковой кислоты [Текст]. – Введ. 01-01-1997. – Минск: Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации, 2001. – С. 95-99.

20. **ГОСТ 30417-96.** Масла растительные. Методы определения массовых долей витаминов А и Е [Текст]. - Введ. 01-01-1998. – Минск: Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации, 1998. – С. 101-109.

21. **ГОСТ 30418-96.** Масла растительные. Метод определения жирнокислотного состава [Текст]. – Введ. 1-01-1998. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2001. – С. 111-116.

22. **ГОСТ 37-91.** Масло коровье. Технические условия [Текст]. – Введ. 25-02-91. - Москва, «Стандартинформ», 2008. – С. 1-10.

23. **ГОСТ 5475-69.** Масла растительные. Методы определения йодного числа [Текст]. – Взамен ГОСТ 5475-59; введ. 01-01.70. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2001. - С. 18-23.

24. **ГОСТ 8756.13-87.** Продукты переработки плодов и овощей. Методы определения сахаров [Текст]. - Взамен ГОСТ 8756.13-70; введ. 01-01.89. - М. : ФГУП «Стандартинформ», 2010. – 12 с.

25. **ГОСТ Р 50928-96.** Премиксы. Методы определения витаминов А, D и E [Текст]. – Введ. 29-07-96. – М.: Госстандарт России, 2009. - С. 148-160.

26. **ГОСТ Р 51483-99.** Масла растительные и жиры животные. Определение методом газовой хроматографии массовой доли метиловых эфиров индивидуальных жирных кислот к их сумме [Текст]. – Введ. 01-01-2001. - М.: Госстандарт России, 2005. – 8 с.

27. **ГОСТ Р 52100-2003.** Спреды и смеси топленые. Общие технические условия [Текст]. – Введ. 30-06-03. - М.: Госстандарт России, 2006. - 40 с.
28. **ГОСТ Р 52349-2005.** Продукты пищевые. Продукты пищевые функциональные. Термины и определения [Текст]. – Введ. 01-07-2006. - М.: ФГУП «Стандартинформ», 2006. - 4 с.
29. **ГОСТ Р 52677-2006.** Масла растительные, жиры животные и продукты их переработки. Методы определения массовой доли трансизомеров жирных кислот [Текст]. – Введ. 01-01-2008. - М.: ФГУП «Стандартинформ», 2007. – 27 с.
30. **ГОСТ Р 52741-2007.** Премиксы. Определение содержания витаминов: В1 (тиаминахлорида), В2 (рибофлавина), В3 (пантотеновой кислоты), В5 (никотиновой кислоты и никотиламида), В6 (пиридоксина), Вс (фолиевой кислоты), С (аскорбиновой кислоты) методом капиллярного электрофореза [Текст].- Введ. 15-08-07. - М.: ФГУП «Стандартинформ», 2007. – 19 с.
31. **Губина, И. В.** Спреды функционального назначения – новый продукт высокого качества [Текст] / И. В. Губина // Сыроделие и маслоделие. – 2011. - № 2. - С. 49.
32. **Гуляев-Зайцев, С. С.** Получение устойчивых жировых эмульсий при производстве спредов: технология и оборудование [Текст] / С. С. Гуляев – Зайцев, С. И. Кимачинский, С. А. Нарижный // Сыроделие и маслоделие. – 2009. - № 4. - С. 50-51.
33. **Дергаусов, В. И.** Масложировая промышленность России в 2009 году [Текст] / В. И. Дергаусов, И. А. Юркова // Масложировая промышленность. - 2010. - № 1. - С.2-5.
34. **Деч, Г.** Руководство к практическому применению преобразований Лапласа [Текст] / Г. Деч// М.: Физматгиз, 1971. – 288 с.
35. **Добрянян, Е. И.** Функциональные молочные продукты, обогащенные ПНЖК семейства омега-3 и омега-6 [Текст] / Е. И. Добрянян,

Е. А. Юрова, Н. А. Жижин // Молочная промышленность. – 2013. - № 11. – С. 45-46.

36. **Дорожжина, Т.** Эмульгаторы для масложировой промышленности [Электронный ресурс] / Т. Дорожжина. – Режим доступа: www. URL: <http://www.inbucor.ru/articles/article.htm?art=36>.

37. Емкость РТП-1.03 для температурной обработки и перемешивания продукта [Электронный ресурс] – Режим доступа: www. URL: [http://ukraina.oborudunion.ru/i\\_store/item\\_1000024188/emkost-rtp-1-03-dlya-temperaturnoy-obrabotki-i-peremeshivaniya-produkta.html](http://ukraina.oborudunion.ru/i_store/item_1000024188/emkost-rtp-1-03-dlya-temperaturnoy-obrabotki-i-peremeshivaniya-produkta.html)

38. **Зайцева, Л. В.** Инновационные технологии получения и модификации масел и жиров [Текст] / Л. В. Зайцева, А. П. Нечаев // Масложировая промышленность. – 2012. - № 6. – С. 10-15.

39. **Зайцева, Л. В.** Новая эра: заменители молочного жира по ГОСТу [Текст] / Л. В. Зайцева // Сырье и ингредиенты. – 2011. - № 4. С. 20-21.

40. **Иванов, Н. Л.** Оборудование для маслоделия [Текст] / Н. Л. Иванов // Сыроделие и маслоделие. - 2010. - № 4. - С. 44-45.

41. Изучение хранимоспособности спреда «цветочный» [Текст] / Л. В. Голубева, О. И. Долматова, Г. М. Смольский [и др.] // Пищевая промышленность. – 2013. - № 10 - С. 72-73.

42. Инновационные технологии в производстве спредов [Текст] / Л. В. Голубева, О. И. Долматова, А. Ю. Тарасова [и др.] // Экономика. Инновации. Управление качеством. – 2013. - № 2(3) - С. 28-33.

43. **Ипатова, Л. Г.** Применение фитостероидов в жировых продуктах [Текст] / Л. Г. Ипатова, А. А. Кочеткова // Молочная промышленность. – 2011. - № 3. - С. 88-89.

44. **Ипатова, О. М.** Биологическая активность льняного масла как источника омега-3 альфа-линоленовой кислоты [Текст] / О. М. Ипатова, Н. Н. Прозоровская, В. С. Баранова, Д. А. Гусева // Биомед. Химия. – 2004. - № 1. – С. 25-43.

45. Исследование взаимодействия гидроколлоидов и токоферолов в эмульсионных жировых системах [Текст] / В. В. Бессонов, А. П. Нечаев, П. А. Семенова [и др.] // Масложировая промышленность. – 2013. - № 1. - С. 20-24.

46. Исследование и разработка технологии сливочно-растительного спреда с использованием гидроколлоидов [Текст]: дис. канд. техн. наук / Васильева Галина Викторовна. – Кемерово, 2009. - 126 с.

47. К вопросу о повышении хранимоспособности спреда [Текст] / Л. В. Голубева, О. И. Долматова, Л. А. Кондусова [и др.] // Пищевая промышленность. - 2013.- № 11. - С. 46-47.

48. **Казиахмедов, Д. С.** Ранжирование показателей потребительских предпочтений спредов [Текст] / Д. С. Казиахмедов // Материалы III Международной научно-технической конференции / Воронеж. гос. технол. акад. Воронеж. - 2009. - В 3 т. Т.1 - С. 254-256.

49. **Карпушкин, С. В.** Расчёты и выбор механических перемешивающих устройств вертикальных емкостных аппаратов [Текст] : учебное пособие / С. В. Карпушкин, М. Н. Краснянский, А. Б. Борисенко. – Тамбов : Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2009. – 168 с.

50. **Кафаров, В. В.** Математическое моделирование основных процессов химических производств [Текст] / В. В. Кафаров, М. Б. Глебов // М.: Высш. шк., 1991. – 400 с.

51. **Келли де Ваддер** Повышение окислительной устойчивости низкожирных спредов, обогащенных льняным маслом [Текст] / Келли де Ваддер // Масложировая промышленность. – 2012. - № 4. – С. 4.

52. **Кодряну, Н. П.** Анализ некоторые аспектов маркетинговых стратегий в современных условиях развития рынка [Текст] // Масложировая промышленность. - 2010. - № 4. -С. 18-19.

53. **Колесникова, С. В.** Спреды с функциональными добавками – новый шаг в развитии продукта [Текст] / С. В. Колесникова, А. В. Алексеенко // Молочная промышленность. – 2012. - № 3. - С. 55-56.

54. **Красильников, В. Н.** Законодательство ЕС в области функциональных продуктов. Проблемы внедрения [Текст] / В. Н. Красильников, О. И. Кузнецова // Молочная промышленность. – 2013. - № 6. – С. 44-45.

55. **Кудинова, О. В.** Усовершенствование ассортимента спредов с повышенной биологической ценностью [Текст] / О. В. Кудинова, В. П. Ракова // Вестник Черниговского Государственного Технологического Университета. Серия: Технические Науки. - 2013. - № 3. - С. 253-260.

56. **Лищенко, В. Ф.** Мировое производство, потребление и торговля жирами и маслами в 1975-2010 гг. [Текст] / В. Ф. Лищенко, В. В. Лищенко, О. В. Лищенко // Масложировая промышленность. - 2011. - № 4. - С. 8-12.

57. **Луцко, А. Н.** Обработка параметров визуализированных потоков жидкости в аппарате с мешалками Текст. / А. Н. Луцко, Э. А. Павлова, Н. А. Марцулевич // Сборник трудов МНК ММГТ 17. - Кострома, 2004. - Т. 10. - С. 102 - 103.

58. Методические рекомендации МР 2.3.1.1915-04. Рекомендуемые уровни потребления пищевых и биоактивных веществ [Текст]. - М., 2004. -35 с.

59. Нерегулярное движение фаз в аппаратах с механически перемешивающим устройством [Текст]: дис. канд. техн. наук/ Павлова Эмилия Александровна. - Санкт-Петербург, 2007. - 171 с.

60. **Нестерова, Е. А.** Состояние и перспективы развития масложировой отрасли. Вопросы технического регулирования [Текст] / Е. А. Нестерова // Масложировая промышленность. – 2013. - № 2. – С. 5-10.

61. **Нечаев, А. П.** Пищевая химия [Текст]: Учебник / А. П. Нечаев, С. Е. Траунбенберг, А.А. Кочеткова [и др]. - СПб.: ГИОРД, 2011.

62. **Нечаев, А. П.** Технологии создания жировых продуктов XXI века [Текст] / А. П. Нечаев // Пищевая промышленность. – 2010. - № 3. – С. 18-19.
63. **Нифталиев, С. И.** Газохроматографическое определение жирнокислотного состава заменителей молочного жира и других специализированных жиров. Сорбционные и хроматографические процессы [Текст] / С. И. Нифталиев, Е. И. Мельникова, А. А. Селиванова. - 2009. - Т.9 Вып.4 – С. 574-581.
64. Об особенностях технологии спредов [Текст] / Сыроделие и маслоделие. - № 6. – 2006. – С.47-48.
65. **Ожгихина, Н. Н.** Роль органолептической оценки в установлении качества молочных продуктов [Текст] / Н. Н. Ожгихина, Л. Н. Тетерева // Сыроделие и маслоделие. - 2009. - № 5. - С. 22.
66. **Окара, А. И.** Управление жирнокислотным составом и потребительскими свойствами растительных масел-смесей путем оптимизации рецептур [Текст] / А. И. Окара, К. Г. Земляк, Т. К. Каленик // Масложировая промышленность. – 2009. - № 2. – С. 8-10.
67. Оптимизация жирнокислотного состава спреда [Текст] / Л. В. Голубева, О. М. Долматова, Л. И. Василенко [и др.] // Масложировая промышленность. – 2012. - № 6. – С. 18-19.
68. Оптимизация расчета смесей растительных жиров и масел с использованием критериев их физиологической функциональности [Текст] / А. В. Самойлов, А. А. Кочеткова, С. М. Севириненко [и др.] // Пищевая промышленность. – 2010. - № 9. – С. 68-70.
69. **Осадченко, И. М.** Рецептура, химический состав нового молочно-растительного продукта [Текст] // И. М. Осадченко, С. Е. Божкова, Ю. П. Пяткова // Известия Нижневолжского Агроуниверситетского Комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. – 2011.- № 4. - С. 122-127.

70. **Остриков, А. Н.** Анализ химического состава физиологически функционального спреда [Текст] / А. Н. Остриков, А. В. Горбатова // Масло-жировая промышленность. – 2014. - № 2. - С. 11-13.

71. **Остриков, А. Н.** Исследование теплофизических свойств спреда функциональной направленности / А. Н. Остриков, А. В. Горбатова // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. – 2013. - № 2-3. – С. 101-103.

72. **Остриков, А. Н.** Комплексное исследование реологических свойств спреда функциональной направленности / А. Н. Остриков, А. А. Смирных, А. В. Горбатова // Вестник Алтайского Государственного аграрного университета. – 2013. - № 1. - С. 37-39.

73. **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.

74. **Паринов, Д. Б.** Компьютерная оптимизация рецептуры спредов [Текст] / Д. Б. Баринов, Л. В. Рудакова, О. Б. Рудаков // Сыроделие и маслоделие. – 2009. - № 1. - С. 54-55.

75. **Пат. 2154520 Россия**, МПК В 01 F 5/10. Смеситель [Текст] / Поломошных С. П., Мельниченко В. И.; заявитель и патентообладатель Малое внедренческое предприятие «КАМУС», Малое предприятие «МиЗиВ» - № 95110496/12; заявл. 23.06.1995; опубл. 20.08.2000.

76. **Пат. 2502549 Россия**, МПК В 01 F 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.

77. **Пат. 25068023 Россия**, МПК А23 D 7/00. Способ производства сливочно-растительных спредов [Текст] / Остриков А. Н., Горбатова А. В.; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО «Воронежский государствен-

ный университет инженерных технологий». - № 2012124530/13; заявл. 14.06.2012; опубл. 20.02.2014, Бюл. № 5.

78. **Пат. 2518735 Россия**, МПК 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.

79. **Покровский, Н. В.** Основные направления производства спредов [Текст] / Н. В. Покровский, Е. Г. Меркулова // Вестник ОРЕЛГИЭТ. – 2012. - № 4. – С. 166-167.

80. Получение эмульсионных продуктов как пример инновационно-проектной деятельности в пищевой отрасли [Текст] / О. Н. Мусина, А. И. Лосева, Е. А. Сафонова [и др.] // Пищевая промышленность. – 2012. - № 9. - С. 10-12.

81. **Прокопенко, Л. Г.** Полиненасыщенные жирные кислоты в растительных маслах [Текст] / Л. Г. Прокопенко, Л. И. Бойняжева, Е. В. Павлова // Масложировая промышленность. – 2009. - № 2. – С. 11-12.

82. **Прохорович, Е. А.** Полиненасыщенные жирные кислоты класса  $\omega$ -3 в профилактике и лечении атеросклероза [Текст] / Е. А. Прохорович, Н. Н. Владимирова // Лечащий врач [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [www.URL: http://www.shop.rusmedtravel.ru/files/article/Polyunsaturated\\_fatty\\_acids\\_in\\_the\\_prevention\\_and\\_treatment\\_of\\_atherosclerosis.pdf](http://www.shop.rusmedtravel.ru/files/article/Polyunsaturated_fatty_acids_in_the_prevention_and_treatment_of_atherosclerosis.pdf).

83. Развитие научных основ интенсификации гидродинамических и тепловых процессов при обработке жиросодержащих пищевых продуктов в ёмкостном оборудовании с перемешивающими устройствами [Текст]: дис. канд. техн. наук / Николаев Борис Львович. - Санкт-Петербург, 2009. - 397 с.

84. Разработка и исследование технологии сливочно-растительного спреда с использованием продуктов переработки кокоса [Текст]: дис. канд. техн. наук / Долголюк Ирина Владимировна. – Кемерово, 2011. - 136 с.

85. Разработка и исследование технологии сливочно-растительного спреда с повышенной стабильностью к окислению [Текст]: дис. канд. техн. наук / Шишкина Татьяна Леонтьевна. – Кемерово, 2009. - 130 с.

86. Разработка и исследование технологии функционального сливочно-растительного спреда с использованием эмульгаторов комплексных свойств [Текст]: дис. канд. техн. наук / Савельев Игорь Дмитриевич. – Кемерово, 2010. - 156 с.

87. Разработка комплексной технологии молочных продуктов заданного уровня качества и функциональной направленности [Текст]: дис. докт. техн. наук / Пономарев Аркадий Николаевич. – Москва, 2009. - 264 с.

88. Разработка технологии пробиотических БАД, обогащенных полиненасыщенными жирными кислотами [Текст]: автореф. канд. техн. наук / Буянтуева Лариса Валерьевна. – Улан-Удэ, 2013. – 16 с.

89. Разработка технологии спреда «ореховый» [Текст] / Л. В. Голубева, О. И. Долматова, Л. И. Василенко [и др.] // Хранение и переработка сельхозсырья. - 2013. - С. 44-46.

90. Разработка технологий функциональных жировых продуктов эмульсионной природы с пищевыми волокнами и биологически активными веществами [Текст]: дис. канд. техн. наук / Елисеева Наталья Евгеньевна. – Москва, 2008. - 175 с.

91. Российский рынок подсолнечного масла и жиров [Текст] // Масложировая промышленность. – 2012. - № 5. – С. 4-7.

92. **Рощупкина, Н.** Функциональные ингредиенты для молочно-содержащих продуктов и спредов [Текст] / Н. Рощупкина, А. Тихонова // Сыроделие и маслоделие. – 2011. - № 2. - С. 50.

93. Свидетельство на полезную модель 98865 Россия, МПК<sup>7</sup> А01 J 15/10, А23 С 15/00. Устройство для термомеханической обработки молочно-жировой смеси при производстве комбинированного сливочного масла

(спреда) [Текст] / Хлебников Ю.А.; патентообладатель Хлебников Юрий Александрович. – № 2010104663/22; заявл. 10.02.2010; опубл. 10.11.2010.

94. **Святкина, Л. И.** Потребительские свойства спредов [Текст] / Л. И. Святкина, В. Я. Андрухова // Масложировая промышленность. – 2013. - № 4. – С. 16-19.

95. **Скурихин, И. М.** Химический состав российских пищевых продуктов [Текст]: Справочник / И. М. Скурихин – М.: Дели Принт, 2002. – 236 с.

96. **Смирнова, И. А.** Разработка технологии спреда с добавлением гидроколлоидов [Текст] / И. А. Смирнова, Г. В. Васильева// Сыроделие и маслоделие. – 2009. - № 5. – С. 45-46.

97. **Снегова, В. Н.** Фокус на снижение содержания насыщенных жирных кислот [Текст] / В. Н. Снегова, Е. А. Тюленева // Сыроделие и маслоделие. - 2010. - № 4. - С. 18.

98. Совершенствование процесса получения пищевых эмульсий на роторном аппарате и определение их параметров методами математического моделирования [Текст]: дис. канд. техн. наук / Линник Андрей Юлианович. – Москва, 2008. - 138 с.

99. Справочник по диетологии [Текст] В. А. Тутельяна, М. А. Самсонова. – Москва: Медицина, 2002. – 544 с.

100. **Стаховский, В. А.** Современные аспекты производства спредов [Текст] / В. А. Стаховский // Сыроделие и маслоделие. - 2010. - № 2. - С. 46.

101. **Стренк, Ф.** Перемешивание и аппараты с мешалками [Текст]: монография / Ф. Стренк. - «Химия», 1975. - 384 с.

102. **Табакаева, О. В.** Функциональные эмульсионные продукты нового поколения [Текст] / О. В. Табакаева // Масложировая промышленность. – 2007. - № 3. – С. 17-18.

103. **Табакаева, О. В.** Эмульсионные продукты с биологически активными веществами – продукты здоровья [Текст] / О. В. Табакаева // Масложировая промышленность. – 2009. - № 1. – С. 26-27.

104. **Таратухин, Е. О.** Атеросклероз и жирные кислоты: важная взаимосвязь и новое направление терапии / Е. О. Таратухин // Российский кардиологический журнал. – 2011. - № 5.- С. 77-80.

105. Технический регламент на масложировую продукцию. Федеральный закон Российской Федерации [Текст]: [принят 24 июня 2008 г.]. – 2008.

106. Технологическая линия (оборудование) производства спредов производительностью 1000 кг/час [Электронный ресурс]. – Режим доступа: www.URL: [http://www.agro-mash.ru/technol\\_lin\\_spredov.html](http://www.agro-mash.ru/technol_lin_spredov.html).

107. Технология производства спредов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: www.URL: <http://bozor.info/c338-9008.html>.

108. Технология санитарной обработки оборудования, обеспечивающая качество масла и спредов [Текст] / Б. В. Маневич, Ж. И. Кузина, И. А. Симонова [и др.] // Сыроделие и маслоделие. – 2013. - № 2. – С. 54-56.

109. **Тихомирова, Н. А.** Продукты функционального питания [Текст] / Н. А. Тихомирова // Молочная промышленность. – 2013. - № 6. – С. 46-49.

110. **Топникова, Е. В.** Исследования жирнокислотного состава сливочного масла [Текст] / Е. В. Топникова, Э. И. Горшкова, М. И. Меркулова // Сыроделие и маслоделие. – 2013. - № 3. – С. 47-49.

111. **Устюгова, К.** Льняное масло польза для здоровья [Электронный ресурс]. – Режим доступа: www.URL: [fitvid.ru/2011/09/lnyanoe-maslo-polza-dlya-zdorovya/](http://fitvid.ru/2011/09/lnyanoe-maslo-polza-dlya-zdorovya/).

112. Универсальное оборудование для приготовления эмульсий, суспензий, гелей [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [www.URL:www.prombiofit.com/Publications/universal\\_homogenizing\\_equipment.html](http://www.URL:www.prombiofit.com/Publications/universal_homogenizing_equipment.html)

113. Управление качеством при проектировании спредов функционального назначения [Текст]: дис. канд. техн. наук / Казиахмедов Джимми Славудинович. - Москва, 2009. - 155 с.

114. Функциональные ингредиенты и их использование в производстве спредов [Текст] / Л. В. Голубева, О. И. Долматова, Г. М. Смольский [и др.] // Пищевая промышленность. - 2013. - № 9. - С. 79-80.

115. Функциональные пищевые продукты. Введение в технологии. [Текст] / А. Ф. Доронин, Л. Г. Ипатова, А. А. Кочеткова [и др] – М: Дели принт, 2009.- 288 с.

116. Эмульгирование с учетом коагуляции в аппаратах с тангенциальными напряжениями [Текст]: дис. канд. техн. наук / Колач Станислав Тадеушевич. – Москва, 2011. - 196 с.

117. **Beyer, S.** Mischverfahren und verwandte Technologien [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [www.URL: http://www.process.vogel.de/anlagenbau\\_apparatebau/articles/329755/](http://www.URL:http://www.process.vogel.de/anlagenbau_apparatebau/articles/329755/)

118. **Cassiday, L.** Emulsions making oil and water mix [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [www.URL: http://www.aocs.org/Membership/informArticleDetail.cfm?itemnum-ber=19406](http://www.URL:http://www.aocs.org/Membership/informArticleDetail.cfm?itemnum-ber=19406)

119. Cold Mix Process for Blended Spreads [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [www.URL: www.spx.com/cn/assets/pdf/GS\\_cold\\_mix\\_process\\_for\\_blended\\_spreads\\_07\\_12\\_GB\\_web.pdf](http://www.URL:www.spx.com/cn/assets/pdf/GS_cold_mix_process_for_blended_spreads_07_12_GB_web.pdf)

120. **Defraeye, T.** CFD modelling of flow and scalar exchange of spherical food products: Turbulence and boundary-layer modelling / T. Defraeye, P. Verbovena, B. Nicolai // Journal of Food Engineering. – 2013. - Vol. 114, p. 495-504.

121. **Degner, B. M.** Influence of freezing rate variation on the microstructure and physicochemical properties of food emulsions / B. M. Degner, K. M. Olson, D. Rose // *Journal of Food Engineering*. - 2013. - Vol. 119, p. 244-253.

122. **Di Bari, V.** Effect of processing on the microstructural properties of water-in-cocoa butter emulsions / Di Bari V., J.E. Norton, I.T. Norton // *Journal of Food Engineering*. – 2014. - Vol. 122, p. 8-14.

123. Emulsions [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [www.URL: http://kitchenscience-scitoys.com/Emulsions](http://www.kitchenscience-scitoys.com/Emulsions)

124. Emulsions and Emulsifiers [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [www.URL: http://www.cookin-gscienceguy.com/pages/wpcontent/uploads/2012/07/Emulsions-and-Emulsifiers.pdf](http://www.cookin-gscienceguy.com/pages/wpcontent/uploads/2012/07/Emulsions-and-Emulsifiers.pdf)

125. Fettwahrnehmung und Sättigungsregulation: Ansatz zur Entwicklung fettreduzierter Lebensmittel. Zentrale Ergebnisse des gleichnamigen DFG/AiF-Clusterprojektes // Bonner universitäts-Buchdruckerei, Bonn. – 2012. – 170 s.

126. **Guan, X.** PFG-NMR on  $W_1/O/W_2$ -emulsions: Evidence for molecular exchange between water phases / K. Hailu, G. Guthausen, F. Wolf, R. Bernewitz & H.P. Schuchmann // *Eur. J. Lipid sci.* – 2010. - s. 112, 828-837.

127. **Gunathilake, K. D. P. P.** Use of coconut flour as a source of protein and dietary fibre in wheat bread / K.D.P.P. Gunathilake, C. Yalagama and A.A.N. Kumara. // *As. J. Food Ag-Ind.* – 2009. - № 2(03). - P. 382-391.

128. **Hernandez-Marín, N. Y.** Stability and rheology of water-in-oil-in-water multiple emulsions made with protein-polysaccharide soluble complexes / N.Y. Hernández-Marín, C. Lobato-Calleros, E.J. Vernon-Carter // *Journal of Food Engineering*. – 2013. - Vol. 122, p. 181-187.

129. **Herrmann, J.** Development of a rheological prediction model for food suspensions and emulsions / J. Herrmann, A. B. Alayón, J. Trembley, U. Grupa // *Journal of Food Engineering*. – 2013. - Vol. 115, p. 481-485.

130. **Jahurul, M. H. A.** Cocoa butter fats and possibilities of substitution in food products concerning cocoa varieties, alternative sources, extraction methods, composition, and characteristics / M.H.A. Jahurul, I.S.M. Zaidul, N.A.N. Norulaini // Journal of Food Engineering. – 2013. - Vol. 117, p. 467-476.

131. **Kanagaratnam, S.** Investigating the effect of deforming temperature on the oil-binding capacity of palm oil based shortening / S. Kanagaratnam, M. E. Hoque, M. M. Sahri, A. Spowage // Journal of Food Engineering. – 2013. - Vol. 118, p. 90-99.

132. **Köhler, K.** Simultanes Emulgieren und Mischen / Dissertation zur Erlangung des akademischen Grades eines Doktors der Ingenieurwissenschaften (Dr.-Ing.). Karlsruhe. - 2010. - s. 205.

133. **Kraft, Anna-Lena** Charakterisierung der Beanspruchungsmechanismen scherempfindlicher Stoffsysteme im Rührprozess / Masterthesis. - Neubrandenburg, 2012. – 66 s.

134. **Kuhn, K. R.** Flaxseed oil – Whey protein isolate emulsions: Effect of high pressure homogenization /, R.L. Cunha // Journal of Food Engineering. – 2012. - Vol. 111, p. 449-457.

135. Margarine Manufacture [Электронный ресурс]. – Режим доступа: www. URL: <http://www.cip.ukcentre.com/marg1.htm>.

136. **Maureen, L. R.** Effect of mixer geometry and operating conditions on mixing efficiency of a non-Newtonian fluid in a twin screw mixer / Maureen L. R., Jozef L. K. // Journal of Food Engineering. – 2013. - Vol. 118, p. 256-265.

137. **Myhan, R.** An approach to modeling the rheological properties of food materials /, Białobrzewski I., Markowski M. // Journal of Food Engineering. – 2012. - Vol. 111, p. 351-359.

138. **Norton, J. E.** Investigation of changes in formulation and processing parameters on the physical properties of cocoa butter emulsions / J. E. Norton, P. J. Fryer // Journal of Food Engineering. – 2012. - Vol. 113, p. 329-336.

139. Oil emulsions [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [www.URL: http://petrowiki.org/Oil emulsions](http://www.URL: http://petrowiki.org/Oil%20emulsions).
140. Oils and Fats [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [www. URL: http://kitchenscience.scitoys.com/fats](http://www.URL: http://kitchenscience.scitoys.com/fats).
141. Omega-3 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [www. URL: http://kloster-pharma.com/omega-3.html](http://www.URL: http://kloster-pharma.com/omega-3.html).
142. **Peter Clark, J.** Emulsions: When Oil and Water Do Mix / J. Peter Clark // Food Technology. - August 2013, Volume 67, No.8. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [www. URL: http://www.ift.org/foodtechnology/pastissues/2013/august/columns/-processing-1.aspx?page=viewall](http://www.URL: http://www.ift.org/foodtechnology/pastissues/2013/august/columns/-processing-1.aspx?page=viewall).
143. Production of Margarine and Low Fat Spreads [Электронный ресурс] – Режим доступа: [www. URL: http://edge.silverson.com/assets/PDFs/AppReports/Food/FMargarine.pdf](http://www.URL: http://edge.silverson.com/assets/PDFs/AppReports/Food/FMargarine.pdf).
144. Production of water-in-oil nanoemulsions using high pressure homogenisation: A study on droplet break-up / L. Lee, R. Hancocksa, I. Nobleb, I. T. Nortona// Journal of Food Engineering. – 2014. - Vol. 131, p. 33-37.
145. **Rao, J.** Optimization of lipid nanoparticle formation for beverage applications: Influence of oil type, cosolvents, and cosurfactants on nanoemulsion properties / Jiajia Rao, David Julian McClements // Journal of Food Engineering. – 2013. - Vol. 118, p. 198-204.
146. **Simopoulos, A. P.** The importance of the ratio of omega-6/omega-3 essential fatty acids // Biomed. Pharmacother, 56. – 2002. – p. 365-379.
147. **Simopoulos, A. P.** The importance of the omega-6/omega3 fatty acid ratio in cardiovascular disease and other chronic disease // Exp. Biol. Med., 233. – 2008. – p. 674-688.
148. **Teles dos Santos, M.** Solid Fat Content of vegetable oils and simulation of interesterification reaction: Predictions from thermodynamic approach / M. Teles dos Santos, V. Gerbaudb, G.A.C. Le Roux // Journal of Food Engineering. – 2014. - Vol. 126, p. 198-205.

