Всероссийский научно-исследовательский институт холодильной промышленности - филиал Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный научный центр пищевых систем им. В.М. Горбатова» РАН

На правах рукописи

Шобанова Татьяна Владимировна

РАЗВИТИЕ ТЕХНОЛОГИЙ МОРОЖЕНОГО ПЛОМБИР С МОНОСТАБИЛИЗАТОРАМИ

Специальность 05.18.04 – Технология мясных, молочных и рыбных продуктов и холодильных производств

ДИССЕРТАЦИЯ

на соискание ученой степени

кандидата технических наук

Научный руководитель:

доктор технических наук,

А.А. Творогова

Москва, 2020

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ ……4

ГЛАВА 1 ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ…….…….9

1.1 Особенности мороженого как замороженного структурированного продукта……9

1.1.1 Отражение функциональной роли нутриентов мороженого в отечественной и зарубежной литературе……...….12

1.2 Современные подходы к использованию стабилизаторов и эмульгаторов в пищевых продуктах и мороженом……...18

1.2.1 Функциональная роль стабилизаторов и эмульгаторов в производстве мороженого……18

1.2.2 Использование пищевых волокон и крахмалов в пищевой промышленности……...…27

1.3Роль стадий технологического процесса в формировании структуры мороженого……....36

1.4 Выводы по обзору литературы……..47

ГЛАВА 2 МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ, ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ, СХЕМА ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ……...……49

2.1 Организация экспериментальных работ……...49

2.2 Объекты исследований ……..49

2.3 Методы исследований…….50

ГЛАВА 3 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ……...…61

3.1 Экспериментальное обоснование функциональной роли моностабилизаторов натурального происхождения в производстве мороженого пломбир……..61

3.1.1 Исследование растворимости и влияния КФМ и ПВ на вязкость смесей для мороженого пломбир……..62

3.1.2 Экспериментальное обоснование влияния КФМ и ПВ на состояние структуры мороженого пломбир……...…72

3.1.2.1 Исследование дисперсности структурных элементов при температурных колебаниях в мороженом пломбир……91

3.2 Обоснование микро – и макронутриентного состава мороженого пломбир с МС……99

3.2.1 Влияние массовой доли жира на структуру мороженого пломбир…...99

3.2.2 Обоснование массовой доли СОМО……..101

3.3 Экспериментальное обоснование технологического процесса производства мороженого пломбир с МС…….....106

3.3.1 Совершенствование процесса приготовления смесей с МС……106

3.3.2 Гидролиз лактозы в смесях для мороженого…….121

3.3.3 Управление нуклеацией при частичном замораживании смеси……..124

3.3.3.1 Исследование влияния растворимости пищевых волокон на структуру мороженого.....124

3.3.3.2 Исследование влияния иммерсионного замораживания смеси на дисперсность кристаллов льда.....131

3.4 РАСЧЕТ СЕБЕСТОИМОСТИ МОРОЖЕНОГО ПЛОМБИР С МС.....143

3.5 ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ ……..……148

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ……..…….150

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ……...…..151

ПРИЛОЖЕНИЯ…….....163

ВВЕДЕНИЕ. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. В России традиционное мороженое пломбир является национальным продуктом. Этот продукт характеризуется сбалансированным химическим составом, в значительной степени обусловленным высокой массовой долей жира (не менее 15 %) и его присутствием в виде фазы высокодисперсной суспензии. Для стабилизации структуры и консистенции в производстве традиционного мороженого в основном применяли моностабилизаторы - крахмалы химической модификации (Е1422, Е1442), не обеспечивающие в процессе хранения дисперсность кристаллов льда. В связи с этим срок хранения продукта при температуре не выше минус 18 °С составлял 1,5-3,0 мес.

Производство современного мороженого основано на использовании комплексных пищевых добавок, включающих 1 - 2 эмульгатора и 3 – 4 стабилизатора (КСЭ). Синергетические композиции стабилизаторов и эмульгаторы КСЭ оказывают положительное влияние на дисперсность и стабильность структурных элементов продукта при хранении в течение 6-12 мес.

Однако в мороженом с массовой долей жира 15% и более, применение эмульгаторов, вызывающих частичное деэмульгирование жировой фазы, нежелательно. Наличие свободного жира приводит к ощущению излишней жирности, что нехарактерно для традиционного продукта, и повышает вероятность возникновения пороков структуры из-за образования масляного зерна в процессе механического воздействия во фризере.

Исключение эмульгаторов из рецептуры мороженого и применение эффективных моностабилизаторов (МС) позволит производить продукт без пищевых добавок с индексом Е или с ограниченным (не более 1) их применением.

Таким образом, развитие технологий традиционного мороженого пломбир с эффективными МС, обеспечивающими органолептические показатели традиционного продукта и стабильность структурных элементов в процессе хранения, представляется актуальной задачей.

Степень разработанности темы. Значительный вклад в разработку теоретических и практических аспектов производства мороженого и замороженных десертов внесли: Азов Г.М., Arbuckle W.S., Goff H.D., Hartel R.W., Дезент Г.М, Sommer H.H., Marshall R.T., Оленев Ю.А., Творогова А.А., Фильчакова Н.Н.

Цели и задачи исследования. Целью настоящей диссертационной работы является развитие технологий мороженого пломбир с МС, обеспечивающими органолептические показатели традиционного продукта и стабильное состояние его структуры в процессе хранения.

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

-аргументировать выбор МС и обосновать эффективность их применения в производстве и хранении мороженого пломбир с учетом влияния на динамическую вязкость, способность интенсифицировать нуклеацию и удерживать воду при колебаниях температуры;

- обосновать роль жировой фазы в стабилизации структуры мороженого пломбир с МС и разработать методику ее количественной оценки;

- исследовать влияние МС на дисперсность структурных элементов в процессе производства и хранения в условиях колебания температуры при традиционном бесконтактном замораживании во фризере и иммерсионном с использованием жидкого азота.

-обосновать химический состав мороженого пломбир с МС, включая экстремальные значения массовых долей жира, лактозы и белка в составе СОМО;

- усовершенствовать технологический процесс производства мороженого пломбир при использовании МС, в части интенсификации нуклеации, возможности проведения гидролиза лактозы при хранении смеси и исключения стадии ее созревания;

-разработать и апробировать на промышленных предприятиях усовершенствованные технологии мороженого пломбир.

Научная новизна. Установлены взаимосвязи между:

- растворимостью МС и дисперсностью кристаллов льда в мороженом после фризерования;

- способностью МС удерживать воду в структуре продукта при колебаниях температуры и динамической вязкостью их водных растворов после размораживания.

Впервые предложено применение показателя «содержание структурирующего жира» для оценки участия жира в формировании структуры мороженого одновременно в эмульгированном и деэмульгированном состояниях.

Экспериментально обосновано влияние иммерсионного замораживания азотом на нуклеацию и дисперсность кристаллов льда в мороженом пломбир.

Теоретическая и практическая значимость. Разработаны технологии мороженого пломбир с МС и инструкции по его производству для предприятий отрасли производства мороженого, позволяющие:

- производить мороженое пломбир с эффективными МС;

- исключить из технологического процесса стадию созревания;

- обеспечить высокую дисперсность и стабильность структурных элементов (воздушных пузырьков, кристаллов льда и лактозы) в процессе хранения.

Обоснована возможность проведения гидролиза лактозы на стадии хранения смеси при факторе лактозы более 0,09 с целью исключения ее кристаллизации в процессе хранения мороженого.

Разработана технология мороженого пломбир с использованием иммерсионного способа замораживания.

Положения, выносимые на защиту.

Функциональные свойства МС и возможность их применения в качестве эффективных стабилизаторов структуры мороженого пломбир с м.д.ж. не менее 15%.

Возможность использования показателя «содержание структурирующего жира» (Ссж) для оценки участия частиц жира в формировании структуры продукта.

Аналитическое и экспериментальное обоснование оптимального химического состава и технологического процесса производства мороженого пломбир с МС.

Степень достоверности и апробация результатов. Степень достоверности результатов работы подтверждается проведением экспериментальных исследований не менее чем в 3-х кратной повторности, использованием современных методов исследований, статистической обработкой данных при доверительной вероятности не менее 0,95.

Основные положения и результаты работы были доложены и обсуждены на VIII Международной конференции молодых ученых и специалистов «Фундаментальные и прикладные исследования по безопасности и качеству пищевых продуктов», г. Видное, 2014; научно-практической конференции с международным участием «Управление реологическими свойствами пищевых продуктов», г. Москва, 2015;IX Международной конференции молодых ученых и специалистов «Повышение качества, безопасности и конкурентоспособности продукции агропромышленного комплекса в современных условиях», г. Москва, 2015; отраслевой научно-практической конференции «Научное, нормативное и материально-техническое обеспечение современного производства мороженого и замороженных продуктов», г. Москва, 2015; X Международной научно-практической конференции молодых ученых и специалистов отделения сельскохозяйственных наук РАН «Современные подходы к получению и переработке сельскохозяйственной продукции – гарантия продовольственной независимости России», г. Москва, 2016; Международной научно-практической конференции «Новые ингредиенты и технологии как основа оптимизации затрат в производстве мороженого в условиях импортозамещения», г. Москва, 2016; XIII Международной научной конференции «Молодежь в науке 2016», Беларусь, г. Минск, 2016; Международной научно-практической конференции «Экологические, генетические, биотехнологические проблемы и их решение при производстве и переработке продукции животноводства», г. Волгоград, 2017; XI Международной научно-практической конференции молодых ученых и