149. The influence of different stabilizers and salt addition on the stability of model emulsions containing olive or sesame oil / S. Protonotariou, V. Evangelidou, S. Yanniotis, I. Mandala // Journal of Food Engineering. – 2013. - Vol. 117, p. 124-132.

150. Vegetable Oils in Food Technology: Composition, Properties and Uses. Second Edition. Edited by Frank Gunstone. Blackwell Publishing Ltd. – 2011. - 347 p.

151. Was sind Omega-3-Fettsäuren? [Электронный ресурс]. – Режим доступа: www.URL: <http://www.omega-3-fettsaeuren.eu>.

# **ПРИЛОЖЕНИЯ**

### Исследование режимов движения

Дата проведения эксперимента: 11.03.2014

Продукт: спред

№ п.п.	Мощность $N$ , Вт						
	$n$ , с <sup>-1</sup>	Холостой ход	30 °С	40 °С	50 °С	60 °С	65 °С
1	1,57	9,1	10,2	12	22	20,8	21,7
2	3,14	10,5	12	18,1	27	21,4	27,8
3	4,71	14,6	16	22,6	26,8	27,5	22,7
4	6,28	17,2	21,3	31,1	32,9	32,9	27,636
5	7,85	19,8	22,3	29,7	29,2	14,9	38,5
6	9,41	23,0	23,2	42	35	23,7	47,1
7	10,98	24,1	24,8	49,8	37,5	34	52,1
8	12,55	25,6	27,4	52	41,2	27,3	42,2
9	14,12	33,0	35	59,6	59,6	42	48
10	15,69	34,4	36,7	62	63,8	65,9	61,3

### Расчетные значения

Продукт № 1

Температура 30 °С

$N$ , Вт	$n$ , с <sup>-1</sup>	$Eu$	$\mu$ , Па·с	$Re$
10,2	1,57	1193,3	0,115	69,959
12	3,14	175,48	0,115	139,92
16	4,71	69,325	0,115	209,88
21,3	6,28	38,935	0,115	279,84
22,3	7,85	20,87	0,115	349,79
23,2	9,41	12,605	0,115	419,31
24,8	10,98	8,4817	0,115	489,27
27,4	12,55	6,2756	0,115	559,23
35	14,12	5,6286	0,115	629,18
36,7	15,69	4,3016	0,115	699,14

## Температура 40 °С

<b>N, Вт</b>	<b>n, с<sup>-1</sup></b>	<b>Eu</b>	<b>μ, Па·с</b>	<b>Re</b>
12	1,57	1403,8	0,0403	198,1
18,1	3,14	264,68	0,0403	396,2
22,6	4,71	97,922	0,0403	594,3
31,1	6,28	56,848	0,0403	792,4
29,7	7,85	27,796	0,0403	990,5
42	9,41	22,82	0,0403	1187,3
49,8	10,98	17,032	0,0403	1385,4
52	12,55	11,91	0,0403	1583,5
59,6	14,12	9,5847	0,0403	1781,6
62	15,69	7,2671	0,0403	1979,7

## Температура 50 °С

<b>N, Вт</b>	<b>n, с<sup>-1</sup></b>	<b>Eu</b>	<b>μ, Па·с</b>	<b>Re</b>
22	1,57	2573,7	0,0327	240,9
27	3,14	394,83	0,0327	481,8
26,8	4,71	116,12	0,0327	722,7
32,9	6,28	60,139	0,0327	963,61
29,2	7,85	27,328	0,0327	1204,5
35	9,41	19,017	0,0327	1443,9
37,5	10,98	12,825	0,0327	1684,8
41,2	12,55	9,4363	0,0327	1925,7
59,6	14,12	9,5847	0,0327	2166,6
63,8	15,69	7,478	0,0327	2407,5

## Температура 60 °С

<b>N, Вт</b>	<b>n, с<sup>-1</sup></b>	<b>Eu</b>	<b>μ, Па·с</b>	<b>Re</b>
20,8	1,57	2433,3	0,0255	307,19
21,4	3,14	312,94	0,0255	614,38
27,5	4,71	119,15	0,0255	921,57
32,9	6,28	60,139	0,0255	1228,8
14,9	7,85	13,945	0,0255	1535,9
23,7	9,41	12,877	0,0255	1841,2
34	10,98	11,628	0,0255	2148,4
27,3	12,55	6,2527	0,0255	2455,6
42	14,12	6,7543	0,0255	2762,7
65,9	15,69	7,7242	0,0255	3069,9

## Температура 65 °С

<b>N, Вт</b>	<b>n, с<sup>-1</sup></b>	<b>Eu</b>	<b>μ, Па·с</b>	<b>Re</b>
21,7	1,57	2538,6	0,0231	337,19
27,8	3,14	406,53	0,0231	674,39
22,7	4,71	98,356	0,0231	1011,6
27,636	6,28	50,516	0,0231	1348,8
38,5	7,85	36,032	0,0231	1686
47,1	9,41	25,591	0,0231	2021
52,1	10,98	17,818	0,0231	2358,2
42,2	12,55	9,6653	0,0231	2695,4
48	14,12	7,7192	0,0231	3032,6
61,3	15,69	7,185	0,0231	3369,8

## Продукт № 2

Температура 30 °С

<b>N, Вт</b>	<b><math>n, c^{-1}</math></b>	<b>Eu</b>	<b><math>\mu, \text{Па}\cdot\text{с}</math></b>	<b>Re</b>
10,2	1,57	1193,3	0,152	52,929
12	3,14	175,48	0,152	105,86
16	4,71	69,325	0,152	158,79
21,3	6,28	38,935	0,152	211,72
22,3	7,85	20,87	0,152	264,65
23,2	9,41	12,605	0,152	317,24
24,8	10,98	8,4817	0,152	370,17
27,4	12,55	6,2756	0,152	423,1
35	14,12	5,6286	0,152	476,03
36,7	15,69	4,3016	0,152	528,96

Температура 40 °С

<b>N, Вт</b>	<b><math>n, c^{-1}</math></b>	<b>Eu</b>	<b><math>\mu, \text{Па}\cdot\text{с}</math></b>	<b>Re</b>
12	1,57	1403,8	0,0483	165,29
18,1	3,14	264,68	0,0483	330,58
22,6	4,71	97,922	0,0483	495,87
31,1	6,28	56,848	0,0483	661,16
29,7	7,85	27,796	0,0483	826,44
42	9,41	22,82	0,0483	990,68
49,8	10,98	17,032	0,0483	1156
52	12,55	11,91	0,0483	1321,3
59,6	14,12	9,5847	0,0483	1486,5
62	15,69	7,2671	0,0483	1651,8

Температура 50 °С

<b>N, Вт</b>	<b><math>n, c^{-1}</math></b>	<b>Eu</b>	<b><math>\mu, \text{Па}\cdot\text{с}</math></b>	<b>Re</b>
22	1,57	2573,7	0,0383	205,68
27	3,14	394,83	0,0383	411,36
26,8	4,71	116,12	0,0383	617,03
32,9	6,28	60,139	0,0383	822,71
29,2	7,85	27,328	0,0383	1028,4
35	9,41	19,017	0,0383	1232,8
37,5	10,98	12,825	0,0383	1438,4
41,2	12,55	9,4363	0,0383	1644,1
59,6	14,12	9,5847	0,0383	1849,8
63,8	15,69	7,478	0,0383	2055,5

## Температура 60 °С

<b>N, Вт</b>	<b>n, с<sup>-1</sup></b>	<b>Eu</b>	<b>μ, Па·с</b>	<b>Re</b>
20,8	1,57	2433,3	0,0303	258,53
21,4	3,14	312,94	0,0303	517,05
27,5	4,71	119,15	0,0303	775,58
32,9	6,28	60,139	0,0303	1034,1
14,9	7,85	13,945	0,0303	1292,6
23,7	9,41	12,877	0,0303	1549,5
34	10,98	11,628	0,0303	1808
27,3	12,55	6,2527	0,0303	2066,6
42	14,12	6,7543	0,0303	2325,1
65,9	15,69	7,7242	0,0303	2583,6

## Температура 65 °С

<b>N, Вт</b>	<b>n, с<sup>-1</sup></b>	<b>Eu</b>	<b>μ, Па·с</b>	<b>Re</b>
21,7	1,57	2538,6	0,0262	297,3
27,8	3,14	406,53	0,0262	594,59
22,7	4,71	98,356	0,0262	891,89
27,636	6,28	50,516	0,0262	1189,2
38,5	7,85	36,032	0,0262	1486,5
47,1	9,41	25,591	0,0262	1781,9
52,1	10,98	17,818	0,0262	2079,2
42,2	12,55	9,6653	0,0262	2376,5
48	14,12	7,7192	0,0262	2673,8
61,3	15,69	7,185	0,0262	2971,1

## Продукт № 3

## Температура 30 °С

<b>N, Вт</b>	<b>n, с<sup>-1</sup></b>	<b>Eu</b>	<b>μ, Па·с</b>	<b>Re</b>
12	3,14	175,48	0,158	101,84
16	4,71	69,325	0,158	152,76
21,3	6,28	38,935	0,158	203,68
22,3	7,85	20,87	0,158	254,6
23,2	9,41	12,605	0,158	305,19
24,8	10,98	8,4817	0,158	356,11
27,4	12,55	6,2756	0,158	407,03
35	14,12	5,6286	0,158	457,95
36,7	15,69	4,3016	0,158	508,87

## Температура 40 °С

<b>N, Вт</b>	<b>n, с<sup>-1</sup></b>	<b>Eu</b>	<b>μ, Па·с</b>	<b>Re</b>
18,1	3,14	264,68	0,0514	310,64
22,6	4,71	97,922	0,0514	465,96
31,1	6,28	56,848	0,0514	621,28
29,7	7,85	27,796	0,0514	776,6
42	9,41	22,82	0,0514	930,93
49,8	10,98	17,032	0,0514	1086,3
52	12,55	11,91	0,0514	1241,6
59,6	14,12	9,5847	0,0514	1396,9
62	15,69	7,2671	0,0514	1552,2

## Температура 50 °С

<b>N, Вт</b>	<b>n, с<sup>-1</sup></b>	<b>Eu</b>	<b>μ, Па·с</b>	<b>Re</b>
27	3,14	394,83	0,0294	535,88
26,8	4,71	116,12	0,0294	803,82
32,9	6,28	60,139	0,0294	1071,8
29,2	7,85	27,328	0,0294	1339,7
35	9,41	19,017	0,0294	1605,9
37,5	10,98	12,825	0,0294	1873,9
41,2	12,55	9,4363	0,0294	2141,8
59,6	14,12	9,5847	0,0294	2409,8
63,8	15,69	7,478	0,0294	2677,7

## Температура 60 °С

<b>N, Вт</b>	<b>n, с<sup>-1</sup></b>	<b>Eu</b>	<b>μ, Па·с</b>	<b>Re</b>
21,4	3,14	312,94	0,0201	779,43
27,5	4,71	119,15	0,0201	1169,2
32,9	6,28	60,139	0,0201	1558,9
14,9	7,85	13,945	0,0201	1948,6
23,7	9,41	12,877	0,0201	2335,8
34	10,98	11,628	0,0201	2725,5
27,3	12,55	6,2527	0,0201	3115,3
42	14,12	6,7543	0,0201	3505
65,9	15,69	7,7242	0,0201	3894,7

## Температура 65 °С

<b>N, Вт</b>	<b>n, с<sup>-1</sup></b>	<b>Eu</b>	<b>μ, Па·с</b>	<b>Re</b>
27,8	3,14	406,53	0,019	819,91
22,7	4,71	98,356	0,019	1229,9
27,636	6,28	50,516	0,019	1639,8
38,5	7,85	36,032	0,019	2049,8
47,1	9,41	25,591	0,019	2457,1
52,1	10,98	17,818	0,019	2867,1
42,2	12,55	9,6653	0,019	3277
48	14,12	7,7192	0,019	3687
61,3	15,69	7,185	0,019	4096,9

**Оценка однородности перемешивания и выбор оптимальной частоты вращения рабочего органа**

Протокол проведения опыта № 1

Дата проведения эксперимента: 10.04.2014 г.

Продукт: Спред № 1

Объем продукта: 464 мл

Число вводимых трассеров: 300 шт.

Среднее содержание ключевого компонента в пробах: 4,64

№ п.п.	Время, мин	Количество трассеров в отобранной пробе, шт.	Концентрация, $N$	Температура, °С	Частота вращения, об/мин
1	0,5	15	7,73	65	150
2	1	10	5,15		
3	1,5	7	3,60		
4	2	6	3,09		
5	2,5	7	3,60		
6	3	3	1,54		
7	3,5	2	1,03		
8	4	3	1,54		
9	4,5	6	3,09		
10	5	6	3,09		
11	5,5	5	2,57		
12	6	4	2,06		
13	6,5	4	2,06		
14	7	5	2,57		
15	7,5	4	2,06		

### Протокол проведения опыта № 2

Дата проведения эксперимента: 10.04.2014 г.

Продукт: Спред № 1

Объем продукта: 464 мл.

Число вводимых трассеров: 300 шт.

Среднее содержание ключевого компонента в пробах: 4,64

№ п.п.	Время, мин	Количество трассеров в отобранной пробе, шт.	Концентрация, N	Температура, °С	Частота вращения, об/мин
1	0,5	20	10,31	30,2	15
2	1	17	8,76	30,1	
3	1,5	12	6,18	30,0	
4	2	13	6,70	29,5	
5	2,5	10	5,15	29,3	
6	3	10	5,15	28,2	
7	3,5	2	1,03	28,0	
8	4	2	1,03	26,7	
9	4,5	8	4,12	26,5	
10	5	8	4,12	25,5	
11	5,5	7	3,60	25,1	
12	6	8	4,12	24,7	
13	6,5	7	3,60	24,2	
14	7	8	4,12	23,8	
15	7,5	7	3,60	22,9	
16	8	7	3,60	22,1	
17	8,5	6	3,09	21,7	
18	9	7	3,60	21,5	
19	9,5	7	3,60	20,3	
20	10	2	1,03	20,0	
21	10,5	3	1,54	20,1	
22	11	6	3,09	19,9	
23	11,5	6	3,09	19,6	
24	12	7	3,60	19,3	
25	12,5	7	3,60	18,9	
26	13	3	1,54	18,5	
27	13,5	6	3,09	18,2	
28	14	5	2,57	17,9	
29	14,5	4	2,06	17,5	
30	15	4	2,06	17,1	
31	15,5	5	2,57	16,9	
32	16	4	2,06	16,7	
33	16,5	6	3,09	16,1	
34	17	4	2,06	15,7	
35	17,5	5	2,57	15,1	
36	18	6	3,09	15,0	

### Протокол проведения опыта № 3

Дата проведения эксперимента: 10.04.2014 г.

Продукт: Спред № 1

Объем продукта: 464 мл

Число вводимых трассеров: 300 шт.

Среднее содержание ключевого компонента в пробах: 4,64

№ п.п.	Время, мин	Количество трассеров в отобранной пробе, шт.	Концентрация, N	Температура, °С	Частота вращения, об/мин
1	0,5	19	9,79	65	140
2	1	14	7,21		
3	1,5	9	4,64		
4	2	8	4,12		
5	2,5	9	4,64		
6	3	7	3,60		
7	3,5	2	1,03		
8	4	2	1,03		
9	4,5	7	3,60		
10	5	7	3,60		
11	5,5	2	1,03		
12	6	7	3,60		
13	6,5	6	3,09		
14	7	6	3,09		
15	7,5	5	2,57		
16	8	5	2,57		
17	8,5	4	2,06		
18	9	5	2,57		

### Протокол проведения опыта № 4

Дата проведения эксперимента: 10.04.2014 г.

Продукт: Спред № 1

Объем продукта: 464 мл.

Число вводимых трассеров: 300 шт.

Среднее содержание ключевого компонента в пробах: 4,64

№ п.п.	Время, мин	Количество трассеров в отобранной пробе, шт.	Концентрация, N	Температура, °С	Частота вращения, об/мин
1	0,5	22	11,34	30,2	20
2	1	15	7,73	30,1	
3	1,5	10	5,15	30,0	
4	2	11	5,67	30,0	
5	2,5	9	4,64	29,5	
6	3	8	4,12	28,9	
7	3,5	2	1,03	28,0	
8	4	8	4,12	27,0	
9	4,5	9	4,64	26,5	
10	5	2	1,03	25,5	
11	5,5	8	4,12	25,1	
12	6	2	1,03	24,5	
13	6,5	7	3,60	24,2	
14	7	7	3,60	23,5	
15	7,5	2	1,03	22,6	
16	8	7	3,60	22,4	
17	8,5	3	1,54	22,0	
18	9	3	1,54	21,6	
19	9,5	6	3,09	20,4	
20	10	6	3,09	20,0	
21	10,5	7	3,60	19,9	
22	11	6	3,09	19,5	
23	11,5	3	1,54	19,0	
24	12	2	1,03	18,8	
25	12,5	3	1,54	18,3	
26	13	6	3,09	18,4	
27	13,5	3	1,54	18,0	
28	14	6	3,09	17,9	
29	14,5	3	1,54	17,1	
30	15	6	3,09	17,1	
31	15,5	4	2,06	16,7	
32	16	5	2,57	16,4	
33	16,5	4	2,06	16,1	
34	17	5	2,57	15,8	
35	17,5	5	2,57	15,1	
36	18	5	2,57	15,0	

### Протокол проведения опыта № 5

Дата проведения эксперимента: 10.04.2014 г.

Продукт: Спред № 1

Объем продукта: 464 мл

Число вводимых трассеров: 300 шт.

Среднее содержание ключевого компонента в пробах: 4,64

№ п.п.	Время, мин	Количество трассеров в отобранной пробе, шт.	Концентрация, N	Температура, °С	Частота вращения, об/мин
1	0,5	21	10,82	65	130
2	1	16	8,24		
3	1,5	9	4,64		
4	2	8	4,12		
5	2,5	2	1,03		
6	3	7	3,60		
7	3,5	7	3,60		
8	4	8	4,12		
9	4,5	2	1,03		
10	5	7	3,60		
11	5,5	2	1,03		
12	6	8	4,12		
13	6,5	8	4,12		
14	7	7	3,60		
15	7,5	6	3,09		
16	8	7	3,60		
17	8,5	6	3,09		
18	9	5	2,57		
19	9,5	5	2,57		
20	10	4	2,06		
21	10,5	5	2,57		
22	11	4	2,06		

### Протокол проведения опыта № 6

Дата проведения эксперимента: 10.04.2014 г.

Продукт: Спред № 1

Объем продукта: 464 мл.

Число вводимых трассеров: 300 шт.

Среднее содержание ключевого компонента в пробах: 4,64

№ п.п.	Время, мин	Количество трассеров в отобранной пробе, шт.	Концентрация, N	Температура, °С	Частота вращения, об/мин
1	0,5	18	9,28	30,0	10
2	1	16	8,24	30,0	
3	1,5	11	5,67	30,1	
4	2	10	5,15	29,4	
5	2,5	9	4,64	29,0	
6	3	9	4,64	28,5	
7	3,5	7	3,60	28,0	
8	4	8	4,12	26,8	
9	4,5	2	1,03	26,3	
10	5	2	1,03	25,7	
11	5,5	7	3,60	25,4	
12	6	7	3,60	24,8	
13	6,5	2	1,03	24,1	
14	7	2	1,03	23,7	
15	7,5	7	3,60	22,8	
16	8	6	3,09	22,2	
17	8,5	6	3,09	21,8	
18	9	3	1,54	20,9	
19	9,5	3	1,54	20,2	
20	10	6	3,09	20,0	
21	10,5	3	1,54	20,0	
22	11	6	3,09	19,8	
23	11,5	3	1,54	19,6	
24	12	3	1,54	19,4	
25	12,5	5	2,57	19,0	
26	13	6	3,09	18,6	
27	13,5	3	1,54	18,1	
28	14	5	2,57	17,7	
29	14,5	6	3,09	17,5	
30	15	6	3,09	17,0	
31	15,5	4	2,06	16,9	
32	16	4	2,06	16,5	
33	16,5	5	2,57	16,3	
34	17	5	2,57	15,9	
35	17,5	5	2,57	15,4	
36	18	5	2,57	15,2	

Протокол проведения опыта № 7

Дата проведения эксперимента: 15.04.2014 г.

Продукт: Спред № 2

Объем продукта: 464 мл.

Число вводимых трассеров: 300 шт.

Среднее содержание ключевого компонента в пробах: 4,64

№ п.п.	Время, мин	Количество трассеров в отобранной пробе, шт.	Концентрация, N	Температура, °C	Частота вращения, об/мин
1	0,5	20	10,31	65	150
2	1	15	7,73		
3	1,5	8	4,12		
4	2	7	3,60		
5	2,5	7	3,60		
6	3	2	1,03		
7	3,5	6	3,09		
8	4	3	1,54		
9	4,5	7	3,60		
10	5	4	2,06		
11	5,5	3	1,54		
12	6	4	2,06		
13	6,5	4	2,06		
14	7	4	2,06		
15	7,5	5	2,57		

Протокол проведения опыта № 8

Дата проведения эксперимента: 15.04.2014 г.

Продукт: Спред № 2

Объем продукта: 464 мл.

Число вводимых трассеров: 300 шт.

Среднее содержание ключевого компонента в пробах: 4,64

№ п.п.	Время, мин	Количество трассеров в отобранной пробе, шт.	Концентрация, N	Температура, °С	Частота вращения, об/мин
1	0,5	22	11,34	30,1	15
2	1	17	8,764	30,0	
3	1,5	15	7,73	30,0	
4	2	18	9,28	29,5	
5	2,5	12	6,18	29,3	
6	3	11	5,67	28,2	
7	3,5	8	4,12	28,0	
8	4	3	1,54	26,7	
9	4,5	9	4,64	26,5	
10	5	7	3,60	25,5	
11	5,5	9	4,64	25,1	
12	6	8	4,12	24,7	
13	6,5	7	3,60	24,2	
14	7	8	4,12	23,8	
15	7,5	8	4,12	22,9	
16	8	7	3,60	22,1	
17	8,5	6	3,09	21,7	
18	9	6	3,09	21,5	
19	9,5	7	3,60	20,3	
20	10	3	1,54	20,0	
21	10,5	3	1,54	20,1	
22	11	7	3,60	19,9	
23	11,5	6	3,09	19,6	
24	12	8	4,12	19,3	
25	12,5	7	3,60	18,9	
26	13	3	1,54	18,5	
27	13,5	4	2,06	18,2	
28	14	5	2,57	17,9	
29	14,5	5	2,57	17,5	
30	15	4	2,06	17,1	
31	15,5	5	2,57	16,9	
32	16	5	2,57	16,7	
33	16,5	5	2,57	16,1	
34	17	4	2,06	15,7	
35	17,5	5	2,57	15,1	
36	18	6	3,09	15,0	

### Протокол проведения опыта № 9

Дата проведения эксперимента: 15.04.2014 г.

Продукт: Спред № 2

Объем продукта: 464 мл.

Число вводимых трассеров: 300 шт.

Среднее содержание ключевого компонента в пробах: 4,64

№ п.п.	Время, мин	Количество трассеров в отобранной пробе, шт.	Концентрация, N	Температура, °С	Частота вращения, об/мин
1	0,5	19	9,79	65	140
2	1	12	6,18		
3	1,5	8	4,12		
4	2	7	3,60		
5	2,5	2	1,03		
6	3	2	1,03		
7	3,5	7	3,60		
8	4	2	1,03		
9	4,5	7	3,60		
10	5	3	1,54		
11	5,5	7	3,60		
12	6	3	1,54		
13	6,5	6	3,09		
14	7	6	3,09		
15	7,5	5	2,57		
16	8	4	2,06		
17	8,5	4	2,06		
18	9	5	2,57		
19	9,5	5	2,57		
20	10	5	2,57		
21	10,5	4	2,06		

Протокол проведения опыта № 10

Дата проведения эксперимента: 15.04.2014 г.

Продукт: Спред № 2

Объем продукта: 464 мл.

Число вводимых трассеров: 300 шт.

Среднее содержание ключевого компонента в пробах: 4,64

№ п.п.	Время, мин	Количество трассеров в отобранной пробе, шт.	Концентрация, N	Температура, °С	Частота вращения, об/мин
1	0,5	22	11,34	30,2	20
2	1	15	7,73	30,1	
3	1,5	13	6,70	30,0	
4	2	12	6,18	29,3	
5	2,5	10	5,15	29,0	
6	3	9	4,64	28,4	
7	3,5	10	5,15	28,0	
8	4	9	4,64	27,5	
9	4,5	9	4,64	27,0	
10	5	8	4,12	26,4	
11	5,5	9	4,64	26,1	
12	6	7	3,60	25,7	
13	6,5	7	3,60	25,3	
14	7	8	4,12	24,7	
15	7,5	7	3,60	24,1	
16	8	8	4,12	23,6	
17	8,5	8	4,12	22,8	
18	9	7	3,60	21,9	
19	9,5	8	4,12	21,3	
20	10	2	1,03	20,7	
21	10,5	2	1,03	20,2	
22	11	7	3,60	19,7	
23	11,5	8	4,12	19,4	
24	12	7	3,60	19,1	
25	12,5	8	4,12	18,7	
26	13	3	1,54	18,3	
27	13,5	7	3,60	18,0	
28	14	6	3,09	17,8	
29	14,5	5	2,57	17,7	
30	15	4	2,06	17,2	
31	15,5	5	2,57	16,9	
32	16	4	2,06	16,2	
33	16,5	5	2,57	16,0	
34	17	4	2,06	15,9	
35	17,5	5	2,57	15,5	
36	18	5	2,57	15,2	

### Протокол проведения опыта № 11

Дата проведения эксперимента: 15.04.2014 г.

Продукт: Спред № 2

Объем продукта: 464 мл.

Число вводимых трассеров: 300 шт.

Среднее содержание ключевого компонента в пробах: 4,64

№ п.п.	Время, мин	Количество трассеров в отобранной пробе, шт.	Концентрация, N	Температура, °С	Частота вращения, об/мин
1	0,5	20	10,31	65	130
2	1	14	7,21		
3	1,5	8	4,12		
4	2	7	3,60		
5	2,5	2	1,03		
6	3	8	4,12		
7	3,5	7	3,60		
8	4	2	1,03		
9	4,5	7	3,60		
10	5	3	1,54		
11	5,5	7	3,60		
12	6	3	1,54		
13	6,5	7	3,60		
14	7	3	1,54		
15	7,5	6	3,09		
16	8	4	2,06		
17	8,5	5	2,57		
18	9	4	2,06		
19	9,5	5	2,57		
20	10	4	2,06		
21	10,5	5	2,57		

### Протокол проведения опыта № 12

Дата проведения эксперимента: 15.04.2014 г.

Продукт: Спред № 2

Объем продукта: 464 мл.

Число вводимых трассеров: 300 шт.

Среднее содержание ключевого компонента в пробах: 4,64

№ п.п.	Время, мин	Количество трассеров в отобранной пробе, шт.	Концентрация, N	Температура, °С	Частота вращения, об/мин
1	0,5	17	8,76	30,0	10
2	1	12	6,18	30,0	
3	1,5	10	5,15	30,0	
4	2	11	5,67	29,3	
5	2,5	10	5,15	29,0	
6	3	9	4,64	28,4	
7	3,5	10	5,15	28,0	
8	4	9	4,64	26,5	
9	4,5	9	4,64	26,1	
10	5	8	4,12	25,7	
11	5,5	9	4,64	25,2	
12	6	7	3,60	24,6	
13	6,5	9	4,64	24,3	
14	7	8	4,12	23,7	
15	7,5	7	3,60	22,8	
16	8	8	4,12	22,2	
17	8,5	3	1,54	21,5	
18	9	7	3,60	21,0	
19	9,5	8	4,12	20,4	
20	10	3	1,54	20,0	
21	10,5	2	1,03	20,3	
22	11	2	1,03	19,8	
23	11,5	3	1,54	19,2	
24	12	7	3,60	19,0	
25	12,5	8	4,12	18,7	
26	13	3	1,54	18,4	
27	13,5	6	3,09	18,1	
28	14	3	1,54	17,8	
29	14,5	3	1,54	17,5	
30	15	7	3,60	17,1	
31	15,5	6	3,09	16,7	
32	16	4	2,06	16,5	
33	16,5	4	2,06	16,1	
34	17	5	2,57	15,6	
35	17,5	5	2,57	15,4	
36	18	5	2,57	15,3	

### Протокол проведения опыта № 13

Дата проведения эксперимента: 17.04.2014 г.

Продукт: Спред № 3

Объем продукта: 464 мл.

Число вводимых трассеров: 300 шт.

Среднее содержание ключевого компонента в пробах: 4,64

№ п.п.	Время, мин	Количество трассеров в отобранной пробе, шт	Концентрация, $N$	Температура, °С	Частота вращения, об/мин
1	0,5	17	8,76	65	150
2	1	9	4,64		
3	1,5	7	3,60		
4	2	2	1,03		
5	2,5	7	3,60		
6	3	2	1,03		
7	3,5	6	3,09		
8	4	6	3,09		
9	4,5	7	3,60		
10	5	3	1,54		
11	5,5	3	1,54		
12	6	4	2,06		
13	6,5	4	2,06		
14	7	4	2,06		
15	7,5	5	2,57		

### Протокол проведения опыта № 14

Дата проведения эксперимента: 17.04.2014 г.

Продукт: Спред № 3

Объем продукта: 464 мл.

Число вводимых трассеров: 300 шт.

Среднее содержание ключевого компонента в пробах: 4,64

№ п.п.	Время, мин	Количество трассеров в отобранной пробе, шт.	Концентрация, N	Температура, °C	Частота вращения, об/мин
1	0,5	20	11,34	30,2	15
2	1	18	8,76	30,1	
3	1,5	18	9,28	30,0	
4	2	15	9,28	29,5	
5	2,5	12	6,18	29,3	
6	3	11	5,67	28,2	
7	3,5	9	4,12	28,0	
8	4	7	3,60	26,7	
9	4,5	8	4,64	26,5	
10	5	8	3,60	25,5	
11	5,5	7	4,64	25,1	
12	6	9	4,12	24,7	
13	6,5	7	3,60	24,2	
14	7	8	4,12	23,8	
15	7,5	7	4,12	22,9	
16	8	7	3,60	22,1	
17	8,5	5	3,09	21,7	
18	9	7	3,09	21,5	
19	9,5	6	3,60	20,3	
20	10	7	1,54	20,0	
21	10,5	7	1,54	20,1	
22	11	3	3,60	19,9	
23	11,5	6	3,09	19,6	
24	12	8	4,12	19,3	
25	12,5	6	3,60	18,9	
26	13	3	1,54	18,5	
27	13,5	4	2,06	18,2	
28	14	4	2,57	17,9	
29	14,5	5	2,57	17,5	
30	15	5	2,06	17,1	
31	15,5	4	2,57	16,9	
32	16	5	2,57	16,7	
33	16,5	4	2,57	16,1	
34	17	4	2,06	15,7	
35	17,5	5	2,57	15,1	
36	18	5	3,09	15,0	

### Протокол проведения опыта № 15

Дата проведения эксперимента: 17.04.2014 г.