специалистов отделения сх. наук Российской академии наук «Научные подходы к повышению качества агропродовольственной продукции при их производстве и хранении», г. Москва, 2017; Международной научно-практической конференции «Перспективные технологии хранения и переработки сельскохозяйственной продукции» в рамках Международного научно-практического форума «Перспективные технологии в агропромышленном комплексе», г. Краснодар, 2018.

Личное участие соискателя. Проведение анализа научно-технической литературы по теме диссертации, научное обоснование и постановка цели и задач исследования, организация, планирование и проведение экспериментальных исследований, анализ и обобщение полученных результатов, подготовка результатов к опубликованию, участие в конференциях.

Публикации. По материалам выполненных исследований опубликовано 22 печатные работы, в том числе 5 статей в журналах, рекомендуемых ВАК РФ, 1 –в материалах международного конгресса по холоду (ICR 2019, Канада, Монреаль).

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, обзора литературы, методической части, экспериментальной части, основных результатов и выводов, списка литературы, приложений. Работа изложена на 162 страницах, содержит 32 таблицы, 71 рисунок, 6 приложений. Список литературы содержит 119 наименований отечественных, зарубежных авторов и Интернет-ресурсов.

ГЛАВА 1 ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

1.1 Особенности мороженого как замороженного структурированного продукта

Мороженое является сложной многофазной системой. Входящие в состав мороженого вещества находятся в виде истинных и коллоидных растворов и эмульсий. Лактоза, соли, сахара образуют истинные растворы. Молочные белки, стабилизаторы и некоторое количество фосфата кальция присутствуют в мороженом в виде коллоидных растворов [2]. Жир присутствует в смеси для мороженого в виде эмульсии, в мороженом – в состоянии суспензии [47].

Процесс производства мороженого включает в себя ряд технологических операций: составление смесей по рецептуре из сырьевых компонентов и их перемешивания, фильтрование, пастеризацию, гомогенизацию, охлаждение и хранение (созревание) смеси, фризерование (для насыщения смеси воздухом и частичного вымораживания воды), закаливание (дальнейшее замораживание) мороженого и его хранение до реализации. Во время фризерования происходит формирование новых компонентов – воздушных пузырьков, кристаллов льда и лактозы [5].

Мороженое состоит из пузырьков воздуха, кристаллов льда, белка, стабилизатора и агломерированных частиц жира, которые распределены в плазме (рисунок 1) [2, 63].

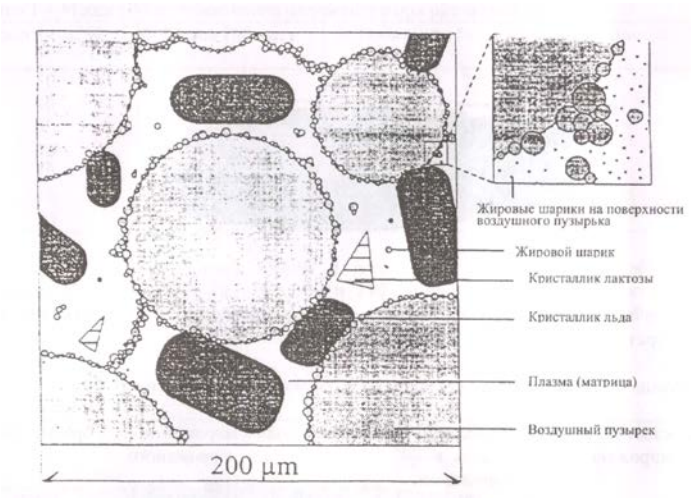


Рисунок 1 – Структура мороженого при температуре – 15ºС
(по П. Вальстра и М. Джонкшену)

Смесь и мороженое с точки зрения коллоидной химии представляют собой две разные дисперсные системы. Сведения о составных частях смеси для самой распространенной разновидности – сливочного мороженого приведены на рис. 2 [64].