Продукт: Спред № 3

Объем продукта: 464 мл.

Число вводимых трассеров: 300 шт.

Среднее содержание ключевого компонента в пробах: 4,64

№ п.п.	Время, мин	Количество трассеров в отобранной пробе, шт	Концентрация, N	Температура, °С	Частота вращения, об/мин
1	0,5	15	7,73	65	140
2	1	10	5,15		
3	1,5	8	4,12		
4	2	8	4,12		
5	2,5	7	3,60		
6	3	7	3,60		
7	3,5	2	1,03		
8	4	7	3,60		
9	4,5	2	1,03		
10	5	6	3,09		
11	5,5	6	3,09		
12	6	7	3,60		
13	6,5	3	1,54		
14	7	2	1,03		
15	7,5	3	1,54		
16	8	3	1,54		
17	8,5	5	2,57		
18	9	4	2,06		
19	9,5	4	2,06		
20	10	5	2,57		
21	10,5	4	2,06		

### Протокол проведения опыта № 16

Дата проведения эксперимента: 17.04.2014 г.

Продукт: Спред № 3

Объем продукта: 464 мл.

Число вводимых трассеров: 300 шт.

Среднее содержание ключевого компонента в пробах: 4,64

№ п.п.	Время, мин	Количество трассеров в отобранной пробе, шт.	Концентрация, N	Температура, °С	Частота вращения, об/мин
1	0,5	19	9,79	30,2	20
2	1	15	7,73	30,0	
3	1,5	10	5,15	29,5	
4	2	12	6,18	29,3	
5	2,5	10	5,15	28,3	
6	3	10	5,15	28,2	
7	3,5	9	4,64	28,5	
8	4	9	4,64	27,0	
9	4,5	8	4,12	27,5	
10	5	8	4,12	26,0	
11	5,5	7	3,60	25,1	
12	6	8	4,12	24,8	
13	6,5	7	3,60	24,7	
14	7	8	4,12	25,0	
15	7,5	7	3,60	24,2	
16	8	7	3,60	24,0	
17	8,5	6	3,09	23,8	
18	9	7	3,60	23,2	
19	9,5	7	3,60	22,8	
20	10	7	3,60	23,1	
21	10,5	3	1,54	22,9	
22	11	6	3,09	23,0	
23	11,5	7	3,60	21,0	
24	12	7	3,60	21,0	
25	12,5	7	3,60	20,0	
26	13	7	3,60	19,4	
27	13,5	6	3,09	19,0	
28	14	6	3,09	19,0	
29	14,5	7	3,60	18,7	
30	15	6	3,09	19,0	
31	15,5	4	2,06	19,0	
32	16	6	3,09	17,0	
33	16,5	6	3,09	17,5	
34	17	5	2,57	17,5	
35	17,5	5	2,57	16,8	
36	18	4	2,06	16,5	

### Протокол проведения опыта № 17

Дата проведения эксперимента: 17.04.2014 г.

Продукт: Спред № 3

Объем продукта: 464 мл.

Число вводимых трассеров: 300 шт.

Среднее содержание ключевого компонента в пробах: 4,64

№ п.п.	Время, мин	Количество трассеров в отобранной пробе, шт	Концентрация, N	Температура, °С	Частота вращения, об/мин
1	0,5	20	10,31	65	130
2	1	15	7,73		
3	1,5	8	4,12		
4	2	7	3,60		
5	2,5	7	3,60		
6	3	2	1,03		
7	3,5	8	4,12		
8	4	7	3,60		
9	4,5	2	1,03		
10	5	7	3,60		
11	5,5	2	1,03		
12	6	8	4,12		
13	6,5	7	3,60		
14	7	7	3,60		
15	7,5	6	3,09		
16	8	8	4,12		
17	8,5	8	4,12		
18	9	3	1,54		
19	9,5	6	3,09		
20	10	3	1,54		
21	10,5	2	1,03		
22	11	6	3,09		
23	11,5	3	1,54		
24	12	6	3,09		
25	12,5	3	1,54		
26	13	5	2,57		
27	13,5	5	2,57		
28	14	4	2,06		
29	14,5	5	2,57		
30	15	5	2,57		

Протокол проведения опыта № 18

Дата проведения эксперимента: 17.04.2014 г.

Продукт: Спред № 3

Объем продукта: 464 мл.

Число вводимых трассеров: 300 шт.

Среднее содержание ключевого компонента в пробах: 4,64

№ п.п.	Время, мин	Количество трассеров в отобранной пробе, шт.	Концентрация, N	Температура, °С	Частота вращения, об/мин
1	0,5	20	10,31	29,8	10
2	1	17	8,76	29,9	
3	1,5	11	5,67	29,9	
4	2	12	6,18	28,3	
5	2,5	10	5,15	28,2	
6	3	9	4,64	28,2	
7	3,5	10	5,15	28,0	
8	4	9	4,64	27,7	
9	4,5	9	4,64	27,9	
10	5	8	4,12	26,0	
11	5,5	8	4,12	26,0	
12	6	7	3,60	26,0	
13	6,5	7	3,60	26,1	
14	7	8	4,12	25,5	
15	7,5	8	4,12	25,0	
16	8	7	3,60	24,9	
17	8,5	3	1,54	25,0	
18	9	7	3,60	24,5	
19	9,5	3	1,54	24,3	
20	10	8	4,12	24,4	
21	10,5	3	1,54	24,0	
22	11	7	3,60	24,3	
23	11,5	7	3,60	24,2	
24	12	3	1,54	23,9	
25	12,5	7	3,60	23,0	
26	13	3	1,54	23,0	
27	13,5	7	3,60	23,1	
28	14	6	3,09	23,2	
29	14,5	7	3,60	23,0	
30	15	7	3,60	22,0	
31	15,5	6	3,09	23,2	
32	16	5	2,57	23,2	
33	16,5	4	2,06	22,8	
34	17	5	2,57	22,0	
35	17,5	4	2,06	22,1	
36	18	5	2,57	22,0	

### Методика определения эффективной вязкости

Исследование характера изменения эффективной вязкости спредов проводили на структурном ротационном вискозиметре «Rheotest-2» (Германия) (рисунок 1).

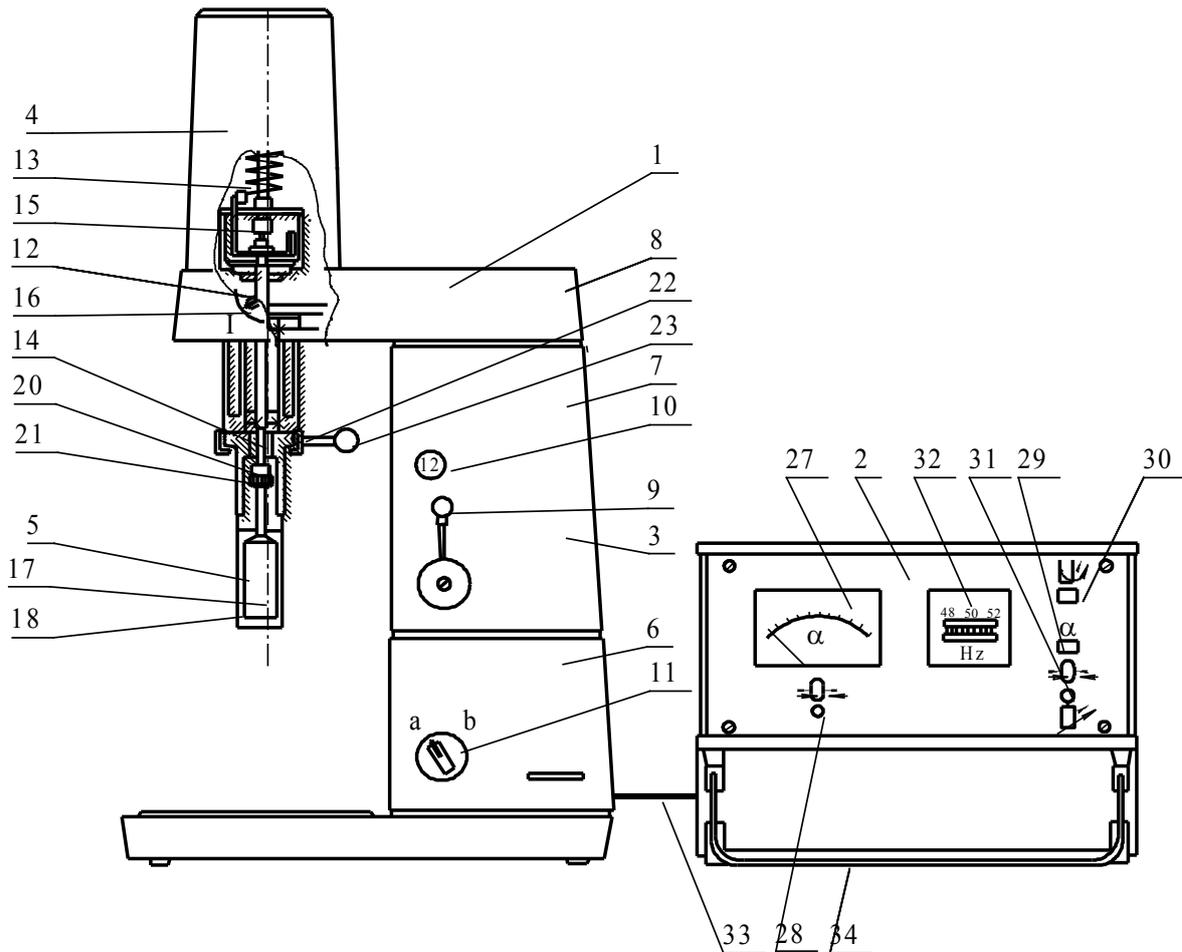


Рисунок 1 - Структурный ротационный вискозиметр «Rheotest-2»: 1 – вискозиметр; 2 – измерительный узел; 3 – приводной механизм; 4 – механизм измерительного прибора; 5 – цилиндрическое измерительное устройство; 6 – ножка; 7 – коробка передач; 8 – мост передачи; 9 – рычаг управления; 10 – шкала; 11 – переключатель числа оборотов; 12 – измерительный вал; 13 – приводной вал; 14 – динамометр; 15 – приборный потенциометр; 16 – переключатель диапазонов; 17 – измерительный цилиндр; 18 – мерный бачок; 19 – сосуд для регулирования температуры; 20 – измерительная трубка; 21, 22 – запорная крышка; 23 – вставки; 24 – запорная гайка; 25 – соединительная муфта; 26 – гильза; 27, 30 – зажимное кольцо; 28, 31 – зажимный рычаг; 29 – термометр; 32 – измерительный конус; 33 – направляющая плита; 34 – измерительная плита

Он подходит как для определения эффективной вязкости ньютоновских жидкостей, так и для проведения глубоких реологических исследований над не-ньютоновскими жидкостями. Им можно измерить следующие аномалии текучести: структурную вязкость, дилатацию, пластичность, (предел текучести), тиксотропию, реопексию.

Прибор «Rheotest-2» отличается принципом измерения, обоснованным с научной точки зрения, а также широким диапазоном измерения касательного напряжения, градиента напряжения на срез и вязкости. Можно исследовать реологические свойства вещества или в цилиндрическом измерительном устройстве по Куэтту, или в устройстве конус-плита.

Он является двусистемным прибором, который имеет соосные цилиндрические измерительные приборы, а также устройство конус-плита. Температура испытания выбирается в широком диапазоне путем регулирования. Область температур – 60...+ 150 °С, с применением предохранительной камеры до + 300 °С.

Необходимое количество вещества 10...50 мл в зависимости от применяющегося измерительного устройства.

**Принцип измерения.** В ЦИУ измеряемое вещество находится в кольцеобразном зазоре системы соосных цилиндров. Наружный стационарный цилиндр радиуса  $R$ , оформленный в качестве мерного бачка, принимает измеряемое вещество и с целью регулирования температуры окружается сосудом для регулирования температуры, предназначенным для присоединения термостата с циркуляцией жидкости. Измерительный вал соединяет вращающийся на постоянной угловой скорости  $\omega$  внутреннего цилиндра  $r$  и длины  $l$  с цилиндрической винтовой пружиной, отклонение которой представляет меру вращающего момента  $M$ , действующего на внутреннем цилиндре. Отклонение звена пружины ощупывается потенциометром сопротивления расположенного в мостовой схеме, причем измерение диагонального тока мостика пропорционально вращающему моменту  $M$  звена пружины.

Можно точно вычислить касательное напряжение  $\tau$  и градиент напряжения на срез  $D$  для системы соосных цилиндров. Обе величины непостоянные в кольцеобразном зазоре. Поэтому стремятся к соотношению радиусов  $r/R \approx 1$  и относят рассчитанные параметры  $\tau$  и  $D$  к радиусу  $r$  внутреннего цилиндра. Существуют следующие соотношения:

– касательное напряжение

$$\tau_r = \frac{M}{2\pi \cdot l \cdot r^2}; \quad (1)$$

– градиент напряжения на срез

$$D_r = \frac{\alpha \cdot \omega \cdot R^2}{R^2 - r^2}; \quad (2)$$

– вязкость

$$\eta = \frac{\tau_r}{D_r} \quad (3)$$

где  $\tau_r$  – касательное напряжение, дн/см<sup>2</sup>,

$D_r$  – градиент напряжения на срез, с<sup>-1</sup>.

Привод осуществляется 12-ступенчатой передачей с переменными скоростями от синхронного двигателя с переключаемыми полюсами, т.е. есть возможность свободного выбора среди всего 24 различных чисел оборотов соответственно градиентов напряжения на срез.

**Описание прибора.** Прибор «Rheotest-2» состоит из вискозиметра 1 и измерительного узла 2. Рисунок 1 показывает прибор «Rheotest-2» в сочетании с измерительным устройством из соосных цилиндров.

Вискозиметр 1 состоит из приводного механизма 3, механизма измерительного прибора 4 и на выбор из цилиндрического прибора 5 или устройства конус-плита.

Приводной механизм 3 включает в себе в ножку 6 и синхронный двигатель с переключаемыми полюсами, 12-ступенчатую коробку передач 7 и мост передачи 8. Выбор числа оборотов при помощи коробки передач осуществляется весьма

несложным способом. У измерительного вала могут существовать всего 12 различных ступеней числа оборотов с фактором градации «3». Желаемую ступень числа оборотов, которая соответствует данному положению рычага управления, показывается на шкале 10. Для переключения от ступени 1 до ступени 12 необходимо приблизительно два с половиной вращения рычага управления. Между этими положениями находятся все другие ступени числа оборотов. В ножке 6 расположен переключатель числа оборотов 2, при помощи которого производится изменение числа оборотов двигателя от  $1500 \text{ мин}^{-1}$  (положение а) до  $750 \text{ мин}^{-1}$ .

Число оборотов синхронного двигателя и число оборотов измерительного цилиндра или измерительного конуса не зависит от колебания сетевого напряжения и нагрузки.

## Методика определения теплофизических характеристик

Методика проведения эксперимента включала следующие операции: 1) заливка заданного объема исследуемого смеси в полусферическое углубление внешнего цилиндра; 2) установка внутреннего цилиндра; 3) включение термостата; 4) приведение во вращение внешнего цилиндра измерительного устройства с заданной угловой скоростью  $\omega$ , обеспечивающей создание в слое исследуемого смеси скорости сдвига  $\gamma$ ; 5) включение нагревателя измерительного устройства; 6) регистрацию установившейся среднеинтегральной температуры в слое нагревателя измерительного устройства; 7) отключение нагревателя измерительного

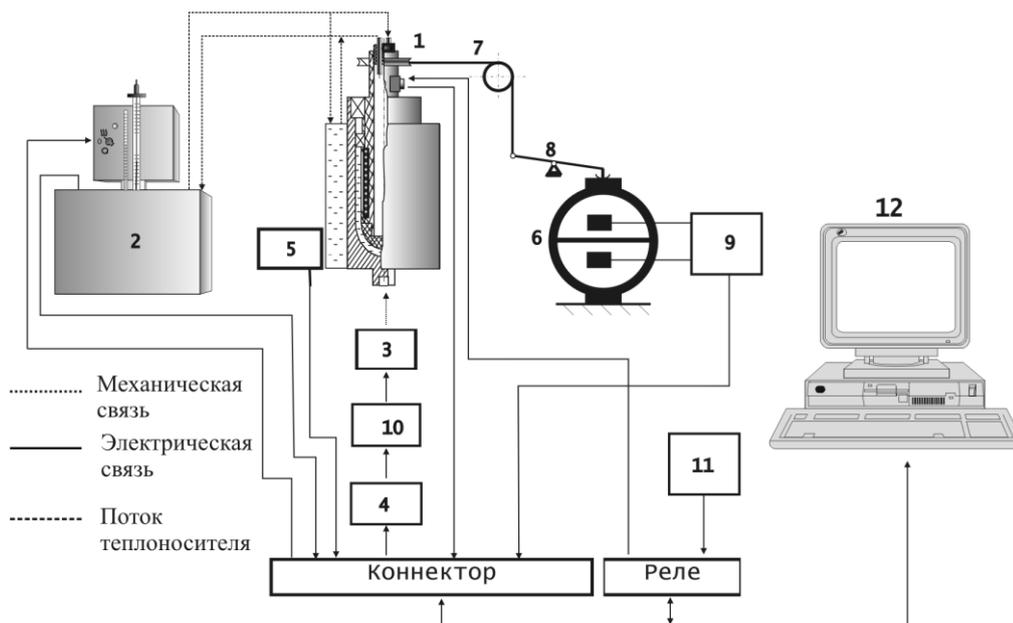


Рисунок 2 Функциональная схема измерительной установки:

1 – измерительное устройство; 2 – жидкостный термостат; 3 – электродвигатель постоянного тока; 4 – усилитель мощности У-13Н; 5 – преобразователь угловой скорости вращения внешнего цилиндра; 6 – виброчастотный преобразователь силы; 7 – трос; 8 – рычажная система; 9 – усилитель; 10 – выпрямитель; 11 – блок питания; 12 – персональный компьютер, оснащенный многофункциональной платой сбора данных РСМЮ-16Е-1

устройства; 8) регистрацию через заданный интервал времени  $\Delta\tau = 5$  °С среднеинтегральной температуры нагревателя измерительного устройства; 9) отключение привода внешнего цилиндра при достижении стационарной температуры; 10) определение теплофизических характеристик исследуемого спреда по экспе-

риментальной информации с использованием расчетных соотношений, полученных в ходе решения обратной задачи теплопроводности с применением пакета программ LabView 7.0.

Измерительная установка для определения теплофизических характеристик представлена на рисунок 2. Привод внешнего цилиндра представляет собой электродвигатель постоянного тока 3 с редуктором.

Изменение угловой скорости вращения цилиндра осуществляется за счет изменения напряжения на обмотке якоря электродвигателя, подводимого через выпрямитель 10 и усилитель мощности 4 от цифро-аналогового преобразователя (ЦАП) платы сбора данных, расположенной в персональном компьютере 12. При вращении внешнего цилиндра, за счет сил вязкого трения, вращающий момент передается внутреннему цилиндру. Через трос 7 (рисунок 2) и рычажную систему 8 силовое воздействие передается на упругий элемент 1 вибросигнального преобразователя силы, выходным сигналом которого является частота  $f$  электрического тока.

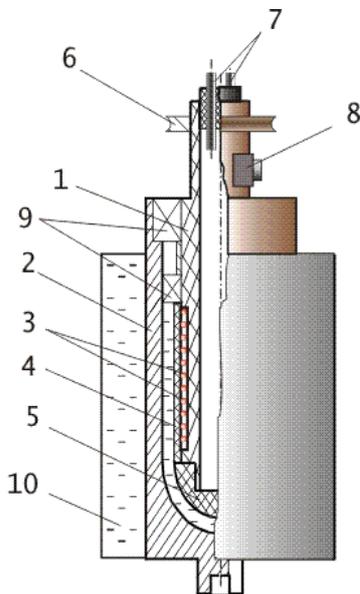


Рисунок 3 - Конструкция измерительного устройства: 1 – внутренний цилиндр; 2 – наружный цилиндр; 3 – нагреватель; 4 – гильза; 5 – нижний торец; 6 – шкив; 7 – спираль; 8 – разъем; 9 – подшипник; 10 – водяная рубашка

Основу измерительного устройства составляют два коаксиально расположенных цилиндра 1 и 2 (рисунок 3). Внутренний цилиндр 1 из капролона при помощи подшипников 9 установлен соосно по отношению к наружному цилиндру 2 и состоит из трех коаксиальных цилиндрических слоев.

На внешней поверхности внутреннего коаксиального цилиндрического слоя по спирали 7 намотаны медным проводом термпреобразователь сопротивления и марганциновым проводом электрический нагреватель 3. Выводы от термпреобразователя сопротивления и электрического нагревателя пропущены через канал на внешней поверхности цилиндра и подключены к разъему 8.

Термопреобразователь сопротивления и нагреватель отделены от анализируемого среда гильзой из капролона 4. Нижний торец 5 внутреннего цилиндра выполнен полусферическим, что способствует наиболее устойчивому режиму течения вязкоупругих жидкостей в зазоре между коаксиальными цилиндрами. К нижней части наружного цилиндра прикреплено основание, имеющее полусферическое углубление.

Таким образом, зазор между внутренним и внешним цилиндрами в нижней части равен зазору между боковыми поверхностями цилиндров. К боковой поверхности наружного цилиндра прикреплена водяная рубашка 10 из нержавеющей стали, предназначенная для термостатирования внешнего цилиндра и поддержания граничных условий первого рода.

Управление ходом эксперимента и обработка измерительной информации осуществлялась посредством виртуального прибора, разработанного в LabView 7.0.

Начальная стадия охватывает малые промежутки времени, характеризуемые числом Фурье  $Fo \leq 0,55$ . Эксперимент, основанный на теории этой стадии теплопроводности, является непродолжительным. При этом исключается влияние эффекта термовлагопроводности на исследуемые тепловые свойства. Задача сводится к совместному решению дифференциальных уравнений теплопроводности для одномерного потока:

для исследуемого среда:

$$\frac{\partial T_M(x, \tau)}{\partial \tau} = a_M \frac{\partial^2 T_M(x, \tau)}{\partial x^2} \quad (0 < x < h); \quad (4, a)$$

для эталона:

$$\frac{\partial T_3(x, \tau)}{\partial \tau} = a_3 \frac{\partial^2 T_3(x, \tau)}{\partial x^2} \quad (h < x < \infty); \quad (4, б)$$

где  $x$  – текущая координата;  $h$  – высота слоя исследуемого среда;  $\tau$  – любой момент времени;  $T_M$  – температура исследуемого среда, К;  $T_3$  – температура эталона, К.

Начальные и граничные условия этой задачи выражаются следующей си-

стемой уравнений:

$$\left. \begin{aligned} T_M(x, 0) = T_3(x, 0) = T_0 \\ T_M(h, \tau) = T_3(h, \tau) \\ \lambda_M \frac{\partial T_M(h, \tau)}{\partial x} = \lambda_3 \frac{\partial^2 T_3(h, \tau)}{\partial x} \\ T_M(0, \tau) = T_H = const \\ T_3(\infty, \tau) = T_0 \end{aligned} \right\}; \quad (5)$$

где  $T_H$  – температура нагревателя, К;  $T_0$  – температура исследуемого продукта и эталона в начальный момент времени, К.

Для температуры  $T$  в месте стыка продукта и эталона (когда  $x = h$ ) решение уравнений (4, а), (4, б) учетом (5) дается в виде бесконечного ряда:

$$\frac{T}{T_H} = (1 + a) [\operatorname{erfc}(y) - a \operatorname{erfc}(3y) + \dots]; \quad (6)$$

где:

$$a = \frac{\lambda_M \sqrt{a_3} - \lambda_3 \sqrt{a_M}}{\lambda_M \sqrt{a_3} + \lambda_3 \sqrt{a_M}}; \quad y = \frac{h}{2\sqrt{a\tau}}; \quad \operatorname{erfc}(y) = 1 - \operatorname{erf}(y); \quad (6)$$

$\operatorname{erf}(y) = \frac{2}{\pi} \int_0^y e^{-y^2} dy$  – интеграл вероятности Гаусса.

Для малых значений  $\tau$  решение уравнения (6) ограничивается первым членом ряда. В этом случае решение имеет вид:

$$\frac{T}{T_H} = (1 + a) [1 - \operatorname{erfc}(y)].$$

Решая уравнения (4, а) и (4, б) с учетом (5), можно определить  $\alpha, \lambda$  и  $c$  для исследуемого продукта:

$$a_M = \frac{h^2}{4y_1^2 \tau_1}; \quad \lambda_M = b\varepsilon \sqrt{a_M}; \quad c_M = \frac{\lambda_M}{a_M \rho_M}; \quad (7)$$

где  $y$  и  $\varepsilon$  – некоторые безразмерные величины, которые определяются по таблицам, исходя из найденных опытных соотношений  $\tau_2/\tau_1$ ;  $\tau_1$  – время, в течение которого температура на границе соприкосновения эталонного тела исследуемого образца достигнет  $\Delta T_1 = k_1 \cdot \Delta T$ ,  $\tau_2$  – время, в течение которого эта температура до-

стигнет  $\Delta T_2 = k_2 \cdot \Delta T$ ;  $k_1$  и  $k_2$  – заранее заданные значения, равные 0,75 и 0,5;  $\Delta T$  – разность между температурой нагревателя  $T_H$  и температурой в месте стыка исследуемого продукта и эталона  $T$ , т. е.  $\Delta T = T_H - T$ ;  $\rho_M$  – плотность исследуемого продукта, кг/м<sup>3</sup>.

Температуропроводность (м<sup>2</sup>/с) сливочно-растительных спредов определяется по уравнению

$$a_M = \frac{x^2}{4(z'')\tau''}, \quad (8)$$

где  $x$  – толщина слоя продукта, м;  $z''$  – интеграл Гаусса, определяемый в зависимости от отношения  $\tau''/\tau'$ ;  $\tau''$ ,  $\tau'$  – время изменения температуры в плоскости соприкосновения пищевого продукта с эталоном, с.

Теплопроводность (Вт/(м·К)) исследуемого образца сливочно-растительного спреда определяется по эмпирической формуле

$$\lambda_M = \lambda_3 \frac{1-h}{1+h} \sqrt{\frac{a_M}{a_3}}, \quad (9)$$

где  $\lambda_M$ ,  $a_M$  – теплопроводность и температуропроводность образца исследуемого спреда;  $\lambda_3 = 0,184$  Вт/(м·К),  $a_3 = 15,7 \cdot 10^{-8}$  м<sup>2</sup>/с – теплопроводность и температуропроводность эталона;  $h$  – вспомогательная величина, определяемая по формуле

$$h = \frac{t''}{t_{гр} [1 - \Phi(z'')]} - 1, \quad (10)$$

где  $t''$  – температура в плоскости соприкосновения образца смеси и эталона, определяемая по полученной диаграмме, °С;  $t_{гр}$  – температура греющей поверхности, °С;  $\Phi(z'')$  – функция Гаусса.

Удельная теплоемкость сливочно-растительных спредов (Дж/(кг·К)) определяется по зависимости

$$c_M = \lambda_M / (a_M \rho_M), \quad (11)$$

где  $\rho_M$  – плотность пищевого продукта, кг/м<sup>3</sup>.

## Методика определения плотности спредов

Методика проведения эксперимента включала следующие операции:

1. Заливка заданного объема ( $250 \text{ см}^3$ ) исследуемого вида спреда в полусферическое углубление внешнего цилиндра установки «CossfieldRT-1394H» (National Instruments) (рисунок 4).

2. Установка внутреннего цилиндра.

3. Включение термостата.

4. Приведение во вращение внешнего цилиндра измерительного устройства с заданной угловой скоростью  $\omega = 0,1 \text{ м/с}$ , обеспечивающей создание в слое исследуемого продукта скорости сдвига  $\gamma = 1,0 \text{ м/с}$ .

5. Регистрация частоты выходного сигнала датчика силы и определение по расчетным соотношениям установившегося значения величины касательного напряжения  $\tau$  при фиксированной скорости сдвига  $\dot{\epsilon}$  и температуре  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ .

6. Увеличение скорости сдвига в слое исследуемого продукта на  $\Delta\gamma = 0,05 \text{ м/с}$ .

7. Выполнение заданного числа  $k$  раз пунктов 4-6 настоящей методики.

8. Определение плотности исследуемого вида спреда удовлетворяющей условию

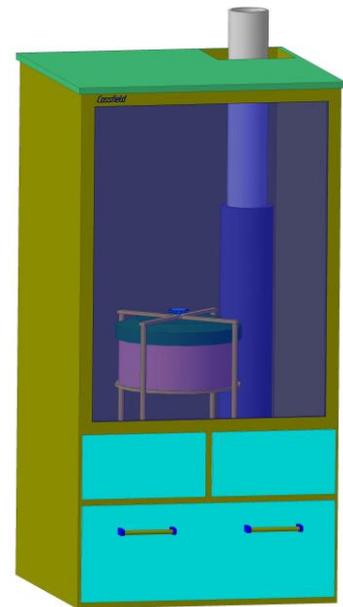


Рисунок 4 - Измерительная установка для определения теплофизических характеристик спредов «CossfieldRT-1394H» (National Instruments)

$$\sum_{i=1}^{i-k} (\sigma - \rho\gamma_i^n)^2 \longrightarrow \min . \quad (12)$$

### Методика определения кислотного числа (по ГОСТ 5476)

Кислотное число (КЧ) – количество миллиграммов гидроксида калия, необходимое для нейтрализации свободных жирных кислот, содержащихся в 1 г жира. Метод основан на титровании пробы жира раствором гидроксида калия в присутствии индикатора фенолфталеина.

Техника проведения.

В коническую колбу вместимостью 200 см<sup>3</sup> отвешивают 1 г испытуемого масла (жира) с погрешностью 0,001 г, приливают 50 мл заранее приготовленной нейтрализованной смеси диэтилового эфира и 96%-ного этилового спирта (2:1), перемешивают до растворения навески образца. Добавляют 1-2 капли 1%-ного спиртового раствора фенолфталеина. Полученный раствор при постоянном перемешивании титруют из микробюретки 0,1 н спиртовым раствором гидроксида калия до слабо-розовой окраски, устойчивой в течение 30 секунд.

Кислотное число (мг КОН на 1 г масла) вычисляют по формуле:

$$\text{КЧ} = 5,611 \cdot K \cdot V/m,$$

где 5,611 - титр 0,1 н раствора гидроксида калия, мг/мл;

K - поправочный коэффициент к 0,1 н раствору гидроксида калия;

V - количество 0,1 н раствора гидроксида калия, израсходованное на нейтрализацию свободных жирных кислот в массе навески масла, мл;

m - масса взятой для анализа навески, г.

Расхождение между параллельными определениями не должны превышать 5 отн.%.

**Методика определения перекисного числа в жире, выделенном из спреда  
(по ГОСТ 26593 с дополнением)**

Подготовка пробы — выделение жира из спреда.

Первый вариант. Пробу спреда массой 40—50 г расплавляют в химическом стакане на водяной бане или в сушильном шкафу при  $(60 \pm 5) ^\circ\text{C}$ , выдерживают при этой температуре до полного расслоения. Жировой слой фильтруют через складчатый фильтр. Если отфильтрованный жир будет прозрачен, то приступают к измерению. При наличии в жире мути его повторно фильтруют. Из выделенного жира берут пробу для выполнения измерений.

Техника проведения.

Навеску жира 2 г отвешивают с точностью до 0,001г в коническую колбу с пришлифованной пробкой и растворяют навеску в 10 мл хлороформа. Далее приливают 15 мл ледяной уксусной кислоты. Добавляют 1 мл 55%-ного водного раствора йодистого калия. При этом не должно наблюдаться расслоения реакционной смеси. Содержимое колбы перемешивается в течение 5 мин. Раствор выдерживают в течение 5 мин. без доступа света. Затем содержимое колбы разбавляют 75 мл дистиллированной воды и добавляют 1 мл 1%-ного сваренного раствора крахмала. Выделившийся йод оттитровывают из микробюретки 0,01 н раствором тиосульфата натрия до обесцвечивания раствора. В тех же условиях ставят контрольный опыт без навески жира.

Перекисное число (в миллимолях активного кислорода на кг жира) вычисляют по формуле:

$$\text{ПЧ} = (V_i - V_0) \cdot c \cdot 1000 / m ,$$

$V_i$  - количество 0,01 н раствора, пошедшее на титрование в основном опыте,  $\text{см}^3$ ;

$V_0$  - количество 0,01 н раствора, пошедшее на титрование в контрольном опыте,  $\text{см}^3$ ;

1000 - коэффициент, учитывающий пересчет результата измерения на кг жира;

$m$  - масса испытуемой пробы, г.

За конечный результат принимается среднее арифметическое значение двух параллельных опытов.

**Методика определения содержания твердой фазы триглицеридов (ТТГ)  
(по ГОСТ 53158-2008)**

Показатель содержания ТТГ – основной показатель при производстве ЗМЖ. Содержание твердых триглицеридов позволяет понять изменение консистенции жира (масла) при определенной температуре. Определение производилось методом импульсного ядерно-магнитного резонанса на приборе ЯМР-анализаторе.

Первоначально из спреда выделяли жировую фазу. Затем расплавленный жир заливали в 2 пробирки (высота заполнения 5-6 см) и выдерживали на водяной бане при 80 °С с целью полного расплавления. Первый замер производили при температуре 10 °С, далее замеры производили при 15, 20, 25, 30 и 35 °С.

**Методика определения температуры плавления (по методике ВНИИЖ)**

Небольшое количество исследуемого образца жира нагревают в фарфоровой чашке на водяной бане до полного расплавления. Сухой открытый с двух концов капилляр из тонкого стекла с внутренним диаметром 1,0-1,2 мм и длиной 50-60 мм погружают одним концом в расплавленный жир так, чтобы высота его в капилляре была равна 10 мм. Капилляр с жиром выдерживают на льду в течение 0,5-1,0 часа. После этого капилляр прикрепляют к термометру с помощью тонкого резинового кольца таким образом, чтобы столбик жира находился на одном уровне с ртутным шариком термометра. Затем термометр с капилляром осторожно опускают в стакан с водой (100 мл), имеющей температуру 15-18 °С на такую глубину, чтобы он был погружен в воду на 3-4 см. При непрерывном перемешивании воду в стакане нагревают со скоростью 1-2 °С в минуту, фиксируют температуру, при которой жир в капилляре начинает подниматься.

Определение производят два раза, за результат принимают среднее арифметическое двух параллельных определений, которые не должны различаться более чем на 0,5°С.

### **Методика определения жирнокислотного состава (по ГОСТ 30418-96)**

Метод определения жирнокислотного состава с помощью газо-жидкостной хроматографии применим для идентификации и количественного определения большой гаммы кислот различного молекулярного веса и разной степени насыщенности.

Состав жирных кислот исследовали методом газовой капиллярной хроматографии на приборе с пламенно-ионизационным детектором и электронным интегратором. Колонка — капиллярная кварцевая, размером 60м x 0,32ММБ, неподвижная фаза — 50% цианопропилметилсилоксан, толщина слоя 0,25 мкм. Температуру колонки программировали: первоначально при 160 °С выдерживали 2 мин., затем повышали температуру со скоростью 3°С/мин. до 225°С и выдерживали при этой температуре еще 15 мин. Температура испарителя 240°С, температура детектора 250°С, скорость газа-носителя (водород) — 1,0 мл/мин., деление потока 1:60. Разделению на газовом хроматографе подвергают метиловые эфиры жирных кислот.

Для того чтобы расшифровать хроматограмму, необходимо ее сравнить с хроматограммой жира известного состава (со стандартом). Количественное содержание каждой жирной кислоты определяется в процентном соотношении от суммарной площади всех пиков хроматограммы, принятой за 100%.

### **Методика определения органолептических показателей спредов**

**Цвет:** Цвет спреда определяют осмотром среза образца при комнатной температуре.

**Вкус и запах:** Запах и вкус спреда определяют органолептически при температуре продукта  $18 \pm 1$  °С. 5 г продукта подвергают разжевыванию в течение 30 с без проглатывания. Добиваются равномерного распределения продукта по всей полости рта и судят об улавливаемых привкусах в начальный момент помещения пробы на язык и после разжевывания.

**Консистенция:** Консистенцию спреда определяют при температуре  $18 \pm 1$  °С разрезанием. О консистенции судят по сохранению или изменению структуры, наличию или отсутствию влаги на срезе. Констатируют состояние, форму и поверхность среза. Обращают внимание на блеск или матовость поверхности среза.

### Методика оценки консистенции спреда «пробой на срез»

Метод оценки консистенции «пробой на срез» позволяет с наибольшей простотой и, при некотором навыке, с достаточной для сортировки продукта точностью охарактеризовать твердость, упругость, плотность, связность, следовательно, определять его консистенцию.

Для исследования отбирают пробу спреда массой 200...300 г, охлаждают и выдерживают в течение суток при минусовой температуре (если спред не был заморожен), затем отепляют до  $12\pm 2$  °С. От подготовленной пробы отрезают шпателем (ножом) пластинку толщиной 1...2 мм и испытывают на изгиб и деформацию.

Консистенцию спреда устанавливают в зависимости от характера среза:

- Отличная консистенция – пластинка имеет ровную поверхность и края, при легком нажиме прогибается не ломаясь;
- Хорошая – пластинка выдерживает небольшой изгиб, но затем медленно ломается;
- Удовлетворительная – пластинка имеет неровные края, при легком изгибе ломается;
- Слаб крошливая и крошливая – при отрезании пластинка ломается и распадается на кусочки;
- Слоистая – при отрезании и изгибе пластинка разделяется на слои;
- Излишне мягкая – пластинка при нажиме слегка деформируется (сминается), поверхность на вид засаленная.

## Методика определения термоустойчивости спредов

Определение термоустойчивости сводится к контролю спреда сохранять форму (не деформироваться под действием собственной массы) при температуре 28...30 °С.

Из образцов спреда с помощью пробоотборника вырезают цилиндрики установленного размера (диаметром и высотой около 20 мм) и осторожно размещают их на стеклянной пластинке с номерами проб на расстоянии 2...3 см друг от друга. Затем пластинку с пробами помещают в термостат с заранее отрегулированной температурой  $30 \pm 1$  °С, где выдерживают в течение 2ч.

По окончании выдержки пробы осторожно (без толчков) извлекают из термостата, помещают на миллиметровую бумагу и измеряют диаметр основания каждого цилиндрика. Если основание пробы продукта имеет эллипсовидную форму, то измеряют максимальный и минимальный диаметр и вычисляют среднее значение.

Для характеристики термоустойчивости спреда подсчитывают коэффициент термоустойчивости ( $K_T$ ), равный отношению начального диаметра основания цилиндрика ( $D_0$ ) к его среднему диаметру после термостатирования ( $D_1$ ):

$$K_T = D_0/D_1$$

Показатель термоустойчивости  $K_T$  близкий к единице характеризует высокую термоустойчивость, а сильно отклоняющийся от единицы – пониженную.

## **Методика определения активной кислотности водной фазы (по ГОСТ Р 51456).**

Активная кислотность - разность потенциалов, измеренная при фиксированной температуре 20 °С между двумя электродами, погруженными в водную фазу спреда, выраженная в рН.

Техника проведения.

В пробирку вместимостью 50 см<sup>3</sup> помещают навеску спреда массой (50±1) г. Пробирку помещают в водяную баню. После того как спред расплавится и образует два слоя, пробирку закрывают пробкой, помещают в центрифугу пробкой вниз и центрифугируют 5 мин при относительном радиальном ускорении от 1000 до 1200 об/мин. После центрифугирования пробирку помещают в ледяную баню пробкой вниз до получения плазмы (водной фазы), то есть полного застывания жира. Затем в пробирку высотой (200,0±1,2) мм и внутренним диаметром (21±1) мм переносят полученную плазму (водную фазу) и доводят на водяной бане до температуры (20±2) °С.

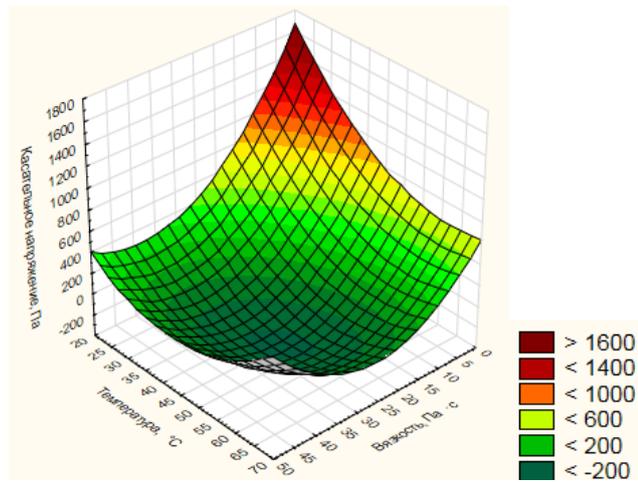
Электроды потенциометрического анализатора вводят в плазму (водную фазу). Определение проводят в соответствии с инструкцией на прибор. При установлении постоянного значения на шкале потенциометрического анализатора снимают показания с отсчетом результата до второго знака после запятой.

## Приложение Г

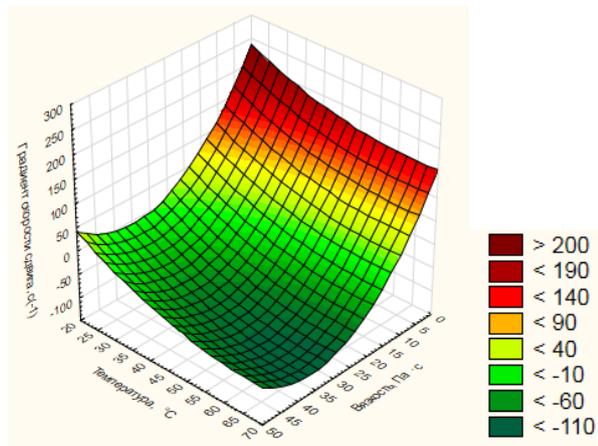
## Измерение эффективной вязкости сливочно-растительного спреда на вискозиметре «Rheotest-2»

Таблица 1 - Результаты измерения эффективной вязкости сливочно-растительного спреда на вискозиметре «Rheotest-2»

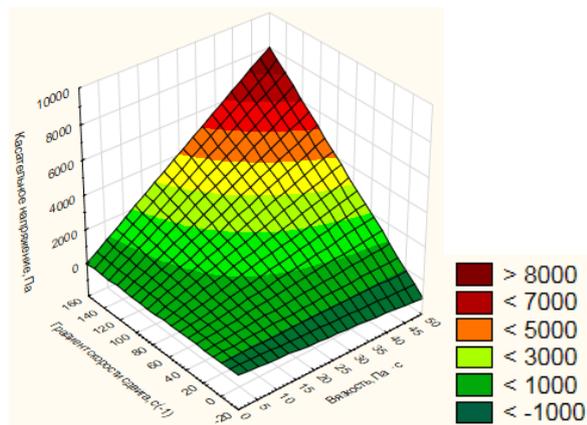
Температура спреда, °С	Рецептура №1			Рецептура №2			Рецептура №3		
	$D_{r,c}^{-1}$	$\mu, \text{Па} \cdot \text{с}$	$\tau_r, \text{Па}$	$D_{r,c}^{-1}$	$\mu, \text{Па} \cdot \text{с}$	$\tau_r, \text{Па}$	$D_{r,c}^{-1}$	$\mu, \text{Па} \cdot \text{с}$	$\tau_r, \text{Па}$
22	5,4	47,46	256,3	5,4	51,77	279,6	5,4	56,09	302,9
	16,2	24,45	396,1	16,2	30,2	489,3	16,2	30,2	489,3
	48,6	13,9	675,7	48,6	18,7	908,7	48,6	16,77	815,5
	145,8	7,67	1118,4	145,8	10,87	1584,4	145,8	7,99	1165
35	5,4	25,89	139,8	5,4	30,2	163,1	5,4	34,5	186,4
	16,2	14,38	233	16,2	20,14	326,2	16,2	23,01	372,8
	48,6	9,1	442,7	48,6	12,95	629,1	48,6	12,95	629,1
	145,8	5,43	792,2	145,8	7,67	1118,4	145,8	6,8	1001,9
50	5,4	12,94	69,9	5,4	17,26	93,2	5,4	19,41	104,85
	16,2	8,63	139,8	16,2	10,07	163,1	16,2	11,5	186,4
	48,6	6,23	302,9	48,6	7,67	372,8	48,6	6,71	326,2
	145,8	3,84	559,2	145,8	4,63	675,7	145,8	3,51	512,6
65	5,4	12,94	69,9	5,4	21,57	116,5	5,4	12,08	65,24
	16,2	10,07	163,1	16,2	11,5	186,4	16,2	9,7	156,44
	48,6	6,23	302,9	48,6	7,91	384,45	48,6	6,23	302,9
	145,8	3,52	512,6	145,8	4,47	652,4	145,8	4,15	605,8



а

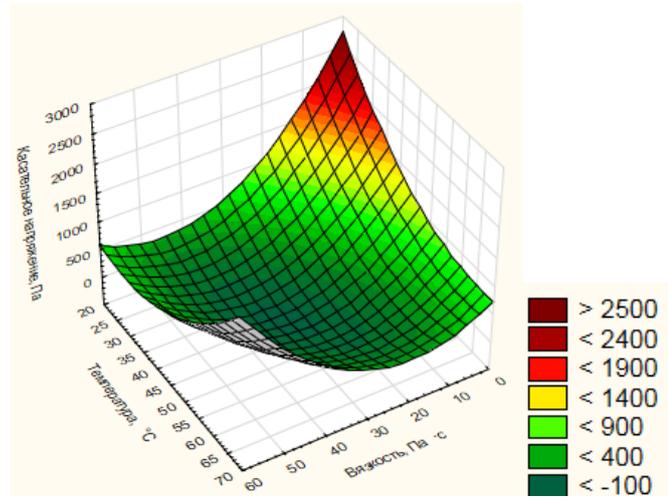


б

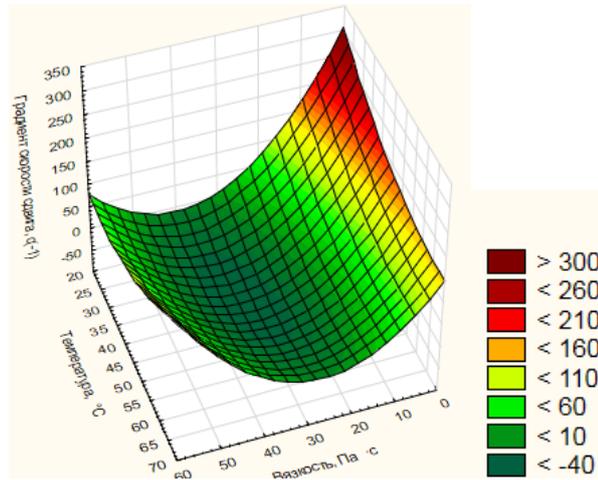


в

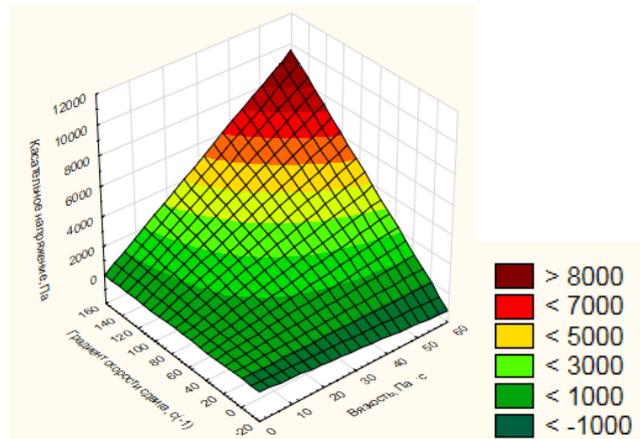
Рисунок 1 - Реологические характеристики спреда № 1  
 а – зависимость касательного напряжения от температуры и вязкости;  
 б – зависимость градиента скорости сдвига от температуры и вязкости;  
 в – зависимость касательного напряжения от градиента скорости сдвига и вязкости.



а

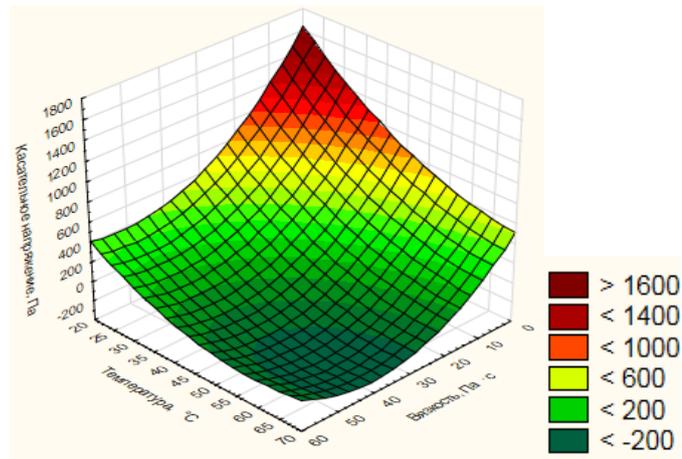


б

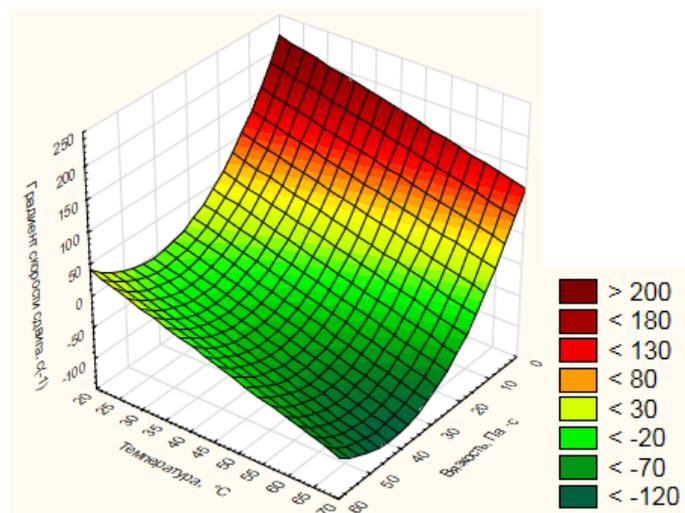


в

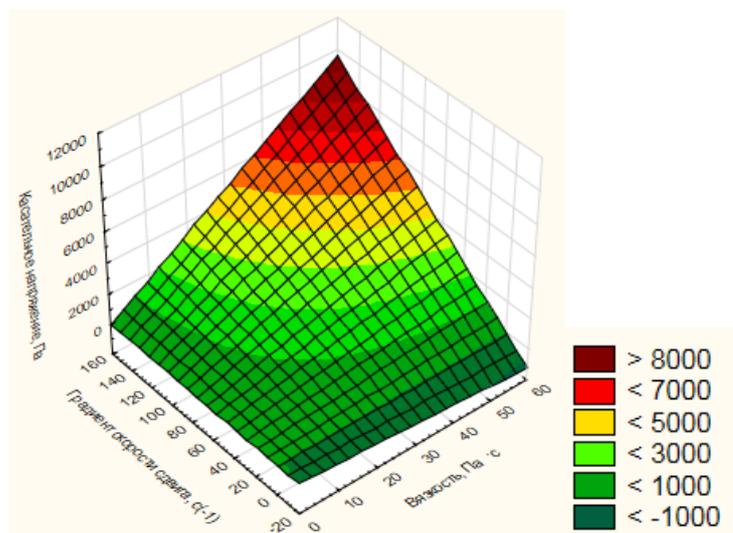
Рисунок 2 - Реологические характеристики спреда № 2  
 а – зависимость касательного напряжения от температуры и вязкости;  
 б – зависимость градиента скорости сдвига от температуры и вязкости;  
 в – зависимость касательного напряжения от градиента скорости сдвига и вязкости.



а



б



в

Рисунок 3 - Реологические характеристики спреда № 3  
 а – зависимость касательного напряжения от температуры и вязкости;  
 б – зависимость градиента скорости сдвига от температуры и вязкости;  
 в – зависимость касательного напряжения от градиента скорости сдвига и вязкости.

Таблица 2 - Динамическая вязкость растительных масел ( $\mu$ , мПа) в зависимости от температуры

Температура, °С	Льняное масло	Кукурузное масло	Арахисовое масло
27	56,9	54,2	53,9
28	51,3	52,2	51,8
29	48	48,7	48
30	46,6	45,1	44,8
31	44,7	42,9	42,5
32	43,2	40	40,3
33	41,8	39,4	38,2
34	40,4	38	36,7
35	39,3	36,7	35,4
36	38,1	35,6	34,2
37	37	34,3	33,1
38	36	33,1	31,7
39	35	32,3	30,4
40	34	31,3	29,6
41	33	30,2	28,5
42	32,1	29,1	27,7
43	31,2	28,5	26,7
44	30,4	27,7	25,8
45	29,6	27	25
46	28,8	26,3	24,3
47	28,1	25,5	23,5
48	27,4	24,9	22,8
49	26,7	23,9	22
50	26,1	23,5	21,5
51	25,5	23	20,9
52	24,8	22,4	20,4
53	24,3	21,9	20,3
54	23,7	21,4	19,7
55	23,2	20,9	19,2
56	22,7	20,3	18,7
57	22,2	19,9	18,7
58	21,6	19,5	18,2
59	20,9	18,9	18
60	20,5	18,4	17,5

Таблица 3 - Динамическая вязкость средов ( $\mu$ , мПа·с) в зависимости от температуры

Температура, °С	Рецептура № 1	Рецептура № 2	Рецептура № 3
20	1350	1390	1410
21	1060	1120	1140
22	957	1010	1020
23	780	832	850
24	542	641	656
25	401	510	520
26	307	320	330
27	231	270	280
28	172	210	223
29	136	171	183
30	115	152	158
31	93,4	122	128
32	78,9	98,1	102
33	64,9	75,2	85,2
34	56,7	64,1	74,3
35	51,5	62,6	70,1
36	48,3	58,4	65,2
37	44,3	56,1	59,2
38	42,0	52,5	57,4
39	41,5	50,1	53,8
40	40,3	48,3	51,4
41	39,4	47,6	49,2
42	38,6	46,5	47,1
43	38,0	45,7	45,3
44	37,3	44,5	43,2
45	36,6	43,6	40,9
46	35,8	42,3	38,2
47	35,0	41,5	36,4
48	34,3	40,3	33,5
49	33,5	39,5	31,3
50	32,7	38,3	29,4
51	31,7	37,5	28,1
52	31,0	36,5	27,2
53	30,1	35,4	26,1
54	29,4	34,9	25,0
55	28,8	34,4	24,1
56	28,4	33,8	23,5
57	27,2	33,3	23,1
58	27,0	32,1	22,4
59	26,0	31,8	21,3
60	25,5	30,3	20,1

## Протоколы определения теплофизических характеристик спредов



Федеральное агентство  
по техническому регулированию и метрологии

Федеральное государственное учреждение  
«МЕНДЕЛЕЕВСКИЙ ЦЕНТР СТАНДАРТИЗАЦИИ,  
МЕТРОЛОГИИ И СЕРТИФИКАЦИИ»

**ОРЕХОВО-ЗУЕВСКИЙ ФИЛИАЛ  
ФГУ «Менделеевский ЦСМ»**

ул. Коминтерна, д. 1, г. Орехово-Зуево, Московская обл., 142608  
тел.: (495) 412-14-09; факс: (495) 412-07-94  
e-mail: [ozcsm@ozcsm.ru](mailto:ozcsm@ozcsm.ru) [www.ozcsm.ru](http://www.ozcsm.ru)

Банк получателя: Отделение №1 Московского ГТУ Банка России  
г. Москва 705, БИК 044583001,  
расчетный счет 40503810900001009012,  
получатель: ИНН 5044000470 КПП 504401001  
УФК по Московской области (Отделение по Солнечногорскому  
муниципальному району УФК по МО (ФГУ «Менделеевский ЦСМ»  
л/с 03481455600)

**УТВЕРЖДАЮ**

Директор  
испытательного центра  
пищевой продукции



Фролова И.В.

5 » 12 2012 г.

№ \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_

### АКТ № 17857-Л

о проведении лабораторных испытаний  
спреда

**Цель испытаний:** определение теплофизических характеристик и плотности образца спреда.

Опыты проведены на установке для определения теплофизических и реологических характеристик вязкоупругих жидкостей *Cossfield* RT-1394H (National Instruments). Методики проведения опытов представлены в Приложении 1.

**Заказчик:** Воронежский государственный университет инженерных технологий, Горбатова А. В.

**Результаты испытаний:** результаты опытов по определению теплофизических характеристик и плотности спреда представлены в Приложении 2.

**Заключение:** определены основные теплофизические параметры и плотность представленного образца. Экспериментальные данные позволяют рекомендовать проведение опытно-промышленных испытаний.

Начальник испытательной  
лаборатории, д.х.н.

Инженер-исследователь



Волкова Н.Ф.

Подкопаев Р.Н.

## Приложение 1

### МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ ... ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ОБРАЗЦА

*На первом этапе выполняются следующие операции:*

- навеска заданной массы (15 г) исследуемого объекта помещается в полусферическое углубление внешнего цилиндра установки *Cossfield* RT-1394H (National Instruments);
- установка внутреннего цилиндра;
- включение термостата;
- приведение во вращение внешнего цилиндра измерительного устройства с заданной угловой скоростью  $\omega = 0,1$  м/с, обеспечивающей создание в слое исследуемой жидкости скорости сдвига  $\gamma = 2,5$  м/с;
- включение нагревателя измерительного устройства;
- регистрация установившейся среднеинтегральной температуры в слое нагревателя измерительного устройства;

*Второй этап включает в себя следующие операции:*

- отключение нагревателя измерительного устройства;
- регистрация через заданный интервал времени  $\Delta\tau = 10$  °С среднеинтегральной температуры нагревателя измерительного устройства;
- отключение привода внешнего цилиндра при достижении стационарной температуры;
- определение теплофизических характеристик исследуемого материала по экспериментальной информации с использованием расчетных соотношений, полученным в ходе решения обратной задачи теплопроводности с применением пакета программ Lab View 7.0.

### МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ ПЛОТНОСТИ ОБРАЗЦА

1. Навеска заданной массы (15 г) исследуемого объекта помещается в полусферическое углубление внешнего цилиндра установки *Cossfield* RT-1394H (National Instruments);
2. Установка внутреннего цилиндра;
3. Включение термостата;
4. Приведение во вращение внешнего цилиндра измерительного устройства с заданной угловой скоростью  $\omega = 0,1$  м/с, обеспечивающей создание в образце скорости сдвига  $\gamma = 1,0$  м/с;
5. Регистрация частоты выходного сигнала датчика силы и определение по расчетным соотношениям установившегося значения величины касательного напряжения  $\sigma$  при фиксированной скорости сдвига  $\gamma$  и температуре 20 °С;
6. Увеличение скорости сдвига в слое исследуемого образца на  $\Delta\gamma = 0,05$  м/с;
7. Выполнение заданного числа  $k$  раз пунктов 4 - 6 настоящей методики;
8. Определение плотности исследуемого образца удовлетворяющей условию;

$$\sum_{i=1}^{i=k} (\sigma - \rho \cdot \gamma_i^n)^2 \rightarrow \min$$

## Приложение 2

№ п./п.	Интервал температур	Ед. изм.	Образец среды		
			Коэффициент температуропроводности ( $a$ ), $\times 10^8$ м <sup>2</sup> /с		
1	20	°С	7,52	±	0,04
2	30	°С	7,31	±	0,02
3	40	°С	7,12	±	0,02
4	50	°С	6,94	±	0,04
5	60	°С	6,71	±	0,04
			Коэффициент теплопроводности ( $\lambda$ ), Вт/(м·К)		
6	20	°С	0,142	±	0,002
7	30	°С	0,148	±	0,002
8	40	°С	0,154	±	0,002
9	50	°С	0,158	±	0,002
10	60	°С	0,161	±	0,002
			Массовая удельная теплоемкость ( $c$ ), Дж/(кг·К)		
11	20	°С	2021,15	±	0,04
12	30	°С	2168,17	±	0,05
13	40	°С	2320,21	±	0,04
14	50	°С	2443,78	±	0,04
15	60	°С	2577,73	±	0,05
16	Плотность ( $\rho$ )	кг/м <sup>3</sup>	932,5		



Федеральное агентство  
по техническому регулированию и метрологии

Федеральное государственное учреждение  
«МЕНДЕЛЕЕВСКИЙ ЦЕНТР СТАНДАРТИЗАЦИИ,  
МЕТРОЛОГИИ И СЕРТИФИКАЦИИ

**ОРЕХОВО-ЗУЕВСКИЙ ФИЛИАЛ  
ФГУ «Менделеевский ЦСМ»**

ул. Коминтерна, д. 1, г. Орехово-Зуево, Московская обл., 142608  
тел.: (495) 412-14-09; факс: (495) 412-07-94  
e-mail: [ezcsm@ozcsm.ru](mailto:ezcsm@ozcsm.ru) [www.ozcsm.ru](http://www.ozcsm.ru)

Банк получателя: Отделение №1 Московского ГТУ Банка России  
г. Москва 705, БИК 044583001,  
расчетный счет 40503810900001009012,  
получатель: ИНН 5044000470 КПП 504401001  
УФК по Московской области (Отделение по Солнечногорскому  
муниципальному району УФК по МО (ФГУ «Менделеевский ЦСМ»  
л/с 03481455600)

**УТВЕРЖДАЮ**

Директор  
испытательного центра  
пищевой продукции



Фролова И.В.