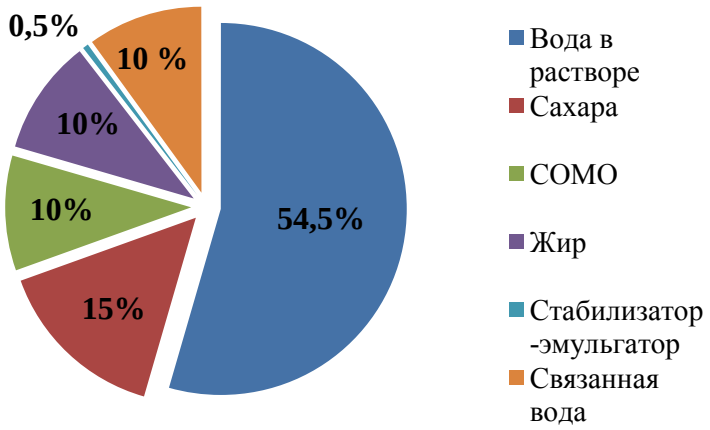


Рисунок 2 – Массовая доля ингредиентов в смеси для мороженого 10% жирности

На рис. 2 видно, что основным компонентом в смеси для мороженого является вода. В сливочном мороженом массовая доля воды составляет около 65%. Часть воды (около 10%) находится в связанном состоянии. Связанная вода не участвует в растворении компонентов и не вымораживается [64].

В сливочной смеси не менее 52% воды находится в растворе. В воде растворены сахара, массовая доля которых составляет чаще всего 14-17%, и молочный сахар (лактоза), входящий в состав СОМО. Сахара образуют в воде истинные растворы. Размер частиц в истинных растворах не превышает 1 миллимикрон [48, 63, 64].

В виде истинных растворов в смеси находятся соли, вносимые в мороженое в составе СОМО. Их массовая доля незначительна [63].

Белки СОМО и гидроколлоиды образуют в воде коллоидные растворы. Размер частиц в коллоидных растворах в 10 раз выше размера частиц в истинных растворах [64].

Жир в смеси находится в виде эмульсии, а при охлаждении отвердевает и частично становится фазой в суспензии [64].

В процессе фризерования образуются дополнительнодве новые фазы – лед и воздушные пузырьки. Изменяется распределение структурных элементов в массе продукта (рисунок 3) [48, 64].

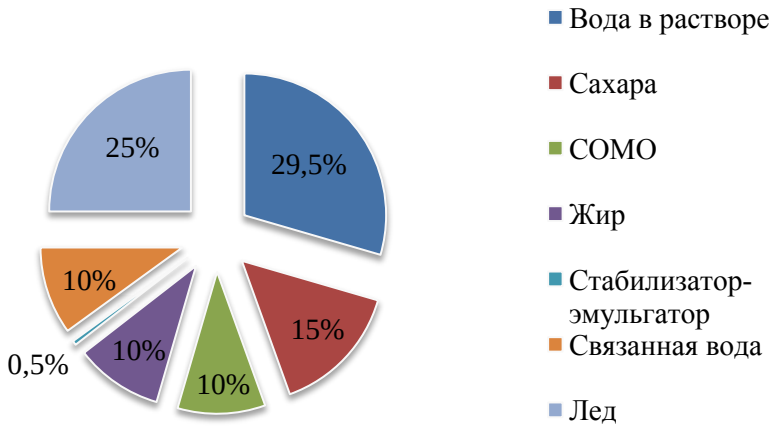


Рисунок 3 – Массовая доля ингредиентов в мороженом 10% жирности после фризерования

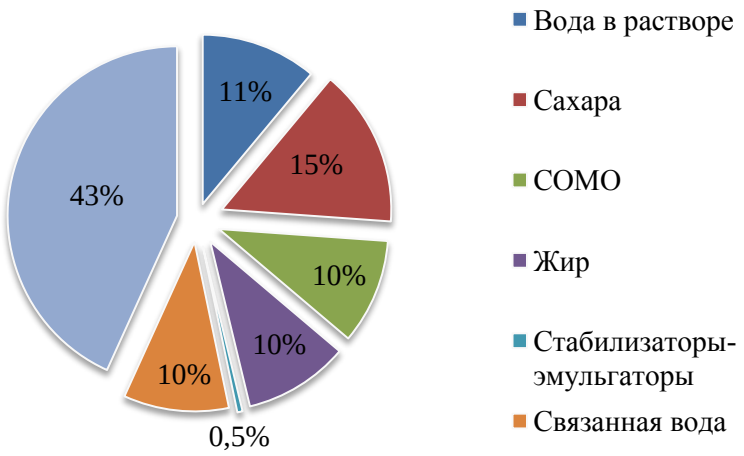


Рисунок 4 – Объемная доля ингредиентов в мороженом 10% жирности после фризерования

По мнению А.А. Твороговой: «О стабильной структуре мороженого говорят, если основные структурные элементы мороженого имеют оптимальные размеры, не изменяющиеся в процессе хранения» [66].