«03» 04 2013 г.

## А К Т № 1 9 2 0 7 - Л

о проведении лабораторных испытаний  
спреда

Цель испытаний: определение теплофизических характеристик и плотности образцов спреда.

Опыты проведены на установке для определения теплофизических и реологических характеристик вязкоупругих жидкостей *Cossfield RT-1394H* (National Instruments).

Методики проведения опытов представлены в Приложении 1.

Заказчик: ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный университет инженерных технологий», Горбатова А. В.

Результаты испытаний: результаты опытов по определению теплофизических характеристик и плотности образцов представлены в Приложении 2.

Заключение: определены основные теплофизические параметры и плотность представленных образцов. Экспериментальные данные позволяют рекомендовать проведение опытно-промышленных испытаний.

Начальник испытательной  
лаборатории, д.х.н.

Инженер-исследователь



Волкова Н.Ф.

Подкопаев Р.Н.

## МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ОБРАЗЦОВ

*На первом этапе выполняются следующие операции:*

- навеска заданной массы (10 г) исследуемого объекта помещается в полусферическое углубление внешнего цилиндра установки *Cossfield* RT-1394H (National Instruments);
- установка внутреннего цилиндра;
- включение термостата;
- приведение во вращение внешнего цилиндра измерительного устройства с заданной угловой скоростью  $\omega = 0,1$  м/с, обеспечивающей создание в слое исследуемой жидкости скорости сдвига  $\gamma = 2,5$  м/с;
- включение нагревателя измерительного устройства;
- регистрация установившейся среднеинтегральной температуры в слое нагревателя измерительного устройства;

*Второй этап включает в себя следующие операции:*

- отключение нагревателя измерительного устройства;
- регистрация через заданный интервал времени  $\Delta t = 10$  °С среднеинтегральной температуры нагревателя измерительного устройства;
- отключение привода внешнего цилиндра при достижении стационарной температуры;
- определение теплофизических характеристик исследуемого материала по экспериментальной информации с использованием расчетных соотношений, полученным в ходе решения обратной задачи теплопроводности с применением пакета программ Lab View 7.0.

## МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ ПЛОТНОСТИ ОБРАЗЦОВ

1. Навеска заданной массы (10 г) исследуемого объекта помещается в полусферическое углубление внешнего цилиндра установки *Cossfield* RT-1394H (National Instruments);
2. Установка внутреннего цилиндра;
3. Включение термостата;
4. Приведение во вращение внешнего цилиндра измерительного устройства с заданной угловой скоростью  $\omega = 0,1$  м/с, обеспечивающей создание в образце скорости сдвига  $\gamma = 1,0$  м/с;
5. Регистрация частоты выходного сигнала датчика силы и определение по расчетным соотношениям установившегося значения величины касательного напряжения  $\sigma$  при фиксированной скорости сдвига  $\gamma$  и температуре 10 °С;
6. Увеличение скорости сдвига в слое исследуемого образца на  $\Delta\gamma = 0,05$  м/с;
7. Выполнение заданного числа  $k$  раз пунктов 4 - 6 настоящей методики;
8. Определение плотности исследуемого образца удовлетворяющей условию;

$$\sum_{i=1}^{i=k} (\sigma - \rho \cdot \gamma_i^n)^2 \rightarrow \min$$

## Приложение 2

№ п./п.	Интервал температур	Ед. изм.	Образцы среды			
			№ 2		№ 3	
			Коэффициент температуропроводности ( $a$ ), $\times 10^8 \text{ м}^2/\text{с}$			
1	20	°С	7,54	$\pm$ 0,02	7,55	$\pm$ 0,04
2	30	°С	7,53	$\pm$ 0,02	7,54	$\pm$ 0,04
3	40	°С	7,52	$\pm$ 0,02	7,53	$\pm$ 0,02
4	50	°С	7,51	$\pm$ 0,02	7,50	$\pm$ 0,04
5	60	°С	7,50	$\pm$ 0,04	7,51	$\pm$ 0,02
			Коэффициент теплопроводности ( $\lambda$ ), Вт/(м·К)			
6	20	°С	0,144	$\pm$ 0,004	0,145	$\pm$ 0,002
7	30	°С	0,148	$\pm$ 0,002	0,149	$\pm$ 0,004
8	40	°С	0,151	$\pm$ 0,002	0,152	$\pm$ 0,004
9	50	°С	0,156	$\pm$ 0,002	0,157	$\pm$ 0,002
10	60	°С	0,159	$\pm$ 0,004	0,162	$\pm$ 0,004
			Массовая удельная теплоемкость ( $c$ ), Дж/(кг·К)			
11	20	°С	2072,51	$\pm$ 0,15	2087,08	$\pm$ 0,15
12	30	°С	2130,72	$\pm$ 0,15	2147,93	$\pm$ 0,15
13	40	°С	2184,02	$\pm$ 0,10	2198,75	$\pm$ 0,15
14	50	°С	2253,21	$\pm$ 0,15	2273,15	$\pm$ 0,15
15	60	°С	2310,52	$\pm$ 0,10	2342,78	$\pm$ 0,10
16	Плотность ( $\rho$ )	кг/м <sup>3</sup>	923,5		919,7	

## Протоколы проведения химического анализа спредов



Федеральное агентство  
по техническому регулированию и метрологии

Федеральное государственное учреждение  
«МЕНДЕЛЕЕВСКИЙ ЦЕНТР СТАНДАРТИЗАЦИИ,  
МЕТРОЛОГИИ И СЕРТИФИКАЦИИ»

**ОРЕХОВО-ЗУЕВСКИЙ ФИЛИАЛ  
ФГУ «Менделеевский ЦСМ»**

ул. Коминтерна, д. 1, г. Орехово-Зуево, Московская обл., 142608  
тел.: (495) 412-14-09; факс: (495) 412-07-94  
e-mail: [ezcsm@ozcsm.ru](mailto:ezcsm@ozcsm.ru) [www.ozcsm.ru](http://www.ozcsm.ru)

Банк получателя: Отделение №1 Московского ГТУ Банка России  
г. Москва 705, БИК 044583001,  
расчетный счет 40503810900001009012,  
получатель: ИНН 5044000470 КПП 504401001  
УФК по Московской области (Отделение по Солнечногорскому  
муниципальному району УФК по МО (ФГУ «Менделеевский ЦСМ»  
л/с 03481455600)

**УТВЕРЖДАЮ**

Директор  
испытательного центра  
пищевой продукции



Фролова И.В.

20 » 03 2013 г.

№ \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_

## А К Т № - 1 9 2 0 9 Л

о проведении лабораторных испытаний  
спреда

**Цель испытаний:** определение химического, минерального, витаминного и жирнокислотного состава образца спреда.

Опыты проведены с использованием высокоэффективного жидкостного хроматографа HP 3900 MXL, оснащенного изократическим насосом, устройством для введения образца и спектрофотометрическим детектором (колонки: Hypesil ODS; 200×2,1мм; размер частиц 5 мкм; Hp-Innowax; 30 м ×0,25 мкм [каталожный номер 19091N-133, 135]), а также газового хроматографа, оснащенного пламенно-ионизационным детектором и системой электронного регулирования давления HP 3000 CR и Капель 105.

Методики проведения исследований представлены в Приложении 1.

**Заказчик:** ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный университет инженерных технологий», Горбатова А. В.

**Результаты испытаний:** результаты проведения опытов представлены в Приложении 2.

**Заключение:** определен химический, минеральный, витаминный и жирнокислотный состав образца. Экспериментальные данные позволяют рекомендовать проведение опытно-промышленных испытаний.

Начальник испытательной  
лаборатории, д.х.н.

Инженер-исследователь



Волкова Н.Ф.

Подкопаев Р.Н.

## МЕТОДИКИ ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА

В соответствии с целью и задачами лабораторных испытаний в качестве объектов исследований использовали образцы спреда.

Наименование определяемых характеристик, показателей	Обозначение НД, регламентирующих значения характеристик, показателей	Обозначение НД на методы испытаний и исследований (измерений)	Примечание
1	2	3	4
Витамины	–	ГОСТ 30417-96, ГОСТ Р 52741-2007, ГОСТ Р 50928-96, МУК 2015.5-99	
Минеральный состав	–	ГОСТ Р 51429-99 (РФ), ГОСТ Р 51430-99 (РФ)	
Углеводы (общий сахар)	–	ГОСТ Р 52187-2003, ГОСТ 8756.13-87	
Жирные кислоты	–	ГОСТ 30418-96, ГОСТ Р 52677-2006, ГОСТ 30089-93	

№ п./п.	Измеряемые параметры	Ед. изм./образцы	Сред (исходный образец)		
1	Общая влага	%	12,21	±	0,50
2	Массовая доля белка	%	1,65	±	0,50
3	Массовая доля жира	%	80,23	±	0,50
4	Углеводы ( <i>общий сахар</i> )	%	2,10	±	0,04
5	Моно- и дисахариды	%	1,38	±	0,02
6	Органические кислоты	%	0,69	±	0,02
7	Зола	%	1,74	±	0,04
8	Холестерин	мг/100 г	87,1	±	0,5
			<i>Минеральный состав</i>		
9	Натрий (Na)	мг	78,5	±	0,2
10	Калий (K)	мг	47,2	±	0,4
11	Кальций (Ca)	мг	78,5	±	0,2
12	Магний (Mg)	мг	3,2	±	0,4
13	Железо (Fe)	мг	0,23	±	0,01
14	Фосфор (P)	мг	37,8	±	0,5
			<i>Жирнокислотный состав</i>		
	<i>Насыщенные:</i>	%	<b>42,7</b>		
15	4:0 Масляная	%	0,63	±	0,02
16	6:0 Капроновая	%	0,67	±	0,04
17	7:0 Энантовая	%	0,18	±	0,04
18	8:0 Каприловая	%	0,34	±	0,02
19	10:0 Каприновая	%	0,57	±	0,04
20	11:0 Ундекановая	%	0,24	±	0,04
21	13:0 Тридекановая	%	0,27	±	0,04
22	12:0 Лауриновая	%	0,84	±	0,04
23	14:0 Миристиновая	%	0,78	±	0,02
24	15:0 Пентадекановая	%	0,51	±	0,04
25	16:0 Пальмитиновая	%	18,34	±	0,02
26	17:0 Маргаритиновая	%	0,62	±	0,02
27	18:0 Стеариновая	%	13,35	±	0,02
28	20:0 Арахидиновая	%	3,02	±	0,04
29	22:0 Бегеновая	%	2,19	±	0,04
30	24:0 Лигноцеритиновая	%	0,12	±	0,02
	<i>Мононенасыщенные:</i>	%	<b>39,5</b>		
31	16:1 Пальмитолеиновая	%	1,99	±	0,04
32	18:1 Олеиновая	%	28,28	±	0,04
33	18:1 Элаидиновая	%	3,13	±	0,04
34	14:1 Миристоолеиновая	%	3,34	±	0,04
35	17:1 Маргаритоолеиновая	%	2,77	±	0,04
	<i>Полиненасыщенные:</i>	%	<b>14,1</b>		
36	18:2 Линолевая	%	7,62	±	0,02
37	18:3 Альфа-линоленовая	%	3,68	±	0,04
38	18:3 Гамма-линоленовая	%	2,80	±	0,04

Продолжение таблицы

	<i>Транс-жиры:</i>	%	<b>3,73</b>	±	0,04
39	Транс-жиры моновенасыщенные	%	2,92	±	0,04
40	Транс-жиры полиненасыщенные	%	0,81	±	0,04
			<i>Содержание тяжелых металлов</i>		
41	Ртуть (Hg)	мг/г			-
42	Свинец (Pb)	мг/г			-
43	Мышьяк (As)	мг/г			-
44	Кадмий (Cd)	мг/г			-
45	Цезий (Cs <sup>137</sup> )	мг/г			-
46	Стронций (Sr <sup>90</sup> )	мг/г			-
			<i>Витаминный состав</i>		
47	Витамин А	мкг%	892,1	±	0,2
48	Витамин А, МЕ	МЕ/100	3689,5	±	0,2
49	Тиамин (В <sub>1</sub> )	мг%	0,027	±	0,004
50	Рибофлавин (В <sub>2</sub> )	мг%	0,039	±	0,004
51	Витамин Е	мг%	7,23	±	0,04
52	Витамин С	мг%	0,25	±	0,01
53	Ниацин (РР)	мг%	0,17	±	0,02



Федеральное агентство  
по техническому регулированию и метрологии

Федеральное государственное учреждение  
«МЕНДЕЛЕЕВСКИЙ ЦЕНТР СТАНДАРТИЗАЦИИ,  
МЕТРОЛОГИИ И СЕРТИФИКАЦИИ»

**ОРЕХОВО-ЗУЕВСКИЙ ФИЛИАЛ  
ФГУ «Менделеевский ЦСМ»**

ул. Коминтерна, д. 1, г. Орехово-Зуево, Московская обл., 142608  
тел.: (495) 412-14-09; факс: (495) 412-07-94  
e-mail: [ezcsm@ozcsm.ru](mailto:ezcsm@ozcsm.ru) [www.ozcsm.ru](http://www.ozcsm.ru)

Банк получателя: Отделение №1 Московского ГТУ Банка России  
г. Москва 705, БИК 044583001,  
расчетный счет 40503810900001009012,  
получатель: ИНН 5044000470 КПП 504401001  
УФК по Московской области (Отделение по Солнечногорскому  
муниципальному району УФК по МО (ФГУ «Менделеевский ЦСМ»  
л/с 03481455600)

№ \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_

**УТВЕРЖДАЮ**

Директор  
испытательного центра  
пищевой продукции



Фролова И.В.

3 » 04 2013 г.

## А К Т № - 19975 Л

о проведении лабораторных испытаний  
спредов

Цель испытаний: определение химического, минерального, витаминного, жирнокислотного и аминокислотного состава образцов спреда.

Опыты проведены с использованием высокоэффективного жидкостного хроматографа HP 3900 MXL, оснащенного изократическим насосом, устройством для введения образца и спектрофотометрическим детектором (колонки: Hupasil ODS; 200×2,1мм; размер частиц 5 мкм; Hp-Innowax; 30 м ×0,25 мкм [каталожный номер 19091N-133, 135]), а также газового хроматографа, оснащенного пламенно-ионизационным детектором и системой электронного регулирования давления HP 3000 CR и Капель 105.

Методики проведения исследований представлены в Приложении 1.

Заказчик: ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный университет инженерных технологий», Горбатова А. В.

Результаты испытаний: результаты проведения опытов представлены в Приложении 2.

Заключение: определены химический, минеральный, витаминный, жирнокислотный и аминокислотный составы образцов. Экспериментальные данные позволяют рекомендовать проведение опытно-промышленных испытаний.

Начальник испытательной  
лаборатории, д.х.н.

Инженер-исследователь



Волкова Н.Ф.

Подкопаев Р.Н.

**МЕТОДИКИ ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА**

В соответствии с целью и задачами лабораторных испытаний в качестве объектов исследований использовали образцы спреда.

Наименование определяемых характеристик, показателей	Обозначение НД, регламентирующих значения характеристик, показателей	Обозначение НД на методы испытаний и исследований (измерений)	Примечание
1	2	3	4
Витамины	–	ГОСТ 30417-96, ГОСТ Р 52741-2007, ГОСТ Р 50928-96, МУК 2015.5-99	
Аминокислоты	–	ГОСТ Р 52200-2004 (ИСО 3977-2-1997)	
Минеральный состав	–	ГОСТ Р 51429-99 (РФ), ГОСТ Р 51430-99 (РФ)	
Углеводы (общий сахар)	–	ГОСТ Р 52187-2003, ГОСТ 8756.13-87	
Жирные кислоты	–	ГОСТ 30418-96, ГОСТ Р 52677-2006, ГОСТ 30089-93	

## Приложение 2

№ п./п.	Измеряемые параметры	Ед. изм./образцы	Сред №2	
1	Общая влага	%	12,10	± 0,50
2	Массовая доля белка	%	1,85	± 0,50
3	Массовая доля жира	%	80,15	± 0,50
4	Углеводы ( <i>общий сахар</i> )	%	2,04	± 0,04
5	Моно- и дисахариды	%	1,48	± 0,02
6	Органические кислоты	%	0,71	± 0,02
7	Зола	%	1,67	± 0,04
8	Холестерин	мг/100 г	87,2	± 0,5
<i>Минеральный состав</i>				
9	Натрий (Na)	мг	78,6	± 0,2
10	Калий (K)	мг	47,2	± 0,4
11	Кальций (Ca)	мг	78,5	± 0,2
12	Магний (Mg)	мг	3,3	± 0,4
13	Железо (Fe)	мг	0,23	± 0,01
14	Фосфор (P)	мг	37,6	± 0,5
<i>Жиринокислотный состав</i>				
<i>Насыщенные:</i>		%	<b>42,25</b>	
*15	4:0 Масляная	%	0,63	± 0,02
16	6:0 Капроновая	%	0,67	± 0,04
17	7:0 Энантовая	%	0,18	± 0,04
18	8:0 Каприловая	%	0,34	± 0,02
19	10:0 Каприновая	%	0,57	± 0,04
20	11:0 Ундекановая	%	0,24	± 0,04
21	13:0 Тридекановая	%	0,26	± 0,04
22	12:0 Лауриновая	%	0,82	± 0,04
23	14:0 Миристиновая	%	0,69	± 0,02
24	15:0 Пентадекановая	%	0,51	± 0,04
25	16:0 Пальмитиновая	%	18,39	± 0,02
26	17:0 Маргариновая	%	0,62	± 0,02
27	18:0 Стеариновая	%	13,27	± 0,02
28	20:0 Арахидиновая	%	2,92	± 0,04
29	22:0 Бегеновая	%	2,02	± 0,04
30	24:0 Лигноцеридиновая	%	0,12	± 0,02
<i>Мононенасыщенные:</i>		%	<b>38,96</b>	
31	16:1 Пальмитолеиновая	%	1,97	± 0,04
32	18:1 Олеиновая	%	27,80	± 0,04
33	18:1 Элаидиновая	%	3,09	± 0,04
34	14:1 Миристоолеиновая	%	3,32	± 0,04
35	17:1 Маргариноолеиновая	%	2,78	± 0,04
<i>Полиненасыщенные:</i>		%	<b>15,25</b>	
36	18:2 Линолевая	%	9,59	± 0,02
37	18:3 Альфа-линоленовая	%	3,21	± 0,04
38	18:3 Гамма-линоленовая	%	2,45	± 0,04

Продолжение таблицы

	<i>Транс-жиры:</i>	%	3,54	±	0,04
39	Транс-жиры мононенасыщенные	%	2,71	±	0,04
40	Транс-жиры полиненасыщенные	%	0,83	±	0,04
			<i>Содержание тяжелых металлов</i>		
41	Ртуть (Hg)	мг/г			-
42	Свинец (Pb)	мг/г			-
43	Мышьяк (As)	мг/г			-
44	Кадмий (Cd)	мг/г			-
45	Цезий (Cs <sup>137</sup> )	мг/г			-
46	Стронций (Sr <sup>90</sup> )	мг/г			-
			<i>Витаминный состав</i>		
47	Витамин А	мкг%	893,5	±	0,2
48	Витамин А, МЕ	МЕ/100	3690,7	±	0,2
49	Тиамин (В <sub>1</sub> )	мг%	0,027	±	0,004
50	Рибофлавин (В <sub>2</sub> )	мг%	0,039	±	0,004
51	Витамин Е	мг%	7,82	±	0,04
52	Витамин С	мг%	0,25	±	0,01
53	Ниацин (РР)	мг%	0,17	±	0,02

№ п./п.	Измеряемые параметры	Ед. изм./образцы	Сред №3		
1	Общая влага	%	12,25	±	0,50
2	Массовая доля белка	%	1,89	±	0,50
3	Массовая доля жира	%	80,34	±	0,50
4	Углеводы ( <i>общий сахар</i> )	%	1,84	±	0,04
5	Моно- и дисахариды	%	1,08	±	0,02
6	Органические кислоты	%	0,82	±	0,02
7	Зола	%	1,78	±	0,04
8	Холестерин	мг/100 г	86,8	±	0,5
<i>Минеральный состав</i>					
9	Натрий (Na)	мг	79,5	±	0,2
10	Калий (K)	мг	47,1	±	0,4
11	Кальций (Ca)	мг	78,6	±	0,2
12	Магний (Mg)	мг	3,3	±	0,4
13	Железо (Fe)	мг	0,23	±	0,01
14	Фосфор (P)	мг	37,8	±	0,5
<i>Жирнокислотный состав</i>					
<i>Насыщенные:</i>		%	<b>42,43</b>		
15	4:0 Масляная	%	0,63	±	0,02
16	6:0 Капроновая	%	0,67	±	0,04
17	7:0 Энантовая	%	0,18	±	0,04
18	8:0 Каприловая	%	0,34	±	0,02
19	10:0 Каприновая	%	0,57	±	0,04
20	11:0 Ундекановая	%	0,24	±	0,04
21	13:0 Тридекановая	%	0,27	±	0,04
22	12:0 Лауриновая	%	0,83	±	0,04
23	14:0 Миристиновая	%	0,70	±	0,02
24	15:0 Пентадекановая	%	0,51	±	0,04
25	16:0 Пальмитиновая	%	18,42	±	0,02
26	17:0 Маргариновая	%	0,62	±	0,02
27	18:0 Стеариновая	%	13,25	±	0,02
28	20:0 Арахидиновая	%	2,97	±	0,04
29	22:0 Бегеновая	%	2,11	±	0,04
30	24:0 Лигноцериновая	%	0,12	±	0,02
<i>Мононенасыщенные:</i>		%	<b>38,30</b>		
31	16:1 Пальмитолеиновая	%	1,98	±	0,04
32	18:1 Олеиновая	%	27,10	±	0,04
33	18:1 Элаидиновая	%	3,10	±	0,04
34	14:1 Миристоолеиновая	%	3,35	±	0,04
35	17:1 Маргариноолеиновая	%	2,77	±	0,04
<i>Полиненасыщенные:</i>		%	<b>15,39</b>		
36	18:2 Линолевая	%	10,53	±	0,02
37	18:3 Альфа-линоленовая	%	2,76	±	0,04
38	18:3 Гамма-линоленовая	%	2,91	±	0,04

Продолжение таблицы

	<i>Транс-жиры:</i>	%	3,88	±	0,04
39	Транс-жиры мононенасыщенные	%	3,06	±	0,04
40	Транс-жиры полиненасыщенные	%	0,82	±	0,04
			<i>Содержание тяжелых металлов</i>		
41	Ртуть (Hg)	мг/г			-
42	Свинец (Pb)	мг/г			-
43	Мышьяк (As)	мг/г			-
44	Кадмий (Cd)	мг/г			-
45	Цезий (Cs <sup>137</sup> )	мг/г			-
46	Стронций (Sr <sup>90</sup> )	мг/г			-
			<i>Витаминный состав</i>		
47	Витамин А	мкг%	892,1	±	0,2
48	Витамин А, МЕ	МЕ/100	3690,2	±	0,2
49	Тиамин (В <sub>1</sub> )	мг%	0,027	±	0,004
50	Рибофлавин (В <sub>2</sub> )	мг%	0,039	±	0,004
51	Витамин Е	мг%	7,71	±	0,04
52	Витамин С	мг%	0,25	±	0,01
53	Ниацин (РР)	мг%	0,17	±	0,02



# ДИПЛОМ

Организационный комитет  
III Всероссийской научно-практической конференции  
«НАУЧНОЕ ТВОРЧЕСТВО XXI ВЕКА»  
с международным участием

НАГРАЖДАЕТСЯ

**А.В. Горбатова**

*Воронежская государственная технологическая академия*

за высокий научный уровень доклада

Председатель оргкомитета –  
руководитель Научно-инновационного центра  
член Российской Академии Естествознания



Я.А. Максимов

Красноярск  
октябрь 2010



# ДИПЛОМ

## УЧАСТНИКА КОНКУРСА

# ИНЖЕНЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ XXI ВЕКА

**НАГРАЖДАЕТСЯ В НОМИНАЦИИ**

*«ЗА СУЩЕСТВЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ, ОБЛАДАЮЩИЕ  
СУЩЕСТВЕННОЙ НОВИЗНОЙ И СРЕДНЕСРОЧНОЙ  
ПЕРСПЕКТИВОЙ ИХ ЭФФЕКТИВНОЙ  
КОММЕРЦИАЛИЗАЦИИ»*

**КОЛЛЕКТИВ АВТОРОВ:**

*ГОРБАТОВА А.В., ВАСИЛЕНКО Л.И.*

**ЗА ИННОВАЦИОННЫЙ ПРОЕКТ:**

*«ПРОБИОТИЧЕСКИЕ РАСТИТЕЛЬНО-СЛИВОЧНЫЕ  
ПРОДУКТЫ»*

**ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ИНЖЕНЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**

**ВОРОНЕЖ 15 НОЯБРА 2011**

**РЕКТОР**



**Е.Д. ЧЕРТОВ**



Департамент образования, науки  
и молодежной политики  
Воронежской области

Ведомственная целевая программа

“Талантливая молодежь  
Воронежской области”

2011-2013



# Сертификат

выдан

**Горбатовой Анастасии Викторовне**

в том, что она является участником регионального  
конкурса профессионального мастерства среди  
молодежи

Руководитель департамента  
образования, науки и молодежной  
политики Воронежской области



*Mgr*

О.Н. Мосолов

Приказ департамента образования, науки и молодежной  
политики Воронежской области № 532 от 27.05.2010 г.

[www.mol36.ru](http://www.mol36.ru)



**БЛАГОДАРСТВЕННОЕ  
ПИСЬМО**

**ГОРБАТОВОЙ  
Анастасии Викторовне**

аспиранту ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный  
университет инженерных технологий»

*Выражаю Вам благодарность за участие  
в межвузовском конкурсе инновационных  
проектов «Кубок инноваций», качество научно-  
технической проработки Вашего проекта и  
активность в развитии инновационной  
деятельности в Воронежской области*

**Губернатор  
Воронежской области**  **А.В. Гордеев**

Февраль 2014 года  
г. Воронеж



# III ВОРОНЕЖСКИЙ АГРОПРОМЫШЛЕННЫЙ ФОРУМ

# ДИПЛОМ

НАГРАЖДАЕТСЯ

Остриков А.Н., Василенко Л.И.,  
Горбатова А.В.

пробиотические растительно-сливочные продукты

Генеральный директор  
ООО «Выставочный Центр ВЕТА»  
ТПП ВО



  
Бельтюков И. Ю.

**1-3**  
**ноября**  
**2011**  
**ВОРОНЕЖ**





ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ИНЖЕНЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

ВОРОНЕЖ 24 МАЯ 2013

# ДИПЛОМ Победителя КОНКУРСА

## ИНЖЕНЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ XXI ВЕКА В РАМКАХ НАУЧНО-ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ЦЕНТРА "ЖИВЫЕ СИСТЕМЫ"

НАГРАЖДАЕТСЯ КОЛЛЕКТИВ АВТОРОВ:

*ОСТРИКОВ А.Н., ГОРБАТОВА А.В.*

ЗА ИННОВАЦИОННЫЙ ПРОЕКТ:

*«СПРЕДЫ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ -*

*ПРОДУКТ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ»*

РЕКТОР



Е.О. ЧЕРТОВ

# VI ВОРОНЕЖСКИЙ АГРОПРОМЫШЛЕННЫЙ ФОРУМ

11-я межрегиональная  
специализированная выставка

31-я межрегиональная специализированная выставка

## УРОЖАЙ ПИЩЕВАЯ ИНДУСТРИЯ

13-14  
ноября | ВОРОНЕЖ  
2014

# ДИПЛОМ участника

*НАГРАЖДАЮТСЯ*

*Остриков А.Н., Горбатова А.В.*

*ФГБОУ ВПО "Воронежский государственный университет  
инженерных технологий"*

*Кафедра технологии жиров, процессов и аппаратов химических и  
пищевых производств*

*За разработку инновационной технологии производства спредов  
функционального назначения*

Генеральный директор  
ООО «Выставочный Центр ВЕТА» ТПП ВО  
И.Ю. Бельтюков




**ВЕТА**  
ВЫСТАВОЧНЫЙ ЦЕНТР



**ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ИНЖЕНЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**

**ВОРОНЕЖ 28 НОЯБРЯ 2014 ГОДА**

# **ДИПЛОМ ПОБЕДИТЕЛЯ КОНКУРСА**

## **ИНЖЕНЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ XXI ВЕКА**

**В РАМКАХ НАУЧНО-ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ЦЕНТРА  
"ЭНЕРГОРЕСУРС"**

**НАГРАЖДАЕТСЯ:**

*ГОРБАТОВА АНАСТАСИЯ ВИКТОРОВНА*

**ЗАНЯВШАЯ**

**I МЕСТО**

**ЗА ИННОВАЦИОННЫЙ ПРОЕКТ**

*«РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА СПРЕДОВ  
НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ, СБАЛАНСИРОВАННЫХ  
ПО ЖИРНОКИСЛОТНОМУ СОСТАВУ»*

**РУКОВОДИТЕЛЬ**

*ПРОФЕССОР ОСТРИКОВ АЛЕКСАНДР НИКОЛАЕВИЧ*

**РЕКТОР**



**Е.Д. ЧЕРТОВ**



Таблица 1  
Органолептическая оценка

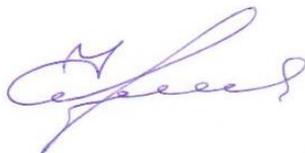
Показатель	Органолептическая оценка		Соответствие ГОСТу
	ГОСТ Р 52100-2003 «Спред и смеси топленые»	Экспериментальный образец спреда	
Вкус и запах	Сливочный, сладкосливочный или кислосливочный вкус и запах. При использовании пищевкусовых и ароматических добавок – привкус, свойственный внесенным добавкам	Сладкосливочный вкус и сладкосливочный запах с приятным ароматом арахиса	соответствует
Консистенция	Пластичная, однородная и мягкая. Поверхность среза блестящая или слабоблестящая, сухая на вид.	Пластичная, однородная и мягкая. Поверхность среза слабоблестящая.	соответствует
Цвет	От белого до светло-желтого, однородный по всей массе, или обусловленный внесенными добавками. Допускается наличие отдельных вкраплений добавок	Светло-желтый, однородный по всей массе.	соответствует

Полученные образцы спреда, изготовленные по предлагаемой технологии, обладают хорошими потребительскими свойствами. Оценка экспертами проводилась по десятибалльной шкале. Химический состав образцов спреда представлен в приложении.

Кислотное число готового спреда составило 0,82 мгКОН/г; 0,79 мгКОН/г; 0,85 мгКОН/г; перекисное число 2,98 ммольакт.О/кг; 2,88 ммольакт.О/кг; 2,98 ммольакт.О/кг. Такой высокий показатель ПЧ связаны с тем, что при производстве использовались нерафинированные растительные масла. Однако исключение цикла рафинации позволяет сохранить все полезные свойства, которыми обладают льняное и арахисовое масла.

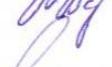
Комиссией отмечена высокая оценка органолептических показателей качества образцов спреда.

Председатель:



И.В. Черемушкина

Члены комиссии:

 Н.Н. Манилевич  
 Т.А. Попова  
 А.Н. Остриков  
 В.Н. Василенко  
 А.А. Шевцов

«УТВЕРЖДАЮ»

Генеральный директор

ООО «СТАНОВЛЯНСКИЙ  
МАСЛОДЕЛЬНЫЙ ЗАВОД»

Рыков В.В.

2014 г.

**АКТ**

выработки опытной партии спредов

Мы, нижеподписавшиеся представители ООО «СТАНОВЛЯНСКИЙ МАСЛОДЕЛЬНЫЙ ЗАВОД»: ген. директор Рыков Виктор Васильевич и федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Воронежский государственный университет инженерных технологий» («ВГУИТ»): заведующий кафедрой технологии жиров, процессов и аппаратов химических и пищевых производств доктор технических наук, профессор Остриков Александр Николаевич и аспирант кафедры технологии жиров, процессов и аппаратов химических и пищевых производств Горбатова Анастасия Викторовна, составили настоящий акт о том, что 14 мая 2014 года были проведены производственные испытания выработки опытной партии спредов. Испытания были проведены в ООО «СТАНОВЛЯНСКИЙ МАСЛОДЕЛЬНЫЙ ЗАВОД».

Аспирант Горбатова А.В. разработала новые рецептуры спредов с оптимизированным жирнокислотным составом, с 40-% заменой молочных жиров растительными маслами холодного отжима: купаж арахисового, льняного и кукурузного.

Таблица

**Рецептуры спредов**

Состав:	Рецептура №1, %	Рецептура №2, %	Рецептура №3, %
Масло арахисовое	6,70	13,67	13,67
Масло кукурузное	12,45	12,01	16,01
Масло льняное	20,11	13,01	9,00
Сливочное масло	60,47	61,03	61,03
Эмульгатор	0,27	0,29	0,29

Все спреды производятся по следующей технологии:

Полученное посредством холодного отжима масло очищается в фильтре и смешивается. Полученный купаж масел направляется в бункер временного хранения масла, откуда направляется на эмульгирование.

Далее в эмульсионный танк вносят растительные масла, растопленное сливочное масло, эмульгатор и подвергают эмульгированию в течение 30 мин при температуре 65 °С. Температура компонентов при смешении должна отличаться не более чем на 5 °С.

Полученная эмульсионная смесь направляется на трехступенчатую кристаллизацию: на первой стадии эмульсионную смесь обрабатывают при температуре 22 °С в течение 40 секунд, на второй стадии обрабатывают при температуре 11 °С в течение 20 секунд, на третьей стадии обрабатывают при температуре 10 °С в течение 200 секунд, готовый закристаллизованный спред охлаждают до температуры +2 °С в течение 36 часов.

#### Выводы

1. Проведенные производственные испытания производства спредов функционального назначения по разработанной технологии.
2. В результате проведенных производственных испытаний был получен продукт, обладающий высокими потребительскими свойствами и качественными показателями.
3. Испытанный способ производства спредов функционального назначения можно рекомендовать для внедрения на предприятиях, производящих молочную и масложировую продукцию.

Представители ООО «СТАНОВЛЯНСКИЙ МАСЛОДЕЛЬНЫЙ ЗАВОД»:

Ген. Директор

Рыков В.В.

Мастер

Щукина О.Ф.

Представители ФГБОУ ВПО «ВГУИТ»:

Зав. кафедрой ТЖ, ПАХПП, профессор, д.т.н.

Остриков А. Н.

Аспирант кафедры ТЖ, ПАХПП

Горбатова А. В.

## Сравнение эффективности турбулентного перемешивания эмульсии мешалками разных типов

### 1. Характеристика аппарата и перемешиваемой среды

Диаметр аппарата	$D := 0.424$
Высота заполнения аппарата средой	$\frac{H}{D} := 0.557$
Плотность жидкой фазы	$\rho := 932.5$
Кинематическая вязкость перемешиваемой среды	$\nu := 0.0000412$
Ускорение свободного падения	$\frac{g}{m/s^2} := 9.8$

### 2. Конструкция перемешивающего устройства

Число мешалок на валу	$z_M := 1$
Тип мешалки	$\begin{pmatrix} \text{якорная} \\ \text{рамная} \end{pmatrix}$
Коэффициент сопротивления мешалки	$\xi := \begin{pmatrix} 1.28 \\ 1.28 \end{pmatrix}$
Коэффициент расхода для мешалки	$k := \begin{pmatrix} 0.0013 \\ 0.033 \end{pmatrix}$
Диаметр мешалки	$d_M := 0.4$
Частота вращения мешалки	$n := 2.5$

### 3. Расчет мощности перемешивания и глубины центральной воронки

Отношение диаметров аппарата и мешалки	$GD := \frac{D}{d_M} \quad GD = 1.06$
Число Рейнольдса	$Re_{\psi} := n \cdot \frac{d_M^2}{\nu} \quad Re_{\psi} = 9.709 \times 10^3$
Параметр высоты заполнения аппарата	$\gamma := 1 + 8 \frac{H}{D} \quad \gamma = 11.509$
Параметр сопротивления корпуса аппарата	$\lambda := 0.095$

Запись и решение уравнения равенства моментов сил, действующих на перемешиваемую среду:

-----  
параметр профиля окружной скорости перемешиваемой среды  $\psi_2$

$$s_1 := 0.5 \qquad s_2 := 1.25 \qquad \psi_2(x) := -s_1 - s_2 \cdot x$$

Коэффициент мощности перемешивания

$$K_1(x) := 0.1x^2 + 0.222x \cdot \psi_2(x) + 0.125\psi_2(x)^2$$

относительная осредненная окружная скорость перемешиваемой среды

$$v_{cp}(x) := (1 + x + \psi_2(x)) \cdot \frac{dM}{2 \cdot \frac{D}{2}}$$

крутящий момент (от вращения лопастей мешалок)

$$M_{кр}(x, S_M) := z_M \cdot S_M \cdot K_1(x)$$

момент сопротивления стенок корпуса аппарата

$$M_{кор}(x) := v_{cp}(x)^{1.75} \cdot GD^{2.75} \cdot \pi \lambda \cdot \frac{\gamma}{2.2 Re_{ц}^{0.25}}$$

$$x := s_1 \cdot (1 - s_2)^{-1}$$

уравнение равенства моментов

$$f(x, S_M) := M_{кр}(x, S_M) - M_{кор}(x)$$

параметр профиля окружной скорости перемешиваемой среды  $\psi_1$

$$i := 0..1 \quad \psi_{1_i} := \text{root}(f(x, \xi_i), x) \quad \psi_1 = \begin{pmatrix} 0.093 \\ 0.093 \end{pmatrix}$$

Критерий мощности перемешивания

$$KN_i := 3.87 z_M \cdot \xi_i \cdot K_1(\psi_{1_i}) \quad KN = \begin{pmatrix} 0.176 \\ 0.176 \end{pmatrix}$$

Мощность, необходимая для осуществления перемешивания, Вт

$$N_{\text{вк}} := KN_i \cdot \rho \cdot n^3 \cdot dM^5 \quad N = \begin{pmatrix} 26.328 \\ 26.328 \end{pmatrix}$$

глубина центральной воронки, м

$$h_{в} := (-17.2 + \exp(-0.2 \cdot \psi_1 + 3.33)) \cdot n^2 \cdot \frac{dM^2}{2 \cdot 9.807} \quad h_{в} = \begin{pmatrix} 0.521 \\ 0.521 \end{pmatrix}$$

Минимальная высота расположения верхней мешалки над днищем, м

$$h_M := dM \cdot (z_M - 0.6) \quad h_M = 0.16$$

Условие перекрытия мешалки перемешиваемой средой выполняется

#### 4. Расчет параметров качества перемешивания

Параметр поля скоростей

$$m_i := 1 + \psi_1 + \psi_2(\psi_1) \quad m = \begin{pmatrix} 0.477 \\ 0.477 \end{pmatrix}$$

Относительный радиус границы зон перемешивания

$$w(r, x) := 4x \cdot r^3 + 3\psi_2(x) r^2 + 1$$

$$r := 1 \quad m_i := \text{root}[w(r, \psi_1), r] \quad m = \begin{pmatrix} 0.803 \\ 0.803 \end{pmatrix}$$

Радиус границы зон перемешивания  $0.5m \cdot d_M = \begin{pmatrix} 0.161 \\ 0.161 \end{pmatrix}$

Коэффициент турбулентного переноса в осевом направлении

$$k\tau := 1.6\psi_1 \cdot (m^5 - 1) + 1.5\psi_2(\psi_1) \cdot (m^4 - 1) + (m^2 - 1)$$

$$D\tau_2 := 0.318n \cdot d_M^2 \frac{(GD - m_i)^2 \cdot (k\tau_i + 2 \ln(GD) \cdot m_i)}{GD^2 - (m_i)^2} \quad D\tau_2 = \begin{pmatrix} 0.01 \\ 0.01 \end{pmatrix}$$

Циркуляционный расход перемешиваемой среды

$$q_i := k_i \cdot n \cdot d_M^3 \cdot \exp(6.9 m_i) \quad q = \begin{pmatrix} 5.579 \times 10^{-3} \\ 0.142 \end{pmatrix}$$

Скорость восходящего потока жидкости

$$w_2^2 := \frac{q_i}{0.785 [D^2 - d_M^2 \cdot (m_i)^2]} \quad w_2 = \begin{pmatrix} 0.093 \\ 2.356 \end{pmatrix}$$

Модифицированный критерий Пекле

$$Pe_{m_i} := w_2^2 \cdot \frac{H}{D\tau_2} \quad Pe_m = \begin{pmatrix} 5.069 \\ 128.663 \end{pmatrix}$$

#### 5. Исходные данные для расчета вала привода мешалки

Тип вала	Жесткий консольный постоянного сечения
Длина вала	$L_2 := 2.18$
Длина консоли вала	$L_1 := 0.8$
Длина пролета вала	$L_{\text{прол}} := 1.38$
масса мешалки	$m := \begin{pmatrix} 2.2 \\ 3.3 \end{pmatrix}$
Координата центра масс мешалки на консоли вала	$h := 0.8$
Координата опасного по жесткости сечения на консоли	$z_1 := 0.1$
Координата опасного по прочности сечения в пролете	$z := 0.5$

Высота радиальных зазоров в опорах вала	$\Delta A := 0.00002$
	$\Delta B := 0.000022$
Начальная изогнутость вала в точке приведения	$\epsilon_B := 0.0002$
Тип уплотнения вала	торцевое
Допускаемое смещение вала в опасном по жесткости сечении	$Az1_{\text{доп}} := 0.00025$
Коэффициент режима нагрузки (умеренные толчки)	$\beta := 1.5$
Материал вала	сталь 12Х18Н10Т
Плотность материала вала	$\rho_B := 7800$
Модуль продольной упругости материала	$E := 2.12 \cdot 10^{11}$
Предел выносливости материала	$\sigma_{-1} := 2.75 \cdot 10^8$
Допускаемый запас прочности для материала	$n_{\text{доп}} := 2.4$
Отношение коэффициентов $K\sigma/Kd$	$K\sigma/Kd := 0.4$
Фазовое состояние перемешиваемой среды	жидкость – жидкость

## 6. Выбор диаметра вала

Относительная длина консоли	$L_1 := \frac{L1}{L2}$	$L1 = 0.8$
Относительная координата центра массы мешалки	$l_1 := \frac{h}{L1}$	$l_1 = 1$
Угловая скорость вала	$\omega := 2\pi n$	$\omega = 15.708$
Безразмерный динамический прогиб вала в центре массы мешалки		
	$Y_{11} := (1 - L_1) \cdot l_1 - \frac{1 \cdot L_1 \cdot l_1^3}{2} + \frac{3L_1 \cdot l_1^2}{2}$	$Y_{11} = 1$
Приведенная масса мешалки	$m_{mp1} := m_i \cdot Y_{11}^2$	$m_{mp1} = \begin{pmatrix} 2.2 \\ 3.3 \end{pmatrix}$
Приведенная безразмерная масса вала		
	$m_{в\_пр} := \frac{[8(1 - L_1)^5 + 140(1 - L_1)^2 \cdot L_1^3 + 231(1 - L_1)L_1^4 + 99L_1^5]}{420L_1^2}$	
	$m_{в\_пр} = 0.122$	
Комплексы A1 и A2		
	$A1 := m_{в\_пр} \cdot 16 \frac{\rho_B \cdot \omega^2 \cdot L1^3 \cdot L2}{3E}$	$A2_1 := \frac{(128 m_{mp1} \cdot \omega^2 \cdot L1^2 \cdot L2)}{3 \cdot E \cdot \pi}$
	$A1 := 1.95 \cdot 10^{-3}$	$A2 = \begin{pmatrix} 4.852 \times 10^{-8} \\ 7.278 \times 10^{-8} \end{pmatrix}$
Расчетный диаметр вала, м	$d_p := \sqrt{A1 + \sqrt{A1^2 + A2}}$	$d_p = \begin{pmatrix} 0.063 \\ 0.063 \end{pmatrix}$

Принятый диаметр вала, м  $d := \begin{pmatrix} 0.06 \\ 0.054 \end{pmatrix}$

7. Проверка выполнения виброустойчивости вала:

Линейная масса вала, кг  $m_b := \pi \cdot d^2 \cdot \frac{\rho_B}{4}$   $m_b = \begin{pmatrix} 22.054 \\ 17.864 \end{pmatrix}$

Относительная суммарная масса мешлок

$$m_{пр1} := \frac{m_{пр1i}}{m_b \cdot L_2} \quad m_{пр} = \begin{pmatrix} 0.046 \\ 0.085 \end{pmatrix}$$

Безразмерная критическая угловая скорость вала

$$\lambda_{\omega} := L_1$$

$$\omega_{-1} := \sqrt{1 \frac{1260}{8(1-1)^5 + 140(1-1)^2 \cdot 1^3 + 231 \cdot (1-1) \cdot 1^4 + 99 \cdot 1^5 + 420 \cdot 1^2 \cdot m_{пр}}}$$

Первая критическая угловая скорость вала  $\omega_{-1} = \begin{pmatrix} 22.232 \\ 16.302 \end{pmatrix}$

$$\omega_1 := 1 \frac{\omega_{-1} \cdot d_i \cdot \sqrt{\frac{E}{\rho_B}}}{4L_2^2} \quad \omega_1 = \begin{pmatrix} 366.831 \\ 242.424 \end{pmatrix}$$

Условие виброустойчивости

$$\frac{\omega}{\omega_1} = \begin{pmatrix} 0.043 \\ 0.065 \end{pmatrix} \ll 0.7 \quad \text{выполняется}$$

8. Проверка выполнения условия жесткости вала

Эксцентриситет массы мешалки  $e_{\omega} := \frac{0.001}{\sqrt{\omega}}$   $e = 2.523 \times 10^{-4}$

Относительная координата опасного по жесткости сечения

$$z_1 := \frac{z_1}{L_1} \quad z_1 = 0.125$$

Безразмерный динамический прогиб вала в опасном по жесткости сечении

$$Y_{z1} := (1 - L_1) \cdot z_1 - L_1 \cdot \frac{z_1^3}{2} + \frac{3 \cdot L_1 \cdot z_1^2}{2} \quad Y_{z1} = 0.087$$

Приведенный эксцентриситет массы мешалки

$$e_{пр1} := \frac{e}{Y_{z1}} \quad e_{пр1} = 2.523 \times 10^{-4}$$

Приведенная масса  $m_{впр} := m_b \cdot m_{пр} \cdot L_2$   $m_{впр} = \begin{pmatrix} 5.862 \\ 4.748 \end{pmatrix}$

Смещение оси вала от оси вращения за счет зазора в опорах в опасном по жесткости сечении, м

$$\Delta z_1 := -\Delta A + (\Delta A + \Delta B) \cdot \frac{(z_1 + L)}{L} \quad \Delta z_1 = 2.504 \times 10^{-5}$$

Смещение оси вала от оси вращения за счет начальной изогнутости

в опасном по жесткости сечении  $\varepsilon_{z1} := \varepsilon_B \cdot Y_{z1} \quad \varepsilon_{z1} = 1.747 \times 10^{-5}$

Смещение оси вала  $t$  оси вращения в точке приведения за счет зазоров в опорах, м

$$\Delta B := \Delta B + (\Delta A + \Delta B) \cdot \frac{L1}{L} \quad \Delta B = 4.635 \times 10^{-5}$$

Комплекс  $B_2$ , м  $B_{2i} := m_{np1i} \cdot \frac{e_{np1}}{m_{np1i} + m_{вп1i}} \quad B_2 = \begin{pmatrix} 6.885 \times 10^{-5} \\ 1.035 \times 10^{-4} \end{pmatrix}$

Динамический прогиб оси вала в точке приведения, м

$$Y_{B_i} := \frac{(B_{2i} + \Delta B + \varepsilon_B)}{\left(\frac{\omega_{1i}}{\omega}\right)^2 - 1} \quad Y_B = \begin{pmatrix} 5.79 \times 10^{-7} \\ 1.475 \times 10^{-6} \end{pmatrix}$$

Смещение оси вала от оси вращения за счет динамического прогиба

в опасном по жесткости сечении, м

$$Y_{z1} := Y_B \cdot Y_{z1} \quad Y_{z1} = \begin{pmatrix} 5.059 \times 10^{-8} \\ 1.289 \times 10^{-7} \end{pmatrix}$$

Динамическое смещение вала в опасном по жесткости сечении, м

$$A_{z1} := Y_{z1} + \Delta z1 + \varepsilon_{z1} \quad A_{z1} = \begin{pmatrix} 4.257 \times 10^{-5} \\ 4.265 \times 10^{-5} \end{pmatrix}$$

Коэффициент увеличения мощности перемешивания

$$K_{4i} := \left(1.1886 \cdot \frac{k\tau}{D^2}\right)^{0.387} \cdot \left(-1 + 0.67 \cdot \frac{\xi_i}{KN}\right) \quad K_4 = \begin{pmatrix} 12.508 \\ 12.508 \end{pmatrix}$$

Относительное смещение центра эпюры окружной скорости перемешиваемой среды от оси мешалки

$$s_{o_i} := \left[-0.14 + 0.27 \cdot K_{4i} - 0.02 \cdot (K_{4i})^2\right] \cdot \exp\left[0.85 \cdot (K_{4i})^{-0.3} \cdot \psi_{1i}\right] \quad s_o = \begin{pmatrix} 0.112 \\ 0.112 \end{pmatrix}$$

Безразмерная поперечная гидродинамическая сила, действующая на одну мешалку, Н

$$Q_{o_i} := 0.73 \cdot (s_{o_i})^{1.77} - 0.243 \cdot s_{o_i} \cdot \psi_{1i} \quad Q_o = \begin{pmatrix} 0.013 \\ 0.013 \end{pmatrix}$$

Поперечная гидродинамическая сила, действующая на одну мешалку, Н

$$Q_{M_i} := 0.015 \cdot Q_{o_i} \cdot \xi_i \cdot \rho \cdot \omega^2 \cdot d_{M_i}^4 \quad Q_M = \begin{pmatrix} 1.43 \\ 1.43 \end{pmatrix}$$

Суммарная приведенная гидродинамическая сила, Н

$$Q_{np_i} := Q_{M_i} \cdot Y_{11} \quad Q_{np} = \begin{pmatrix} 1.43 \\ 1.43 \end{pmatrix}$$

Момент инерции поперечного сечения вала

$$I := \pi \cdot \frac{d^4}{64} \quad I = \begin{pmatrix} 6.362 \times 10^{-7} \\ 4.174 \times 10^{-7} \end{pmatrix}$$

Динамический прогиб вала в точке приведения от суммарной гидродинамической силы, м

$$Y_{BQ_i} := Q_{пр_i} \cdot L_2 \cdot \frac{L_1^2}{3E \cdot I_1} \quad Y_{BQ} = \begin{pmatrix} 4.932 \times 10^{-6} \\ 7.518 \times 10^{-6} \end{pmatrix}$$

Динамическое смещение вала в опасном по жесткости сечении, м

$$A_{Qz1} := Az1 + Y_{BQ} \cdot Y_{z1} \quad A_{Qz1} = \begin{pmatrix} 4.3 \times 10^{-5} \\ 4.33 \times 10^{-5} \end{pmatrix}$$

$$Az1_{доп} = 2.5 \times 10^{-4}$$

Условие жесткости  $A_{Qz1} < Az1_{доп}$  выполняется

9. Проверка выполнения условия прочности вала

Смещение оси вала от оси вращения за счет зазоров в опорах, м

$$\Delta_{11} := -\Delta A + (\Delta A + \Delta B) \cdot \frac{(h + L)}{L} \quad \Delta_{11} = 4.635 \times 10^{-5}$$

Смещение оси вала от оси вращения за счет начальной изогнутости, м

---


$$\epsilon_{11} := \epsilon_B \cdot Y_{11} \quad \epsilon_{11} = 2 \times 10^{-4}$$

Смещение оси вала от оси вращения за счет динамического прогиба, м

$$Y_{11} := Y_B \cdot Y_{11} \quad Y_{11} = \begin{pmatrix} 5.79 \times 10^{-7} \\ 1.475 \times 10^{-6} \end{pmatrix}$$

Динамическое смещение центра массы мешалок, м

$$A_{11_i} := Y_{11_i} + \Delta_{11} + \Delta_{11} + \epsilon_{пр1} \quad A_{11} = \begin{pmatrix} 3.456 \times 10^{-4} \\ 3.465 \times 10^{-4} \end{pmatrix}$$

Динамическое смещение вала в точке приведения, м

$$A_B := Y_B + \Delta B + \epsilon_B \quad A_B = \begin{pmatrix} 2.469 \times 10^{-4} \\ 2.478 \times 10^{-4} \end{pmatrix}$$

Сосредоточенная центробежная сила, действующая на мешалки, Н

$$F_{1_i} := \beta \cdot m_{1_i} \cdot \omega^2 \cdot (A_{11_i}) \quad F_1 = \begin{pmatrix} 0.281 \\ 0.423 \end{pmatrix}$$

Приведенная центробежная сила, действующая на вал в точке приведения, Н

$$F_{впр_1} := \beta \cdot m_{впр_1} \cdot \omega^2 \cdot A_{B_1} \quad F_{впр} = \begin{pmatrix} 0.536 \\ 0.436 \end{pmatrix}$$

$$\text{Комплекс } B_6, \text{ Н}^* \text{м} \quad B_6 := F_1 \cdot h + Q_{M_1} \cdot h \quad B_6 = \begin{pmatrix} 1.369 \\ 1.483 \end{pmatrix}$$

$$\text{Реакция опоры A, Н} \quad RAQ := \frac{1}{L} \cdot (B_6 + F_{впр} \cdot L1) \quad RAQ = \begin{pmatrix} 1.303 \\ 1.327 \end{pmatrix}$$

Изгибающий момент в опасном по прочности сечении, Н\*м

$$M_{из} := RAQ \cdot z \quad M_{из} = \begin{pmatrix} 0.651 \\ 0.663 \end{pmatrix}$$

Крутящий момент в опасном по прочности сечении, Н\*м

$$M_{к} := \frac{N}{\omega} \quad M_{к} = \begin{pmatrix} 1.676 \\ 1.676 \end{pmatrix}$$

Момент сопротивления в опасном по прочности сечении

$$W_w := \frac{\pi}{32} \cdot d^3 \quad w = \begin{pmatrix} 2.121 \times 10^{-5} \\ 1.546 \times 10^{-5} \end{pmatrix}$$

Эквивалентное напряжение в опасном по прочности сечении, Па

$$\sigma_{экв_1} := \frac{\sqrt{(M_{из_1})^2 + (M_{к_1})^2}}{w_1} \quad \sigma_{экв} = \begin{pmatrix} 8.48 \times 10^4 \\ 1.166 \times 10^5 \end{pmatrix}$$

Запас прочности для сечений, подверженных коррозионной усталости

$$n := \frac{\sigma_{-1}}{(K_{\sigma} K_d + 2.333) \cdot (\sigma_{экв})} \quad n = \begin{pmatrix} 1.187 \times 10^3 \\ 862.904 \end{pmatrix}$$

$$n_{доп} = 2.4$$

Условие прочности  $n > n_{доп}$  выполняется

#### 10. Исходные данные для теплового расчета аппарата

Толщина стенки аппарата	$\delta_{ст} := 0.02$
Теплопроводность материала стенки аппарата	$\lambda_{ст} := 17.5$
Высота рубашки	$H_r := 1.28$
Площадь поверхности теплообмена	$F_w := 2.3$
Начальная температура среды	$t_1 := 25$
Конечная температура среды	$t_2 := 65$

Коэффициент теплоотдачи от перемешиваемой среды

$$Pr_i := \frac{Re_{м_1}}{Re_{ц}} \quad Pr = \begin{pmatrix} 5.221 \times 10^{-4} \\ 0.013 \end{pmatrix}$$

$$V_w := 0.19$$

$$\alpha_1 := 0.267 \cdot 2577.7 \cdot \left( \frac{\rho}{Pr_i} \right)^{0.75} \cdot \left( N \cdot \nu \cdot \frac{\rho}{V} \right)^{0.25}$$

$$\alpha_1 = 5.275 \times 10^7$$

$$\alpha_2 = 4.581 \times 10^6$$

Необходимый тепловой поток, Вт

$$\Phi_{\text{н}} := V \cdot \rho \cdot \frac{c_1}{600} \cdot (-t_1 + t_2) \quad \Phi = 3.044 \times 10^3$$

11. Расчет теплоотдачи от теплоносителя к рубашке

$$\begin{aligned} \text{Средняя температура теплоносителя} \quad t_{\text{rc}} &:= \frac{t_1 + t_2}{2} & t_{\text{rc}} &= 45 \\ \rho_{\text{т}} &:= 998 & c_{\text{т}} &:= 4.178 \end{aligned}$$

$$\text{Объемный расход теплоносителя} \quad V_{\text{ср}} := \frac{\Phi}{998 \cdot t_{\text{rc}} \cdot c_{\text{т}} \cdot (t_2 - t_1)} \quad V_{\text{ср}} = 9.013 \times 10^{-6}$$

$$t_{\text{ср}} := 30$$

$$\text{GrPr}(t_{\text{ср}}) := \left( \text{Hr}^3 \cdot \frac{|42.5 - 30|}{2} \cdot \frac{9.8 \cdot 4.58 \cdot 4.178 \cdot 998}{0.000653 \cdot 0.64} \right) \quad \text{GrPr}(t_{\text{ср}}) = 5.87 \times 10^9$$

Коэффициент теплоотдачи от теплоносителя

$$\alpha_{\text{т}} := 0.135 \cdot \frac{0.64}{\text{Hr}} \cdot \text{GrPr}(t_{\text{ср}})^{0.33}$$

$$\alpha_{\text{т}} = 112.965$$

Определение температуры стенки аппарата

$$t := 65$$

$$\text{Given} \quad 2.1 \cdot (t - x) = 113 \cdot (x - 20) \quad t_{\text{с}} := \text{Find}(x) \quad t_{\text{с}} = 20.821$$

Given

$$2.1 \cdot (t - x) = 113 \cdot (x - 20) \quad t_{\text{с}2} := \text{Find}(x) \quad t_{\text{с}2} = 20.821$$

Коэффициент теплоотдачи, Вт/м.кв/К

$$K_1 := \left( \frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_{\text{ср}}}{\lambda_{\text{ср}}} + \frac{1}{113} \right)^{-1} \quad K_1 = 100.076$$

$$K_2 := \left( \frac{1}{\alpha_2} + \frac{\delta_{\text{ср}}}{\lambda_{\text{ср}}} + \frac{1}{113} \right)^{-1} \quad K_2 = 100.074$$

Разность температур между перемешиваемой средой и теплоносителем

$$\Delta t := t - 42.5 \quad \Delta t = 22.5$$

Расчетный тепловой поток, Вт

$$\Phi_{\text{р}1} := K_1 \cdot F \cdot \Delta t \quad \Phi_{\text{р}1} = 5.179 \times 10^3$$

$$\Phi_{\text{р}2} := K_2 \cdot F \cdot \Delta t \quad \Phi_{\text{р}2} = 5.179 \times 10^3$$

$$\Phi = 3.044 \times 10^3$$

Условие пригодности рубашки выполняется

## Сравнение эффективности ламинарного перемешивания эмульсии мешалками разных типов

### 1. Характеристики аппарата и перемешиваемой среды

Диаметр аппарата  $D := 0.424$

Высота заполнения аппарата  $H := 0.557$

Плотность  $\rho := 911$

Динамическая вязкость  $\mu := 0.115$

### 2. Конструкция перемешивающего устройства

Частота вращения мешалок  $n := 0.25$

Высота мешалок  $H_m := 0.5$

Тип мешалок  
 0 – рамная  
 1 – ленточная  
 2 – шнековая

Диаметры мешалок  $d_{m_0} := 0.4$

$d_{m_1} := 0.4$

$d_{m_2} := 0.4$

Число горизонтальных траверс мешалки  $nr_0 := 2$

$nr_1 := 3$

Расстояние между траверсами  $lr_0 := 0.25$

$lr_1 := 0.16$

Коэффициент расхода рамной мешалки  $k_{2_0} := 0.0033$

Число лопастей ленточной мешалки  $nl_1 := 2$

Диаметр вала ленточной мешалки  $db_1 := 0.05$

Диаметр вала шнековой мешалки  $db_2 := 0.07$

Шаг винтовой линии лопасти шнековой мешалки  $tl_2 := 0.12$

Расстояние от подшипника в стойке до лопасти шнековой мешалки 0.5

### 3. Расчет характеристик перемешиваемой среды

Объем перемешиваемой среды  $V := 0.25 \cdot \pi \cdot D^2 \cdot H$   $V = 0.079$