Для того, чтобы структура мороженого была стабильной, характеризовалась требуемыми органолептическими показателями важно соблюдать все технологические рекоменндации по производству мороженого, строго соблюдать

рецептуру. В процессе технологического процесса структурные элементы мороженого должны достичь оптимальных размеров: жировые шарики – 0,2-2,0 мкм, кристаллы льда – 10-70 мкм, воздушные пузырьки – 10-140 мкм [64, 83].

1.1.1 Отражение функциональной роли нутриентов мороженого в отечественной и зарубежной литературе

По данным Ю.А. Оленева, «Смеси мороженого представляют собой полидисперсную систему, в которой компоненты дисперсной фазы отличаются не только размером частиц и их агрегатным состоянием, но и химическим составом.

Вполне очевидно, что меняя в смеси массовую долю сухого обезжиренного молочного остатка (СОМО), жира или их отношения, а также содержание сахара, стабилизатора можно получить неограниченное количество рецептур мороженого. Для получения мороженого высокого качества необходимо знание общих принципов и пределов, в которых можно менять состав смеси и соотношение используемого сырья для мороженого.

По физико-химическим показателям – массовым долям сухих веществ, СОМО (сухой обезжиренный молочный остаток), сахарозы, кислотности и объемной доле воздушной фазы – мороженое должно соответствовать в каждом отдельном случае действующей технической документации (таблица 1)» [46, 47].

Таблица 1 - Физико-химические показатели мороженого

Показатель	Закаленные продукты		Мягкое мороженое
	Мороженое	Фруктовые десерты	
Содержание, % сухих веществ:			
СОМО	8,0-12,0	-	10,0-14,0
Молочного жира	0-15	-	0.0-8,0
Белка	3,0-6,7	-	3,7-6,7
Сахарозы	12-16,5[1]	27,0-32,0	14,0-16,0
Влаги	60,0-71,0	66,5-70,0	64,0-71,0
Минеральных веществ	≤2,65	-	≤2,65
Воздуха (объемная доля)	33-47	29-41	29-37
Отношение СОМО/жир	≥0,7	-	≥1,5
Кислотность, °Т, не более	20,0-24,0	70	24,0-29,0
Взбитость, %	50-90	40-70	40-60
[1]Низкокалорийное мороженое может содержать 7…11%.			

Как следует из данных, приведенных в табл. 1, в закаленном мороженом содержание сухих веществ (при содержании влаги 60-71%) должно быть в пределах 29…40% и 29…36% - в мягком [2].

По данным справочника по производству мороженого: «Повышение сухих веществ в смеси за счет входящих в нее ингредиентов (жира, сахара, сухого обезжиренного молочного остатка и др.) приводит к понижению содержания воды. При замораживании такой смеси образуется меньшее количество кристаллов льда. Кроме того, распределенные в небольшом количестве воды частицы сухого вещества создают механическое препятствие росту кристаллов льда, ограничивая их размеры.

Повышение содержания сухого вещества вызывает понижение температуры замерзания смеси, что в свою очередь уменьшает количество образуемого льда, так как в твердое состояние при данной температуре переходит меньшее количество воды» [47,63].

При производстве мороженого молочный жир выполняет значительную роль: является носителем вкуса, «создает полноту вкуса - ощущение сливочности; при определенных условиях обладает пластичностью и способствует формированию нежной консистенции, повышает сопротивляемость мороженого таянию» [2, 64].

По мнению большинства специалистов«повышение содержания молочного жира в мороженом улучшает взбиваемость смеси, так как жировые шарики и их скопления стабилизируют пузырьки введенного воздуха (при соблюдении рекомендаций, связанных с процессами гомогенизации и созревания смеси)»[7, 36, 52].

По мнению немецкого ученого Зоммера и других: «присутствие в смеси молочного жира понижает взбитость»[14].

Для придания сладкого вкуса продукту использовали сахарозу. Сахарозу следует рассматривать как источник сладкого вкуса и усилителя вкуса жира, внесенных ароматических и вкусовых веществ, восполняет сухие вещества продукта[2].

При производстве мороженого с пищевыми компонентами вносят ингредиенты с определенными функциональными свойствами. К таким ингредиентам можно отнести все основные составные части мороженого – жиры, белки и сахара. Стабилизационные системы содержат также жиры, белки и углеводы, но их функциональная способность более выражена, чем в ингредиентах основных сырьевых компонентов [43,63, 97].

Основным источником белка в смесях и мороженом является молочный белок, содержащийся в молочных продуктах, входящих в рецептуру смесей [47].

Молочные белки представлены казеином, альбумином и глобулином. Основной составляющей молочного белка является казеин, массовая доля его составляет более 80 % от общего содержания белка. Массовая доля альбумина составляет 12 %, а глобулина – 6% [47].

«Чаще всего говорят не о функциональной роли белка, а о роли СОМО» [64]. СОМО включает лактозу, казеин и сывороточные белки, минеральные вещества (золу), витамины и другие минорные компоненты молока [10].

В составе сухого обезжиренного остатка молока (СОМО) массовая доля молочного белка составляет в среднем 34%, лактозы – не менее 54 и минеральных солей – около 9% [47, 61].

Ингредиенты СОМО белки, лактоза и минеральные соли обладают определенными функциональными свойствами [64]. Учитывая, что лактоза и минеральные соли влияют на криоскопическую температуру и долю вымороженной воды, также как и сахароза, целесообразно влияние этих составляющих учитывают одновременно с влиянием сахаров [63, 64].

Белки выполняют важную роль в формировании структуры мороженого, в том числе при эмульгировании жировой фазы, взбивании, влияют на влагосвязывающую способность (ВВС).

Эмульгирующие свойства белков в смеси определяются их адсорбцией на жировых шариках в ходе гомогенизации. Белки влияют на степень взбитости мороженого, способствуя образованию в смеси пузырьков воздуха, а ВСС белков определяет вязкость смеси и консистенцию мороженого, увеличивает

продолжительность его таяния и снижает вероятность появления порока «песчанистость» [10].

В смесях для мороженого молочного, сливочного и пломбира массовая доля СОМО в соответствии с рецептурами составляет, как правило, 10%, следовательно, массовая доля белка - не менее 3,4%. В мороженом других разновидностей (с пониженным или повышенным содержанием сухого обезжиренного молочного остатка) СОМО может быть в пределах от 7 до 11,5%, а массовая доля белка - от 2, 6 до 4,3 % [47].

Недостаточное содержание СОМО в мороженом отрицательно сказывается и на органолептических показателях мороженого на молочной основе. Продукт приобретает так называемый «пустой» вкус. По этой причине и в связи с необходимостью создания в продукте стабильной жировой фазы в нормативных и технических документах по производству мороженого на молочной основе установлен минимальный предел СОМО на уровне – «не менее 7%» [61].

Жир оказывает влияние на вкусовые показатели продукта, его консистенцию, структуру и показатели таяния [73].

Влияние жира на консистенцию связано с его влиянием на вязкость продукта. Вязкость – один из основных критериев консистенции продукта [64]. Вязкость обуславливается количеством сухих веществ в продукте, взаиморасположением их и числом частиц в единице объема. Внесение жира в продукты способствует повышению массовой доли сухих веществ [64]. Высокая дисперсность жировых частиц также способствует увеличению вязкости продукта, а, следовательно, сказывается на его консистенции [7, 20, 67, 68, 81].

«Влияние жира на структуру проявляется благодаря его кристаллизации в мороженом и повышении вследствие этого механической устойчивости, созданной в процессе фризерования дисперсной системы» [64].

Благодаря высокой дисперсности частиц, достигаемой в результате гомогенизации смеси, жир равномерно распределяется во всем объеме продукта. В процессе фризерования образуется жир, который адсорбируется на поверхности воздушных пузырьков (агломерированный) (рисунок 5).