Кинематическая вязкость  $\nu := \frac{\mu}{\rho}$   $\nu = 1.262 \times 10^{-4}$

## 4.1 Мешалка рамная

Ширина лопасти мешалки  $b_{л0} := 0.07 \cdot d_{M0}$   $b_{л0} = 0.028$

Относительная ширина зазора между мешалкой и стенками аппарата  $h_{зо0} := \frac{(D - d_{M0})}{2 \cdot b_{л0}}$   $h_{зо0} = 0.429$

Относительная ширина лопасти мешалки  $b_{ло0} := \frac{b_{л0}}{d_{M0}}$   $b_{ло0} = 0.07$

Коэффициент сопротивления лопастей мешалки

$$\lambda_{л0} := -21.591 \cdot \ln(1.055 \cdot h_{зо0}) + 23.426 \cdot h_{зо0} \quad \lambda_{л0} = 27.178$$

Число Рейнольдса  $Re_{ц0} := n \cdot \frac{(d_{M0})^2}{\nu}$   $Re_{ц0} = 316.87$  режим переходный

$$Re_{ц0} := \text{if}(Re_{ц0} \leq 80, Re_{ц0}, 80) \quad Re_{ц0} = 80$$

Параметр M

$$M_0 := \lambda_{л0} \cdot \frac{H_M}{d_{M0}} \cdot (1 - b_{ло0})^2 + 3.5 \cdot n \cdot (1 - 2 \cdot b_{ло0})^3 \quad M_0 = 33.835$$

Коэффициент мощности  $KN_0 := \pi^2 \cdot \frac{M_0}{2 \cdot Re_{ц0}}$   $KN_0 = 2.087$

Мощность необходимая для осуществления перемешивания, Вт

$$N_0 := KN_0 \cdot \rho \cdot n^3 \cdot (d_{M0})^5 \quad N_0 = 0.304$$

## 4.2 Мешалка ленточная

Ширина лопасти мешалки, м  $b_{л1} := 0.05 \cdot d_{M1}$   $b_{л1} = 0.02$

Относительная ширина зазора между мешалкой и стенками аппарата  $h_{зо1} := \frac{D - d_{M1}}{2 \cdot b_{л1}}$   $h_{зо1} = 0.6$

Относительная ширина лопасти мешалки  $b_{ло1} := \frac{b_{л1}}{d_{M1}}$   $b_{ло1} = 0.05$

Коэффициент сопротивления лопастей мешалки

$$\lambda_{л1} := -21.591 \cdot \ln(1.055 \cdot h_{so1}) + 23.426 \cdot h_{so1} \quad \lambda_{л1} = 23.929$$

Число Рейнольдса  $Re_{ц1} := \frac{n \cdot (d_{M1})^2}{\nu} \quad Re_{ц1} = 316.87 \quad \text{режим переходный}$

$$Re_{ц1} := \text{if}(Re_{ц1} \leq 80, Re_{ц1}, 80) \quad Re_{ц1} = 80$$

Параметр М

$$M_1 := n_{л1} \cdot \lambda_{л1} \cdot \frac{H_M}{d_{M1}} \cdot (1 - b_{ло1})^2 + 3.5 \cdot n_{л1} \cdot (1 - 2 \cdot b_{ло1})^3 \quad M_1 = 61.644$$

Коэффициент мощности

$$KN_1 := \pi^2 \cdot \frac{M_1}{2 \cdot Re_{ц1}} \quad KN_1 = 3.803$$

Мощность необходимая для осуществления перемешивания

$$N_1 := KN_1 \cdot \rho \cdot n^3 \cdot (d_{M1})^5 \quad N_1 = 0.554$$

#### 4.3 Мешалка - шнековая

Относительная ширина зазора между мешалкой и стенками аппарата  $h_{so2} := \frac{D - d_{M2}}{d_{M2}} \quad h_{so2} = 0.06$

Коэффициент сопротивления лопасти мешалки

$$\lambda_{л2} := \begin{cases} 157.685 \cdot e^{-4.27 \cdot h_{so2}} + 46.728 \cdot h_{so2} & \text{if } h_{so2} \leq 0.6 \\ 40 & \text{otherwise} \end{cases} \quad \lambda_{л2} = 124.85$$

Число Рейнольдса  $Re_{ц}$

$$Re_{ц2} := \frac{n \cdot (d_{M2})^2}{\nu} \quad Re_{ц2} = 316.87 \quad \text{Режим переходный}$$

$$Re_{ц2} := \text{if}(Re_{ц2} \leq 30, Re_{ц2}, 30) \quad Re_{ц2} = 30$$

---

Параметр М  $M_2 := \frac{1}{3} \cdot \lambda_{л2} \cdot \frac{H_M}{d_{M2}} \cdot \left[ 1 - \left( \frac{d_{B2}}{d_{M2}} \right)^3 \right] \quad M_2 = 51.742$

Коэффициент мощности  $KN_2 := \pi^2 \cdot \frac{M_2}{2 \cdot Re_{\text{eff}_2}}$   $KN_2 = 8.511$

Мощность необходимая для осуществления перемешивания

$$N_2 := KN_2 \cdot \rho \cdot n^3 \cdot (d_{M_2})^5 \quad N_2 = 1.241$$

### 5. Расчет времени гомогенизации перемешиваемой среды

#### 5.1 Мешалка рамная

Циркуляционный расход среды, м куб/с.  $q_0 := k_{20} \cdot n \cdot (d_{M_0})^3$   $q_0 = 5.28 \times 10^{-5}$   
 $\eta := 0.9$

Время гомогенизации, с  
 $\tau_{\eta_0} := (0.315 + 8.921 \cdot \eta^2 + 14.569 \cdot \eta^3) \cdot \frac{V}{q_0}$   $\tau_{\eta_0} = 2.705 \times 10^4$

#### 5.2 Мешалка ленточная

Относительный радиус вала мешалки  $r_{\text{во}_1} := \frac{d_{\text{в}_1}}{D}$   $r_{\text{во}_1} = 0.118$

Относительный радиус границы раздела зон

$$r_{\text{цо}_1} := 0.57 + 0.36 \cdot r_{\text{во}_1} \quad r_{\text{цо}_1} = 0.612$$

Параметр центральной зоны циркуляции  $X_{1_1} := \frac{r_{\text{во}_1}}{r_{\text{цо}_1}}$   $X_{1_1} = 0.193$

Параметры циркуляционного расхода среды в центральной зоне

$$\Theta_{1_1} := 0.627 - 1.17 \cdot X_{1_1} + 9.8 \cdot (X_{1_1})^2 - 27.2 \cdot (X_{1_1})^4 - 15.67 \cdot (X_{1_1})^5$$

$$\Omega_{1_1} := 0.5 \cdot r_{\text{цо}_1} \cdot (r_{\text{цо}_1} - r_{\text{во}_1})^2 \cdot \Theta_{1_1} \quad \Theta_{1_1} = 0.724 \quad \Omega_{1_1} = 0.054$$

Параметры циркуляционного расхода среды в периферийной зоне

$$\Theta_{2_1} := 0.627 - 1.17 \cdot r_{\text{цо}_1} + 9.8 \cdot (r_{\text{цо}_1})^2 - 27.2 \cdot (r_{\text{цо}_1})^4 - 15.67 \cdot (r_{\text{цо}_1})^5 + 34.16 \cdot (r_{\text{цо}_1})^4$$

$$\Omega_{2_1} := 0.5 \cdot (1 - r_{\text{цо}_1})^2 \cdot \Theta_{2_1} \quad \Theta_{2_1} = 3.215 \quad \Omega_{2_1} = 0.241$$

Объемный циркуляционный расход среды, м.куб/с

$$q_1 := \frac{1}{16} \cdot \lambda_{\text{л}_1} \cdot D^2 \cdot \left[ \frac{\pi \cdot l_1 \cdot 2 \cdot \ln 1 \cdot H_{\text{м}}}{H \cdot [1 - (r_{\text{цо}_1})^2] \cdot (\Omega_{1_1} + \Omega_{2_1})} \cdot \Omega_{1_1} \cdot \Omega_{2_1} \cdot n \right] \quad q_1 = 2.735 \times 10^{-3}$$

Время гомогенизации, с

$$\tau_{\eta_1} := (0.315 + 8.921 \cdot \eta - 18.077 \cdot \eta^2 + 14.569 \cdot \eta^3) \cdot \frac{V}{q_1} \quad \tau_{\eta_1} = 124.306$$

#### 5.3 Мешалка шнековая

Относительный радиус границы раздела зон  $r_{\text{во}_2} := \frac{d_{\text{в}_2}}{D}$   $r_{\text{во}_2} = 0.165$

Относительный радиус вала мешалки

$$\begin{aligned} \text{цс}2 &:= 0.57 + 0.36 \cdot \text{гво}_2 & \text{цс}2 &= 0.629 \\ \text{Параметр центральной зоны циркуляции } X1_2 &:= \frac{\text{гво}_2}{\text{цс}2} & X1_2 &= 0.262 \end{aligned}$$

Параметры циркуляционного расхода среды в центральной зоне

$$\begin{aligned} \Theta1_2 &:= 0.627 - 1.17 \cdot X1_2 + 9.8 \cdot (X1_2)^3 + 34.16 \cdot (X1_2)^4 - 15.67 \cdot (X1_2)^5 \\ \Omega1_2 &:= 0.5 \cdot \text{цс}2 \cdot (\text{цс}2 - \text{гво}_2)^2 \cdot \Theta1_2 & \Theta1_2 &= 0.639 & \Omega1_2 &= 0.043 \end{aligned}$$

Параметры циркуляционного расхода среды в периферийной зоне

$$\begin{aligned} \Theta2_2 &:= 0.627 - 1.17 \cdot \text{цс}2 + 9.8 \cdot (\text{цс}2)^2 - 27.2 \cdot \text{цс}2^3 + 34.16 \cdot \text{цс}2^4 - 15.67 \cdot \text{цс}2^5 \\ \Omega2_2 &:= 0.5 \cdot (1 - \text{цс}2)^2 \cdot \Theta2_2 & \Theta2_2 &= 0.804 & \Omega2_2 &= 0.055 \end{aligned}$$

Объемный циркуляционный расход среды, м.куб/с

$$q_2 := \frac{1}{16} \cdot \lambda_{л_2} \cdot D^2 \cdot \frac{\left(1 - \frac{d_{в_2}}{d_{м_2}}\right) \cdot \tau_{п_2} \cdot H_{м}}{H \cdot [\text{цс}2^2 - (\text{гво}_2)^2] \cdot (\Omega1_2 + \Omega2_2)} \cdot \Omega1_2 \cdot \Omega2_2 \cdot n \quad q_2 = 2.052 \times 10^{-3}$$

Время гомогенизации, с

$$\tau_{п_2} := \left(0.315 + 8.921 \cdot \eta - 18.077 \cdot \eta^2 + 14.569 \cdot \eta^3\right) \cdot \frac{V}{q_2} \quad \tau_{п_2} = 165.674$$

#### 6. Исходные данные для расчета привода мешалки

Тип вала	Жесткий однопролетный, постоянного сечения	
Длина вала	$L_{\text{в}} := 2.18$	
число мешалок на валу	$n_{\text{м}} := 1$	
Координата центра масс мешалки	$l_{\text{с}} := 0.8$	
Координаты опасных сечений по жесткости и прочности, м	$z := \begin{pmatrix} 0.25 \\ 0.8 \end{pmatrix}$	
Материал вала	сталь 12Х18Н10Т	
плотность материала	$\rho_{\text{в}} := 7800$	
модуль продольной упругости, Па	$E := 2.12 \cdot 10^{11}$	
допускаемое напряжение, Па	$\sigma_{\text{доп}} := 2.91 \cdot 10^8$	
предел выносливости при симметричном цикле, Па	$\sigma_{-1} := 2.75 \cdot 10^8$	
допускаемый запас прочности	$n_{\text{доп}} := 2.4$	
Радиальные зазоры в опорах, м	$\Delta A := 1.5 \cdot 10^{-5}$	
	$\Delta B := 1.5 \cdot 10^{-5}$	
Начальная изогнутость вала в точке приведения, м	$\epsilon_{\text{в}} := 0.0002$	
Режим нагрузки (умеренные толчки)	$\beta := 1.5$	

Отношение коэффициентов

$$K\sigma Kd := 0.4$$

масса мешалок

$$m := \begin{pmatrix} 3.3 \\ 2.0 \\ 2.3 \end{pmatrix}$$

перемешиваемая среда

жидкость – жидкость

Допускаемое смещение валов зоне уплотнения, м

$$Az\_доп := 0.0001$$

7. Выбор диаметров валов

$$i := 0..2$$

Относительная координата центра масс мешалок

$$l\_ := \frac{1}{L} \quad l\_ = 0.459$$

Угловая скорость валов, рад/с

$$\omega := 2 \cdot \pi \cdot n \quad \omega = 1.571$$

Безразмерный динамический прогиб валов в центре масс мешалок

$$Y\_1 := \text{if}[l\_ \leq 0.5, 3 \cdot l\_ - 4 \cdot l\_^3, 3 \cdot (1 - l\_ ) - 4 \cdot (1 - l\_ )^3] \quad Y\_1 = 0.99$$

Приведенные массы мешалок, кг

$$m_{пр} := m_i \cdot Y\_1^2 \quad m_{пр} = \begin{pmatrix} 3.235 \\ 1.96 \\ 2.254 \end{pmatrix}$$

Комплексы A1, A2

$$A1 := \frac{\rho_B \cdot \omega^2 \cdot L^4}{\kappa_F} \quad A1 = 3.417 \times 10^{-7}$$

$$A2 := \frac{8m_{пр} \cdot \omega^2 \cdot L^3}{\pi \cdot 3 \cdot E} \quad A2 = \begin{pmatrix} 3.311 \times 10^{-10} \\ 2.007 \times 10^{-10} \\ 2.307 \times 10^{-10} \end{pmatrix}$$

Расчетные диаметры валов, м

$$d_p := \sqrt{A1 + \sqrt{A1^2 + A2}} \quad d_p = \begin{pmatrix} 4.306 \times 10^{-3} \\ 3.809 \times 10^{-3} \\ 3.942 \times 10^{-3} \end{pmatrix}$$

Принятые диаметры валов, м

$$d := \begin{pmatrix} 0.062 \\ 0.050 \\ 0.03 \end{pmatrix}$$

8. Проверка выполнения условия виброустойчивости валов:

Линейные массы валов, кг

$$m_B := \frac{\pi}{4} \cdot d^2 \cdot \rho_B \quad m_B = \begin{pmatrix} 23.549 \\ 15.315 \\ 5.513 \end{pmatrix}$$

Относительные суммарные массы мешалок

$$m\_пр := \frac{m_{пр}}{m_B \cdot L} \quad m\_пр = \begin{pmatrix} 0.063 \\ 0.059 \\ 0.188 \end{pmatrix}$$

Безразмерные критические угловые скорости валов

$$\omega\_1 := \frac{9.807}{\sqrt{1 + 2m\_пр}} \quad \omega\_1 = \begin{pmatrix} 9.242 \\ 9.277 \\ 8.363 \end{pmatrix}$$

Первые критические угловые скорости валов, рад/с

$$\omega_{1i} := \frac{\omega_{1i} \cdot d_i}{4L^2} \cdot \sqrt{\frac{E}{\rho V}} \quad \omega_1 = \begin{pmatrix} 157.146 \\ 127.216 \\ 68.807 \end{pmatrix}$$

Условие виброустойчивости  $\frac{\omega}{\omega_1} = \begin{pmatrix} 9.996 \times 10^{-3} \\ 0.012 \\ 0.023 \end{pmatrix} \ll 0.7$  выполняется

9. Проверка выполнения условия жесткости валов

Эксцентриситет масс мешалок, м  $e := \frac{0.001}{\sqrt{\omega}} \quad e = 7.979 \times 10^{-4}$

Относительная координата опасного по жесткости сечения

$$z_0 := \frac{z_0}{L} \quad z_0 = 0.115$$

Безразмерный динамический прогиб валов в опасном по жесткости сечении

$$Y_{z_0} := \text{if}[z_0 \leq 0.5, 3 \cdot z_0 - 4 \cdot z_0^3, 3 \cdot (1 - z_0) - 4 \cdot (1 - z_0)^3] \quad Y_{z_0} = 0.338$$

Приведенный эксцентриситет масс мешалок, м

$$e_{пр} := \frac{e}{Y_{z_0}} \quad e_{пр} = 8.059 \times 10^{-4}$$

Приведенные массы валов, кг  $m_{впр} := 0.5 \cdot m_B \cdot L \quad m_{впр} = \begin{pmatrix} 25.668 \\ 16.694 \\ 6.01 \end{pmatrix}$

Смещение осей валов от оси вращения за счет зазора в опорах в опасном по жесткости сечении, м

$$\Delta z_0 := \frac{(\Delta B - \Delta A) \cdot z_0}{L} + \Delta A \quad \Delta z_0 = 1.5 \times 10^{-5}$$

Смещение осей валов от оси вращения за счет начальной изогнутости в опасном по жесткости сечении, м

$$\varepsilon z_0 := \varepsilon_B \cdot Y_{z_0} \quad \varepsilon z_0 = 6.76 \times 10^{-5}$$

Смещение осей валов от оси вращения в точке приведения за счет зазоров в опорах, м

$$\Delta B := \frac{\Delta A + \Delta B}{2} \quad \Delta B = 1.5 \times 10^{-5}$$

Комплексы B1, м  $B1 := \frac{e_{пр} \cdot m_{пр}}{m_{пр} + m_{впр}} \quad B1 = \begin{pmatrix} 9.019 \times 10^{-5} \\ 8.469 \times 10^{-5} \\ 2.199 \times 10^{-4} \end{pmatrix}$

приведенные эксцентриситеты масс валов с мешалками

$$e_{_пр} := B1 + \Delta B + \varepsilon_B \quad e_{_пр} = \begin{pmatrix} 3.052 \times 10^{-4} \\ 2.997 \times 10^{-4} \\ 4.349 \times 10^{-4} \end{pmatrix}$$

Динамические пригибы осей валов  
в точке приведения, м

$$Y_B := \frac{e_{\text{пр}}}{\left(\frac{\omega_1}{\omega}\right)^2 - 1} \quad Y_B = \begin{pmatrix} 3.05 \times 10^{-8} \\ 4.57 \times 10^{-8} \\ 2.267 \times 10^{-7} \end{pmatrix}$$

Смещение осей валов от оси вращения за счет динамического прогиба  
в опасном по жесткости сечении, м

$$Y_{z_0} := Y_B \cdot Y_{z_0} \quad Y_{z_0} = \begin{pmatrix} 1.031 \times 10^{-8} \\ 1.545 \times 10^{-8} \\ 7.664 \times 10^{-8} \end{pmatrix}$$

Динамические смещения валов в опасном по жесткости сечении, м

$$A_z := Y_{z_0} + \Delta z_0 + \varepsilon z_0 \quad A_z = \begin{pmatrix} 8.261 \times 10^{-5} \\ 8.262 \times 10^{-5} \\ 8.268 \times 10^{-5} \end{pmatrix}$$

$$A_{z_{\text{доп}}} = 1 \times 10^{-4}$$

Условия жесткости:  $A_{z_{\text{доп}}} > A_z$  выполняются

#### 10. Проверка выполнения условия прочности валов

Смещение осей валов от оси вращения за счет зазоров в опорах, м

$$\Delta l := \frac{(\Delta A + \Delta B) \cdot l}{L} - \Delta A \quad \Delta l = -3.991 \times 10^{-6}$$

Смещение осей валов от оси вращения за счет начальной изогнутости, м

$$\varepsilon l := \varepsilon_B \cdot Y_{z_0} \quad \varepsilon l = 6.76 \times 10^{-5}$$

Смещение осей валов от оси вращения за счет динамического прогиба, м

$$Y_1 := Y_B \cdot Y_{z_0} \quad Y_1 = \begin{pmatrix} 1.031 \times 10^{-8} \\ 1.545 \times 10^{-8} \\ 7.664 \times 10^{-8} \end{pmatrix}$$

Динамические смещения центра масс мешалок, м

$$A_1 := Y_1 + \Delta l + \varepsilon l + e_{\text{пр}} \quad A_1 = \begin{pmatrix} 8.695 \times 10^{-4} \\ 8.695 \times 10^{-4} \\ 8.696 \times 10^{-4} \end{pmatrix}$$

Динамические смещения валов в точке приведения, м

$$A_B := Y_B + \Delta B + \varepsilon_B \quad A_B = \begin{pmatrix} 2.15 \times 10^{-4} \\ 2.15 \times 10^{-4} \\ 2.152 \times 10^{-4} \end{pmatrix}$$

Сосредоточение центробежной силы, действующей на мешалки, Н

$$F_m := \beta \cdot m_1 \cdot \omega^2 \cdot A_1 \quad F = \begin{pmatrix} 0.011 \\ 6.436 \times 10^{-3} \\ 7.402 \times 10^{-3} \end{pmatrix}$$

Приведенная центробежная сила, действующая на валы в точке приведения, Н

$$F_{впр} := \beta \cdot m_{впр} \cdot \omega^2 \cdot A_{в} \quad F_{впр} = 0.039$$

Комплексы В1, Н\*м

$$B1 := F \cdot (L - 1) \quad B1 = \begin{pmatrix} 0.013 \\ 7.595 \times 10^{-3} \\ 8.735 \times 10^{-3} \end{pmatrix}$$

Реакции опоры А, Н

$$R_A := \frac{B1}{L} + \frac{F_{впр}}{2} \quad R_A = \begin{pmatrix} 0.025 \\ 0.023 \\ 0.023 \end{pmatrix}$$

Комплексы В3, Н\*м

$$B3 := F \cdot L \quad B3 = \begin{pmatrix} 0.023 \\ 0.014 \\ 0.016 \end{pmatrix}$$

Реакции опоры Б, Н

$$R_B := \frac{B3}{L} + \frac{F_{впр}}{2} \quad R_B = \begin{pmatrix} 0.03 \\ 0.026 \\ 0.027 \end{pmatrix}$$

Изгибающие моменты в опасном по прочности сечении, Н\*м

$$M_{и1} := R_A \cdot z_1 - F_{впр} \cdot (z_1 - 0.5 \cdot L) \quad M_{и1} = \begin{pmatrix} 0.031 \\ 0.029 \\ 0.03 \end{pmatrix}$$

$$h_{12} := 0.3$$

дополнительный изгибающий момент для шнековой мешалки, Н\*м

$$\phi_1 := 2 \cdot \pi \cdot \frac{h_{12}}{t_{п2}} \quad \phi_1 = 15.708$$

$$\phi_2 := 2 \cdot \pi \cdot \frac{h_{12} + H_M}{t_{п2}} \quad \phi_2 = 41.888$$

$$a := \sin(\phi_2) - \sin(\phi_1) - \phi_2 \cdot \cos(\phi_2) + \phi_1 \cdot \cos(\phi_1) \quad a = 4.37$$

$$b := \cos(\phi_2) - \cos(\phi_1) + \phi_2 \cdot \sin(\phi_2) - \phi_1 \cdot \sin(\phi_1) \quad b = -35.776$$

$$M_{иш} := \pi \cdot \lambda_{п2} \cdot \mu \cdot n \cdot \frac{d_{M2} \cdot t_{п2}}{16\pi} \left[ 1 - \left( \frac{d_{в2}}{d_{M2}} \right)^2 \right] \cdot \sqrt{a^2 + b^2} \quad M_{иш} = 0.376$$

$$M_{и2} := M_{и1} + M_{иш} \quad M_{и2} = \begin{pmatrix} 0.031 \\ 0.029 \\ 0.03 \end{pmatrix}$$

Крутящие моменты в опасном по прочности сечении, Н\*м

$$M_K := \frac{N}{\omega} \quad M_K = \begin{pmatrix} 0.194 \\ 0.353 \\ 0.79 \end{pmatrix}$$

Моменты сопротивления в опасном по прочности сечении, Н\*м

$$w := \frac{\pi}{32} \cdot d^3 \quad w = \begin{pmatrix} 2.34 \times 10^{-5} \\ 1.227 \times 10^{-5} \\ 2.651 \times 10^{-6} \end{pmatrix}$$

Эквивалентные напряжения в опасном по прочности сечении, Па

$$\sigma_{\text{ЭКВ}_1} := \frac{\sqrt{(M_{H_i})^2 + (M_{K_i})^2}}{w_i} \quad \sigma_{\text{ЭКВ}} = \begin{pmatrix} 8.384 \times 10^3 \\ 2.885 \times 10^4 \\ 2.982 \times 10^5 \end{pmatrix}$$

Осевая сила ленточной мешалки, Н

$$Po_1 := \frac{\rho \cdot n^2 \cdot (d_{M_1})^2}{2 \cdot Re_{\Pi_1}} \cdot \tau_1 \cdot \eta_{\Pi_1} \cdot \lambda_{\Pi_1} \cdot H_{M_1} \quad Po_1 = 0.218$$

Осевая сила шнековой мешалки, Н

$$Po_2 := \frac{3 \cdot \tau_2 \cdot \left(1 - \frac{d_{B_2}}{d_{M_2}}\right)}{\pi^2 \cdot (d_{M_2})^2 \cdot \left[1 - \left(\frac{d_{B_2}}{d_{M_2}}\right)^3\right]} \cdot \frac{N_2}{n} \quad Po_2 = 0.938$$

Площади сечения валов, м. кв.  $SB := \frac{\pi}{4} \cdot d^2 \quad SB = \begin{pmatrix} 3.019 \times 10^{-3} \\ 1.963 \times 10^{-3} \\ 7.069 \times 10^{-4} \end{pmatrix}$

Напряжения растяжения валов за счет действия осевых сил, Па

$$\sigma_{-o_i} := \frac{Po_i}{SB_i} \quad \sigma_{-o} = \begin{pmatrix} 0 \\ 111.022 \\ 1.327 \times 10^3 \end{pmatrix} \quad \bullet < \bullet \quad \sigma_{\text{доп}} = 2.91 \times 10^8$$

Запасы прочности

$$n_s := \frac{\sigma_1}{K_{\sigma} K_d \cdot \sigma_{\text{ЭКВ}}} \quad n_s = \begin{pmatrix} 8.2 \times 10^4 \\ 2.383 \times 10^4 \\ 2.306 \times 10^3 \end{pmatrix} \quad \bullet > \bullet \quad n_{\text{доп}} = 2.4$$

Условия прочности выполняются

11. Исходные данные для теплового расчета аппарата:

Толщина стенки аппарата, м  $\delta_{\text{ст}} := 0.02$   
 Теплопроводность материала стенки аппарата, Вт/м/К  $\lambda_{\text{ст}} := 17.5$   
 Теплообменное устройство цилиндрическая рубашка

Высота рубашки

$$Hr := 1.28$$

Площадь поверхности теплообмена

$$F := 1.67$$

Температура перемешиваемой среды

$$t := 30$$

Теплопроводность среды при температуре t

$$\lambda := 0.148$$

Удельная теплоемкость среды при температуре t

$$c := 2168$$

Вид теплоносителя

вода

## 12. Расчет теплоотдачи от перемешиваемой среды

## 12.1 Мешалка рамная

Число Прандтля для среды

$$Pr := \mu \cdot \frac{c}{\lambda}$$

$$Pr = 1.685 \times 10^3$$

Коэффициент теплоотдачи от перемешиваемой среды, Вт/м.кв/К

$$\alpha_0 := 0.267 \cdot c \cdot \left(\frac{\rho}{Pr}\right)^{0.75} \cdot \left(\frac{N_0 \cdot \mu}{V}\right)^{0.25} \quad \alpha_0 = 298.118$$

## 12.2 Мешалка ленточная

Коэффициент сопротивления корпуса аппарата

$$\lambda_{к1} := \frac{12.6 \cdot (1 + h_{зо1})}{0.053 + h_{зо1}} \quad \lambda_{к1} = 30.873$$

Средняя окружная скорость движения среды, м/с

$$v_{o1} := \frac{\lambda_{л1} \cdot (d_{м1})^2 \cdot H_{лм}}{2D \cdot H \cdot \lambda_{к1}} \cdot \left(1 - \frac{b_{л1}}{d_{м1}}\right) \cdot n \quad v_{o1} = 0.031$$

Средняя осевая скорость движения среды, м/с

$$w_{o1} := \frac{4 \cdot q_1}{\pi \cdot D^2 \cdot [1 + (\pi c_{o1})^2]} \quad w_{o1} = 0.014$$

Длина участка стабилизированного движения среды у стенки аппарата, м

$$l_{o1} := \frac{\sqrt{(v_{o1})^2 + (w_{o1})^2}}{\left(n - \frac{v_{o1}}{\pi \cdot d_{м1}} - \frac{w_{o1}}{2 \cdot r_{л1}}\right) \cdot \pi l_{л1}} \quad l_{o1} = 0.094$$

Относительный радиус максимума циркуляционной скорости среды

$$r_{м1} := 0.495 + 0.647 \cdot \pi c_{o1} \quad r_{м1} = 0.891$$

Параметр скорости сдвига на стенке корпуса аппарата

$$B_1 := \left[ \frac{Hr \cdot \lambda_{л1} \cdot n \cdot (d_{м1} - b_{л1})^2}{2D^2 \cdot H} \right] + \left[ \frac{8 \cdot (1 - r_{м1}) \cdot q_1}{\pi \cdot D^3 \cdot \Omega_{л1}} \right] \quad B_1 = 5.562$$

Коэффициент теплоотдачи от перемешиваемой среды, Вт/м.кв./К

$$\alpha_1 := 0.17 \cdot \sqrt[3]{\frac{\lambda_{л1} \cdot \sqrt{B_1}}{10_1} \cdot \rho \cdot c \cdot \lambda^2} \quad \alpha_1 = 296$$

12.3 Мешалка шнековая

Относительный радиус максимума циркуляционной скорости среды

$$r_{m2} := 0.495 + 0.647 \cdot r_{\omega 2} \quad r_{m2} = 0.902$$

Скорость сдвига на стенке корпуса аппарата, 1/с

$$\gamma_{c2} := \frac{8 \cdot q_2}{\pi \cdot D^3 \cdot \Omega_2} \cdot [1 - (r_{m2})^2] \quad \gamma_{c2} = 0.231$$

Коэффициент теплоотдачи от перемешиваемой среды, Вт/м.кв./К

$$\alpha_2 := 0.82 \cdot \sqrt[3]{\frac{\gamma_{c2}}{Gr} \cdot \rho \cdot c \cdot \lambda^2} \quad \alpha_2 = 16.265$$

13. Расчет теплоотдачи от теплоносителя к рубашке

Средняя температура теплоносителя	$t_r = 15$
Коэффициент объемного расширения теплоносителя	$\beta_r = 0.2$
Плотность теплоносителя	$\rho_r = 999$
Коэффициент теплопроводности теплоносителя	$\lambda_r = 50.45$
Динамическая вязкость теплоносителя	$\mu_r = 1154.5$

Температура стенки аппарата  $t_{cr} = 25$

A, f Константы значения которых зависят от значения выражения в скобках (произведения чисел Грасгофа и Прандтля)

Удельная теплоемкость теплоносителя  $c_{\omega} = 4.18$   
 $A = 0.54 \quad f = 0.33$

$$\left( \frac{Gr^3 \cdot |t_{cr} - t_r|}{2} \cdot \frac{g \cdot \beta_r \cdot \rho_r^2 \cdot c}{\mu_r \cdot \lambda_r} \right) = 1.473 \times 10^3 \frac{m}{s^2}$$

$$\alpha_r := A \cdot \frac{\lambda_r}{Gr} \cdot \left( \frac{Gr^3 \cdot |t_{cr} - t_r|}{2} \cdot \frac{9.8 \cdot \beta_r \cdot \rho_r^2 \cdot c}{\mu_r \cdot \lambda_r} \right)^{0.33}$$

$$\alpha_r = 236.295$$

Коэффициент теплоотдачи, Вт/м.кв\*К

$$K = \left( \frac{1}{\alpha} + \frac{\delta_{cr}}{\lambda_{cr}} + \frac{1}{\alpha_r} \right)^{-1} \quad K = \begin{pmatrix} 114.558 \\ 114.244 \\ 14.958 \end{pmatrix}$$

Максимально возможный тепловой поток, Вт

$$\Delta t = 15 \quad \Phi_d := F \cdot K \cdot \Delta t \quad \Phi_d = \begin{pmatrix} 2.87 \times 10^3 \\ 2.862 \times 10^3 \\ 374.691 \end{pmatrix}$$

Необходимый тепловой поток

$$c_{\omega} = 2168$$

$$\Phi_{\omega} := \frac{V \cdot \rho \cdot c}{840} (30 - 15) \quad \Phi = 2.774 \times 10^3$$

Необходимый тепловой поток способна обеспечить рамная и ленточная мешалки

### Технико-экономические расчеты

В настоящее время в Воронежской области существуют предприятия, производящие спреды. Сложившиеся тенденции нестабильной внешней среды, определяющие развитие местного внутреннего рынка, специализацию предприятий, усиление качества производимой продукции в рамках продовольственной безопасности РФ, расположение производства в местах концентрации сырья и потребителей, оптимизация организационной структуры предприятий и численности персонала, возрастание роли торговых посредников требуют от отраслевых предприятий производства инновационной продукции, соответствующей запросам современного потребителя.