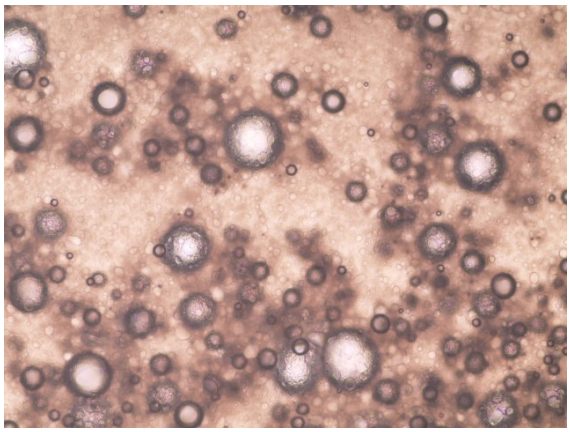


Рисунок5 –Микрофотография состояния воздушной фазы в мороженом

Наличие кристаллического жира в мороженом, в том числе и на поверхности воздушных пузырьков, способствует созданию в структуре продукта своего рода каркаса из отвердевшего жира [64]. «Исследователи из США, Дании и Англии считают, что при массовой доле жира в мороженом 10% и более в мороженом существует непрерывный каркас из отвердевшего жира [64]. Влияние жира на скорость таяния мороженого проявляется благодаря наличию в продукте каркаса из кристаллического жира [24, 36, 39, 46, 48, 64].

Сахара в сухих веществах мороженого составляют наибольшую массовую долю. Многие годы в России в качестве сахаров использовали в основном сахар – песок (сахарозу), получаемый из сахарной свеклы и тростникового сахара. За рубежом наряду с сахарозой широкое применение нашли продукты переработки крахмалов – кукурузного, картофельного, пшеничного и тапиокового. В последние годы в нашей стране интерес к таким продуктам также возрос.

Сахара, кроме того, что являются важной составляющей частью сухого вещества мороженого, оказывают влияние на консистенцию и структуру продукта и его вкус [21, 24].

Сахара оказывают влияние на консистенцию мороженого путем воздействия на криоскопическую температуру и долю вымороженной влаги, что предопределяется нахождением сахаров в мороженом в виде истинного раствора [37]. Известно, чем меньше молекулярная масса сахаров и чем больше их концентрация, тем ниже криоскопическая температура и меньше доля вымороженной влаги при одной и той же температуре (таблица 2).

Таблица 2 – Молекулярная масса сахаров и коэффициент понижения ими точки замерзания

Сахара	Молекулярная масса сахаров	Коэффициент понижения точки замерзания
Сахароза	342	1,0
Лактоза	342	1,0
Декстроза (глюкоза)	180	1,9
Фруктоза	180	1,9
Галактоза	180	1,9
Инвертный сахар	180	1,9
Глюкозный сироп (ДЭ42)	445	0,8
Кукурузная патока (ДЭ43)	428	0,8
Кукурузная патока (ДЭ43)	298	1,15

К свойствам сахаров относится и их влияние на процесс кристаллизации в мороженом влаги и других сахаров [64].

Влияние сахаров на кристаллизацию влаги проявляется через влияние на вязкость растворов или долю вымороженной влаги во фризере.

Сахара с меньшей молекулярной массой, чем у сахарозы, понижают криоскопическую температуру смесей мороженого, а следовательно, и долю вымороженной во фризере влаги [64].

При использовании сахаров с высокой, по сравнению с сахарозой, молекулярной массой число центров кристаллизации влаги может увеличиваться за счет повышения доли вымороженной влаги во фризере [22, 23, 63, 64].

Подслащивающие вещества не только обеспечивают сладкий вкус мороженого, но и улучшают его консистенцию, вкус и аромат. Их способность снижать точку замерзания раствора позволяет контролировать зависимость твердости мороженого от температуры. Содержание подслащивающих веществ, включая лактозу СОМО, должно быть подобрано так, чтобы обеспечивалось требуемое содержание СВ, нужный уровень сладости и приемлемая степень твердости мороженого [10, 98].

Смеси различных стабилизаторов находят широкое применение в мороженом. Как правило, в качестве стабилизаторов используют полисахариды, полученные из различных растений, например, каррагинан, альгинат, камедь

рожкового дерева, пектин и гуаровая камедь. Эти вещества обычно проявляют гидрофильные свойства, не оказывают прямого воздействия на дестабилизацию жира[98]. Влагосвязывающие свойства гидроколлоидов приводят к увеличению вязкости среды. Это способствует повышению устойчивости структуры продукта при таянии. Однако слишком высокое содержание стабилизаторов ухудшает органолептические показатели мороженого вследствие образования тягучей, тестообразной текстуры [15, 38].