Годовые объемы производства определяются произведением сменной выработки на количество смен, которое предприятие работает за год. Основываясь на производственной мощности, рассчитывают объем вырабатываемой продукции (таблица 1).

Таблица 1- Расчет годового объема производства продукции

Наименование	Суточная норма выработки готовой продукции, т	Количество суток работы в год, $T_{эф}$	Годовой объем производства, т
Спред	1,000	300	300
Масло крестьянское 72,5%	1,000	300	300
Итого	2,00	300	600

Себестоимость готового спреда определяется по отдельным статьям калькуляции, расчет которых представлен в таблицах 2-13.

**Таблица 2 - Расчет потребности и затрат на сырье при годовом объеме  
производства 300 т**

Наименование продукции	Потребность в сырье на производство продукции			Получено от производства обезжиренного молока по цене <u>7000</u> р. за 1 т		Получено от производства пахты по цене <u>7000</u> р. за 1 т		Стоимость сырья за вычетом отходов, тыс. р
	Цельное молоко по цене <u>16000</u> р. за 1 т			Масса. т	Сумма затрат, тыс. р	Масса. Т	Сумма затрат, тыс. р	
	Норма расхода на 1 т продукции, т	Потребность на годовой объем производства, т (гр.2•гр.3)	Затраты на годовой объем производства, тыс. р					
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Масло	21,3	6390	102240	5727	40089	324	1296,0	60855

**Таблица 3 - Затраты на основные материалы для производства спредов, годовой  
объем производства которых 300 т**

Наименование основных материалов	Норма расхода на 1 т продукции, т	Потребность на годовой объем производства, т	Цена за 1 т, тыс. р	Стоимость основных материалов, тыс. р
1	2	3	4	5
Льняное масло	0,2011	60,33	140,0	8446,2
Кукурузное масло	0,1245	37,35	72,0	2689,2
1	2	3	4	5
Арахисовое масло	0,0670	20,1	320,0	64,32,0
Сливочное масло	0.6047	181,41	160	29025,6
Эмульгатор (Dimodan HP)	0,0027	0,81	189,0	153,0
Итого:				46746

Таблица 4 - Затраты на вспомогательные материалы и упаковку для 300 т спреда

Наименование продукции	Годовой объем производства, т	Наименование вспомогательных материалов, тары и упаковки	Единицы измерения	Норма расхода на 1 т продукции	Потребность на годовой объем производства	Цена за единицу, р	Стоимость вспомогательных материалов, тары и упаковки, тыс. р.
1	2	3	4	5	6	7	8
Спред	300	Текстиль					
		-бязь	м	-	-	-	-
		-лавсан	м	0,5	150	42	6,30
		-фильтры ватные	шт	9	2700	6	16,20
		Химикаты					241,10
		-спирт изоамиловый	г	412	123600	17	21,01
		-кислота серная	кг	8,7	2610	10,32	26,94
		-спирт гидролизный	мл	20	6000	32	192,00
		фенолфталеин	г	0,2	60	5,5	0,33
		-гидроксид натрия	г	1,1	330	2,5	0,83
		Моющие средства					45,84
		-мыло хозяйственное	кг	0,25	75	47	3,53
		-сода кальцинированная	кг	2	600	8,8	5,28
		-сода каустическая	кг	0,7	210	19,9	4,18
		-известь хлорная	кг	0,65	195	13,4	2,61
		Тринарийфосфат	кг	3,6	1080	28	30,24
		Моющий инвентарь					33,89
		-щетки корешковые	шт	0,3	90	64,3	5,79
		-щетки капроновые	шт	0,2	60	459	27,54
-ерши капроновые	шт	0,1	30	18,8	0,56		

1	2	3	4	5	6	7	8
		Упаковочные материалы					3982,50
		стакан пластиковый	шт	4000	1200000	1,89	2268
		платинка	шт	4000	1200000	1,029	1234,8
		крышка	шт	4000	1200000	1,39	1668
Итого							4325,83
Всего							4325,83

Воду, электроэнергию, холод и пар определяют, исходя из норм расхода на единицу продукции и ориентировочной стоимости 1 кВт·ч электроэнергии, 1 м<sup>3</sup> воды, 1000 кДж холода и 1 т пара. Полученные данные вносят в таблицу 5.

Таблица 5 - Расчет потребности и затрат на топливо и энергию для технологических целей (годовой объем производства 300 т.)

1	2	Виды энергии												15
		Вода, м <sup>3</sup> , по стоимости 28 р. за 1 м <sup>3</sup>			Холод, кДж, по стоимости 11 р. за 1000 кДж			Пар, т, по стоимости 40 р. за 1 т			Электроэнергия, кВт, по стоимости 6,1 р. за 1 кВт			
		3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	
Наименование продукции		Годовой объем производства, т												
Годовой объем производства, т		Годовой объем производства, т												
Норма расхода на 1 т продукции, т		Норма расхода на 1 т продукции, т												
Потребность на годовой объем производства, т (гр.2•гр.3)		Потребность на годовой объем производства, т (гр.2•гр.6)												
Затраты на годовой объем производства, тыс. р		Затраты на годовой объем производства, тыс. р												
Норма расхода на 1 т продукции, т		Норма расхода на 1 т продукции, т												
Потребность на годовой объем производства, т (гр.2•гр.6)		Потребность на годовой объем производства, т (гр.2•гр.9)												
Затраты на годовой объем производства, тыс. р		Затраты на годовой объем производства, тыс. р												
Норма расхода на 1 т продукции, т		Норма расхода на 1 т продукции, т												
Потребность на годовой объем производства, т (гр.2•гр.12)		Потребность на годовой объем производства, т (гр.2•гр.12)												
Затраты на годовой объем производства, тыс. р		Затраты на годовой объем производства, тыс. р												
Стоимость энергии, тыс. р		Стоимость энергии, тыс. р												

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Спред	300	65	19500	546	716,7	215010	0,236511	4,8	1440	57,60	330	99000	603,90	1207,74
Масло	300	65	19500	546,00	716,7	215010	2,36511	4,8	1440	57,60	330	99000	603,90	1209,87

Для расчета заработной платы необходимо рассчитать численность баланс рабочего времени и численность рабочих.

Баланс рабочего времени (таблица 6) – это число дней работы одного среднесписочного рабочего в год. Календарный фонд рабочего времени равен числу дней в году (365; 366), рабочая неделя – пятидневная, а продолжительность рабочей смены – 8 ч.

Таблица 6 - Баланс рабочего времени одного рабочего за год

Наименование показателей	Количество дней
1. Календарный фонд рабочего времени	365
2. Нерабочие дни, всего В том числе выходные и праздничные дни	115
3. Номинальный фонд рабочего времени (п.1-п.2)	250
4. Планируемые целодневные невыходы, всего В том числе: очередной отпуск невыходы по болезни выполнение общественных обязанностей простои предприятия на ремонт прочие неявки	27 21 2 2 1 1
5. Эффективный фонд рабочего времени, дней (п.3 - п.4)	223
6. Средняя продолжительность рабочего дня, ч	8
7. Эффективный фонд рабочего времени, ч (п.5•п.6)	1784

Численность рабочих – сдельщиков и фонд заработной платы по основному производству рассчитывают в соответствии с нормами времени по труду на 1 т вырабатываемой продукции (в чел.-ч.) и расценкам (в р.) на 1 т продукции. Результаты расчета сводят в таблицу 7.

Расчет годового фонда заработной платы рабочих повременщиков сводят в таблицу 8. Численность и фонд заработной платы руководящих работников, ИТР, служащих и МОП определяют исходя из штатного расписания предприятий, выбранной схемы управления и должностных окладов. Результаты расчётов заносят в таблицу 9.

Таблица 7 - Расчет численности и годового фонда заработной платы рабочих  
сдельщиков

Масло крестьянск ое	Сред	1	Наименование продукции
300	300	2	Годовой объем производства, т
3,89	3,89	3	Укрупненная норма времени на 1 т продукции, чел.-ч.
1167	1167	4	Трудоёмкость годового выпуска продукции, чел.-ч. (гр.2•гр.3)
1,05	1,05	5	Проектируемый коэффициент выполнения норм выработки
1111,43	1111,43	6	Трудоёмкость годового выпуска продукции с учетом коэффициента, чел.-ч. (гр.4/гр.5)
1784	1784	7	Эффективный фонд рабочего времени, ч
1	1	8	Среднесписочное число рабочих- сдельщиков, чел. (гр.6/гр.7)
1200	900	9	Укрупненная расценка за 1 т продукции, р
360,00	270,00	10	Сдельный фонд заработной платы, р (гр.2•гр.9)
90,00	67,50	11	Доплаты, тыс. р (25% от гр. 10)
450,00	337,50	12	Основной фонд заработной платы, р (гр.10 + гр.11)
27,00	20,25	13	Дополнительная заработная плата, р (6% от гр. 12)
477,00	357,75	14	Годовой фонд заработной платы, р (гр.12+ гр.13)



**Таблица 9- Расчет численности и годового фонда заработной платы  
административно-управленческого персонала и МОП**

Должность	Количество штатных единиц, чел	Месячный оклад, р	Основной фонд заработной платы, тыс. р	Дополнительный фонд заработной платы, тыс. р	Годовой фонд заработной платы, тыс. р (гр.4 + гр.5)
1	2	3	4	5	6
<b>Руководители</b>					
Начальник цеха	1	38000	418	25,08	443,08
Начальник отдела сбыта и снабжения	1	30000	330	19,8	349,8
Начальник отдела кадров	1	28000	308	18,48	326,48
Гл. технолог	1	28000	308	18,48	326,48
Гл. механик	1	25000	275	16,5	291,5
Мастер	1	20500	225,5	13,53	239,03
Итого по руководителям	6		1864,5	111,87	1976,37
<b>Специалисты</b>					
Экономист	1	18000	198	11,88	209,88
Бухгалтер	2	18000	396	23,76	419,76
Инженер	2	17000	374	22,44	396,44
1	2	3	4	5	6
Маркетолог	1	18500	203,5	12,21	215,71
Итого по специалистам	6		1171,5	70,29	1241,79
<b>Служащие</b>					
Кассир	1	14500	159,5	9,57	169,07
Микробиолог	1	14000	154	9,24	163,24
Секретарь	1	14000	154	9,24	163,24
Итого по служащим	3		467,5	28,05	495,55
<b>МОП</b>					
Уборщица	1	8600	94,6	5,676	100,276
Итого					3813,986

Сводный годовой план по труду и заработной плате представлен в таблице 10.

Таблица 10 - Сводный годовой план по заработной плате

Категория работающих	Численность, чел	Годовой фонд заработной платы, тыс. р	Среднемесячная заработная плата, тыс. р (гр.3/гр.2)/11 мес.
1	2	3	4
Рабочие-сдельщики	1	834,75	60,90
Рабочие-повременщики (основное производство)	6	1311,24	18,21
Рабочие-повременщики (вспомогательное производство)	7	1498,56	17,84
Руководители	6	1976,37	29,95
Специалисты	6	1241,79	18,82
Служащие	3	495,55	15,02
МОП	1	100,276	9,12
Всего	30	7458,54	20,55

Расходы на содержание и эксплуатацию оборудования включают расходы на содержание, амортизацию, ремонт производственного и подъемно-транспортного оборудования, цехового транспорта и рабочих мест. Расчет представлен в таблице 11.

Таблица 11- Смета расходов на содержание и эксплуатацию оборудования

Статья сметы	Расчет	Значение
1	2	3
1. Расходы по содержанию и эксплуатации технологического оборудования	1,5-2,5 % от стоимости технологического оборудования	81,68
2. Расходы по текущему ремонту	4-6 % от стоимости технологического оборудования	217,80
3. Амортизационные отчисления на технологическое оборудование	16,4 % от первоначальной стоимости технологического оборудования	892,98
4. Прочие расходы	2-3 % от первоначальной стоимости технологического оборудования	108,90
Итого	≈ 25 % от стоимости технологического оборудования	1301,36

Общезаводские расходы определяют по следующим статьям: административно-управленческие расходы и общехозяйственные расходы. Прочие производственные расходы составляют 0,5-1 % от суммы всех

предыдущих статей. Расчеты представляют по форме таблицы 12.

Таблица 12 - Смета общезаводских расходов

Статья сметы	Расчет	Значение
1	2	3
Административно-управленческие расходы		
1. Заработная плата административно-управленческого персонала	Итог табл. 9 - МОП	3713,71
2. Расходы по служебным командировкам и перемещениям	2-8 % от п. 1	74,27
3. Содержание легкового транспорта	8-10 % от п. 1	297,10
4. Канцелярские, почтово-телеграфные и телефонные расходы	2-3 % от п. 1	74,27
5. Прочие расходы	≈ 30 % от п. 1	1114,11
Общехозяйственные расходы		
6. Содержание, ремонт и амортизация здания заводоуправления	8-12 % от стоимости зданий и сооружений	11,52
7. Амортизационные отчисления на здания и сооружения	5-9 % от стоимости зданий и сооружений	7,20
8. Расходы по техническому усовершенствованию техники и технологии	0,5 % от фонда ППП	37,29
9. Расходы по охране труда и безопасности	1 % от фонда заработной платы работников ППП	74,59
10. Расходы по подготовке кадров	0,5 % от фонда ППП	37,29
11. Прочие расходы	5-8 % от фонда заработной платы работников ППП	372,93
Итого		5814,29

Сумма всех перечисленных статей затрат составляет производственную себестоимость продукции.

Для расчета полной себестоимости товарной продукции необходимо учитывать внепроизводственные расходы.

Внепроизводственные (коммерческие) расходы, к которым относятся торгово-сбытовые расходы, расходы на рекламу и некоторые другие, допускается принять в размере 1,5-2 % от производственной себестоимости.

Результаты всех расчетов (калькуляция себестоимости продукции) сводятся в таблице 13.

Таблица 13 - Калькуляция себестоимости продукции

Калькуляционные статьи Затрат	Наименование продукции			
	Спред		Масло	
	Затраты на годовой объем производства, тыс. р	Затраты на 1 т, тыс. р	Затраты на годовой объем производства, тыс. р	Затраты на 1 т, тыс. р
1	3	4	5	6
1. Сырье и основные материалы за вычетом отходов	46746,0	155,2	60855,0	202,85
2. Транспортно-заготовительные расходы	4674,6	15,52	6085,5	20,285
3. Вспомогательные материалы	4325,83	14,42	4325,83	14,42
4. Топливо и энергия на технологические цели	2417,60	4,03	2417,6	4,03
5. Основная и дополнительная заработная плата производственных рабочих	2145,99	7,15	2145,99	7,15
6. Взносы во внебюджетные фонды	643,79	2,14	643,79	2,14
7. Расходы на подготовку и освоение производства	128,75	0,42	128,75	0,42
8. Расходы на содержание и эксплуатацию оборудования	1301,36	4,33	1301,36	4,33
9. Общезаводские расходы	5814,29	19,38	5814,2	19,38
10. Прочие производственные расходы	681,98	2,22	837,18	2,75
<b>11. Производственная себестоимость</b>	<b>68880,19</b>	<b>224,81</b>	<b>84555,29</b>	<b>277,76</b>
12. Внепроизводственные расходы	3444,0	11,24	4227,76	13,88
<b>13. Полная себестоимость</b>	<b>72324,19</b>	<b>236,05</b>	<b>88783,05</b>	<b>291,64</b>

По видам продукции расходы на содержание и эксплуатацию оборудования, общезаводские расходы, прочие производственные расходы и внепроизводственные расходы распределяются пропорционально объему производства в стоимостном выражении.

Себестоимость единицы каждого вида продукции рассчитывается делением суммы затрат по каждому виду продукции на годовой объем ее выпуска.

Необходимость в подобных расчетах диктуется требованиями внутрипроизводственного анализа по конкретным видам продукции с целью установления цен на эти виды продукции и выявления резервов дальнейшего снижения затрат на их производство и реализацию.

Стоимость товарной продукции по отпускным ценам предприятия рассчитывается в таблице 14.

Таблица 14 - Расчет стоимости товарной продукции

Наименование продукции	Объем выпуска продукции, т	Себестоимость товарной продукции, тыс. р	Рентабельность продукции		Цена изготовления(гр. 3 + гр.5)	НДС		Отпускная цена предприятия(гр. 6 + гр.8)	Стоимость товарной продукции, тыс. р (гр.2 * гр.9)
			%	тыс. р		%	тыс. р		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Спред	300	236,05	15	35,41	271,45	10	27,14	298,59	89578,72
Масло	300	291,64	15	43,74	335,38	10	33,53	368,92	110675,58

Прогнозируя количество прибыли, получаемой от реализации вырабатываемой продукции, предприятие должно смоделировать разные варианты своей коммерческой стратегии. Возможности маневра при выборе этих коммерческих стратегий прямо зависит от затрат на изготовление продукции.

Ведь именно эти издержки определяют ту минимальную цену, на которую предприятие может пойти, столкнувшись с конкуренцией или заговариванием. Формула определения минимально приемлемого для предприятия уровня цены следующая:

$$C_{\min} = C + C \cdot P \quad (1)$$

где  $C_{\min}$  – минимальный приемлемый для предприятия уровень цены;  $C$  – себестоимость продукции;  $P$  – рентабельность продукции, %;  $C \cdot P$  – размер прибыли в цене.

Значения показателя предприятия выводят из своей потребности для погашения долгов, выплаты дивидендов, осуществления инвестиций.

Определим точку безубыточности работы, т. е. установить объем производства, при котором предприятие окупит свои затраты и начнет работать с прибылью.

Для расчета точки безубыточности необходимо провести некоторые расчеты. Безубыточный объем производства, при котором выручка от реализации продукции покрывает все издержки, а прибыль (финансовый результат) будет равен нулю:

$$O_b = Z_{\text{пост}} / (C_{\text{ед}} - Z_{\text{уд.перем.}}), \quad (2)$$

где  $O_b$  – объем производства продукции, при котором достигается безубыточность, т;  $Z_{\text{пост}}$  – сумма постоянных расходов (амортизационные отчисления, содержание оперативно-производственного и административного персонала, накладные и часть других расходов), их доля принимается в размере 20 % от производственной себестоимости, тыс. р;  $C_{\text{ед}}$  – цена за единицу продукции, р;  $Z_{\text{уд.перем}}$  – удельные переменные затраты на единицу продукции, р.

Результаты расчётов сводим в табл. 6.16.

$$O_{b1} = 14464,83 / (298,59 - 192,86) = 136,78$$

$$O_{b2} = 17756,61 / (368,92 - 236,75) = 168,83$$

Таблица 15 - Показатели для определения безубыточного объема производства

Показатели спреда	Единица измерения	Величина показателя
1	2	3
Товарная продукция	тыс. р	89578,72
Переменные издержки	тыс. р	57859,3
Удельные переменные издержки на 1 т продукции	тыс. р/т	192,86
Постоянные расходы	тыс. р	14464,83
Цена за 1 т продукции	тыс. р/т	298,59
Показатели масла	Единица измерения	Величина показателя
Товарная продукция	тыс. р	110675,38
Переменные издержки	тыс. р	71026,44
1	2	3
Удельные переменные издержки на 1 т продукции	тыс. р/т	236,75
Постоянные расходы	тыс. р	17756,61
Цена за 1 т продукции	тыс. р/т	368,92

Точку безубыточности изображаем также и графическим путем. Для этой цели на оси абсцисс откладываем годовой объем продукции, а на оси ординат – доходы и расходы. Пересечение линий доходов и совокупных расходов даст точку безубыточности.

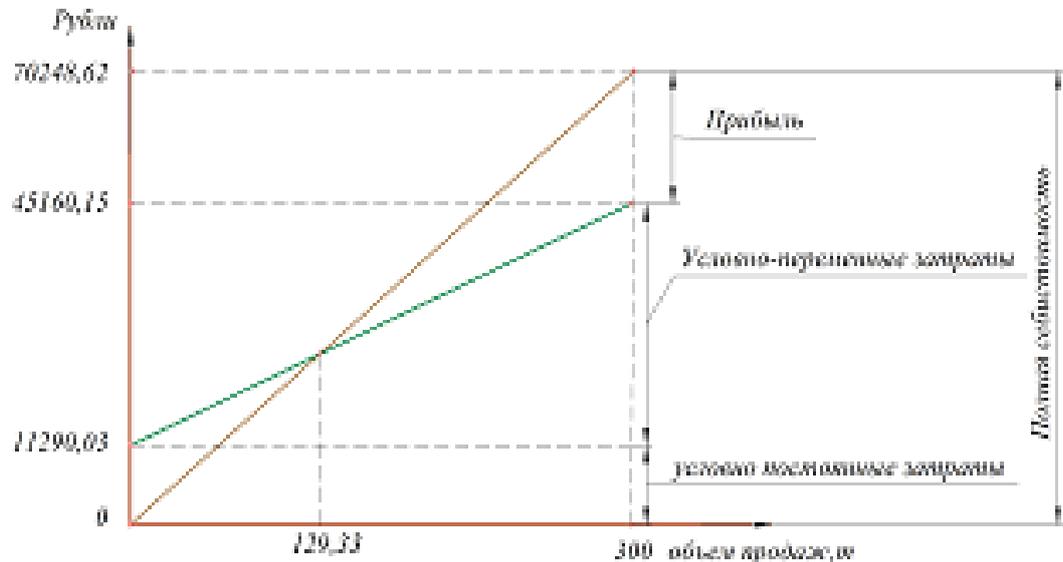


Рисунок 1 - Точка безубыточности для спреда

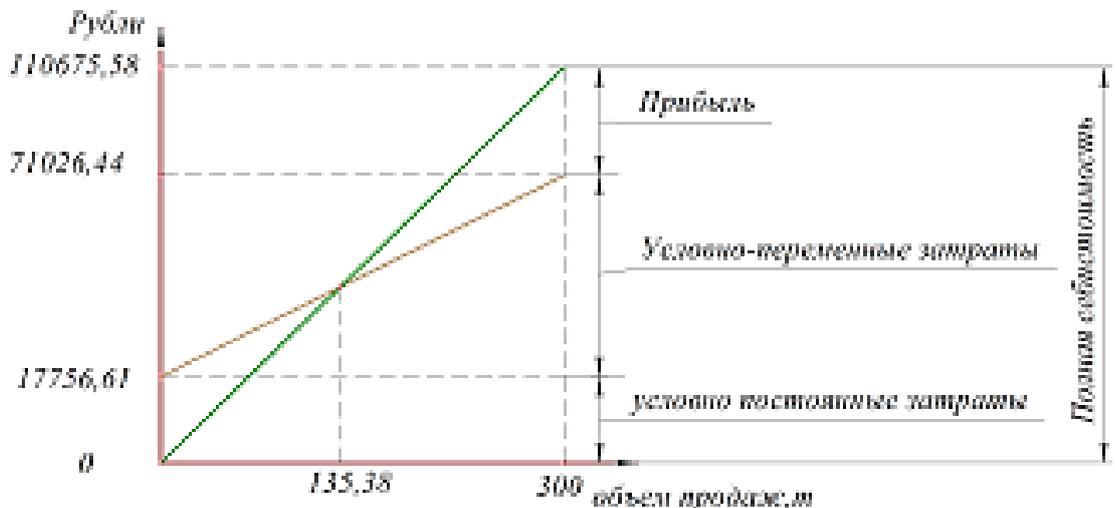


Рисунок 2 - Точка безубыточности для масла

Капитальные затраты,  $K$ , тыс. р., на создание и внедрение проекта направлены на изготовление и монтаж линии производства сливочно-растительных спредов. Стоимость линии производства сливочного масла приведена в таблице 16.

Таблица 16 - Стоимость базового оборудования

Наименование оборудования	Цена, р.	Транспортно монтажные работы (10%), р.	Общая стоимость, р.
Линия производства сливочного масла	5500000	550000	6050000

Стоимость разработанной линии производства сливочно-растительных спредов приведена в таблице 17.

Таблица 17 - Стоимость устанавливаемого оборудования

Наименование оборудования	Цена, р.	Транспортно монтажные работы (10 %), р.	Общая стоимость, р.
Линия производства спредов	4950000	495000	5445000

Таблица 18 - Расчет трудозатрат и средств на оплату труда

Вид работ	Трудоемкость, чел/ч	Разряд	Часовой тариф, р.	Оплата труда, р.
Сварочные	2	5	120	240
Слесарные	3	6	150	450
Сборочные	2	5	130	260
Итого ( $Z_{тр}$ )				950

Однако значение данного показателя должно быть скорректировано с учетом начислений и дополнительной заработной платы:

$$Z_o = Z_{тр} \cdot K_3, \quad (3)$$

где  $K_3$  – коэффициент, учитывающий дополнительную зарплату и начисления. В расчетах следует использовать  $K_3 = 2,0$ .

$$Z_o = 950 \cdot 2 = 1900 \text{ р.}$$

Таким образом, полная себестоимость изготовления оборудования составит:

$$C_{пол} = (1 + K_n) \cdot (Z_m + Z_o), \quad (4)$$

$$C_{пол} = (1 + 2,0) \cdot (5445000 + 1900) = 5\,446\,900 \text{ р.}$$

где  $K_n$  – коэффициент, учитывающий накладные расходы ( $K_n = 2,0 - 3,0$ ).

Таблица 19 - Эксплуатационные затраты

Статьи затрат	Базовый вариант	Проектируемый вариант	Результат, снижение(-), увеличение(+)
1. Расходы на содержание рабочей силы	928166,40	262493,20	+665683,20
2. Амортизационные отчисления на капитальный ремонт оборудования	84700,00	76230,00	+8470,00
3. Расходы на текущий ремонт и содержание оборудования	363000,00	326700,00	+36300,00
4. Затраты на электроэнергию	699164,00	699164,00	0
5. Экономия	-	-	+710453,20

Определяем чистую прибыль предприятия (ЧП), исключая из балансовой прибыли налог на прибыль по следующей формуле:

$$\text{ЧП} = \text{БП} - (\text{БП} \cdot \text{СП}) / 100, \quad (5)$$

где БП – балансовая прибыль; СП – ставка налога на прибыль, %.

Все основные показатели представлены в таблице 20.

Таблица 20 - Основные технико-экономические показатели предприятия

Показатели	Спред	Масло
1	2	3
Годовая выработка в натуральном выражении, т.	300	300
Безубыточный объем производства, т.	136,78	168,83
Товарная продукция, тыс. р.	89578,72	110675,58
Полная себестоимость товарной продукции, тыс. р.	72324,19	88783,05
Затраты на 1 р товарной продукции, р.	0,79	0,79
Балансовая прибыль, тыс. р.	17254,53	21892,53
Чистая прибыль, тыс. р.	13803,62	17514,024
Среднесписочная численность работающих, чел.	30	30
Годовой фонд заработной платы всех работающих, тыс. р.	7458,54	7458,54
Производительность труда одного работающего, тыс. р.	2985,96	3689,186
Среднемесячная заработная плата, тыс. р.	20,55	20,55
Годовой экономический эффект р./год	710453,20	-
Срок окупаемости, г.	1,19	-

Спреды являются новыми продуктами для нашей страны. Многие потребители не доверяют новому продукту, предпочитая натуральное сливочное масло. Однако, в Европе спреды – практически повседневный продукт на столе среднестатистического европейца.

Известны многие труды о вреде трансизомеров жирных кислот, образующихся в результате получения саломасов жидких масел гидрогенированием, что также является отталкивающим фактором при выборе спреда на прилавке магазина. Потому использование технологий, позволяющих сохранить всю натуральность природных масел, а также ужесточение режимов контроля заменителей молочного жира и готовых спредов позволят создать высокую конкурентоспособность спредов для сливочного масла.

Производство масла из коровьего молока является самым нерентабельным из всех молочных продуктов в последнее время. Высокие цены на молоко-сырье, а также низкое его качество вынуждают производителей фальсифицировать масло растительными жирами, чтобы избежать банкротства, т.к. производство масла очень ресурсоемкий технологический процесс, требующий большого объема коровьего молока.

Из всего вышеизложенного следует, что производство спредов в современных условиях является экономически целесообразным.