Стабилизаторы в мороженом представляют собой группу ингредиентов, способствующих формированию кремообразной консистенции, а также задерживающих или снижающих рост кристаллов льда и лактозы при хранении, особенно при перепадах температуры (тепловом шоке»), и обеспечивающих однородность продукта и его сопротивление таянию [47, 64]. Функциональные свойства стабилизаторов проявляются в основном при их взаимодействии с водой [72]. Эмульгаторы (моно - диглицериды (Е471), Твин 80 (Е433) практически всегда используют в смеси наряду со стабилизаторами. Эмульгаторы используют для улучшения способности смеси к насыщению воздухом, получая в результате более «сухое» мороженое за счет наличия части жира в деэмульгированном состоянии, которое легче формовать, экструдировать и из которого проще получать изделия различной формы. Функция эмульгаторов обусловлена их поверхностной активностью на границах раздела фаз [10, 62, 96, 111].

1.2 Современные подходы к использованию стабилизаторов и эмульгаторов в пищевых продуктах и мороженом

1.2.1Функциональная роль стабилизаторов и эмульгаторов в производстве мороженого

Целенаправленно для стабилизации структуры в мороженом используют стабилизаторы (гидроколлоиды) или комплексные стабилизаторы-эмульгаторы [73]. Гидроколлоиды - высокомолекулярные полимерные вещества, способные к гидрированию и связыванию при этом большого числа молекул воды путем водородной связи [63].

По происхождению гидроколлоиды делят на протеины (белки) и полисахариды.

В качестве стабилизаторов используют белки животного происхождения (желатин, модифицированный молочный белок и казеинаты) и растительного происхождения (модифицированные соевые и пшеничные белки).

Полисахариды классифицируют по видам в зависимости от их происхождении или способа получения.

Из семян растений получают камедь рожкового дерева (Е 410), гуаровую камедь (Е 412); из клеток растений - производные целлюлозы (метилцеллюлозу (Е 461). натрий карбоксиметилцеллюлозу (Е 466), пектины (Е 446), крахмалы); из водорослей - агар (Е 406), альгинат натрия (Е 401), каррагинан (Е407).

Полисахарид ксантановую камедь (Е 415) получают путем микробной ферментации [64, 73].

Только в России длительное время использовали пшеничную муку в качестве стабилизатора. Отдельные предприятия применяют муку и в настоящее время. По происхождению муку следует отнести к полисахаридам, получаемым из клеток растений [16, 47, 62, 64, 65].

Основными функциями стабилизаторов в мороженом являются: увеличение вязкости смеси, стабилизация смеси во избежание отделения сыворотки (например, этим свойством обладает каррагинан), облегчение суспендирования вкусоароматических компонентов, получение стабильной пены в процессе фризерования, замедление образования кристаллов льда и лактозы при хранении, предотвращение усадки при хранении продукта [39].

Многие эти функции обусловлены повышением вязкости смеси для мороженого в незамороженном состоянии. Кроме того, стабилизаторы должны быть нейтральны по вкусу и запаху, химически не взаимодействовать с вкусоароматическими веществами мороженого, обеспечивать приемлемые характеристики плавления и обеспечивать желаемую для потребления текстуру. Ограничения по их использованию связаны с избыточной вязкостью смеси, ухудшением консистенции и получением нежелательных характеристик

плавления (таяния). Хотя стабилизаторы увеличивают вязкость смеси, однако они слабо влияют (или вообще не влияют) на понижение температуры ее замерзания [10, 48].

Механизмы, с помощью которых стабилизаторы способны ограничивать перекристаллизацию кристаллов льда, детально исследованы, но пока не вполне понятны. Следует помнить, что концентрирование незамороженной фазы вымораживанием ведет к концентрированию полисахаридов в несколько раз по сравнению с уровнем, имевшимся в исходной смеси. Когда в растворе формируется лед, концентрация стабилизатора, составляющая в незамороженной смеси лишь 0.25-1,0%, в незамороженной фазе многократно возрастает. Поэтому эффективность действия стабилизаторов должна быть проверена для повышенных концентраций, при которых гораздо сильнее проявляются межмолекулярные взаимодействия между частицами собственно стабилизатора и частицами стабилизатора и молекулами белков [59].

На распределение кристаллов льда по размерам в мороженом во время процесса выхода из фризера стабилизаторы влияют слабо или совсем не влияют [36, 89]. То же можно сказать и об их влиянии на начальный рост кристаллов льда во время фризерования и закаливания [95, 44, 73], однако в процессе перекристаллизации они ограничивают скорость роста кристаллов льда [90, 91, 92, 106, 115]. Стабилизаторы не влияют на характеристики замораживания смеси и понижение температуры ее замерзания [38], количество вымороженной воды, энтальпию таяния [89, 109, 116, 114] и гетерогенное зародышеобразование [95, 112]. Поэтому можно предположить, что они не будут влиять на процессы начала кристаллизации льда. Что касается перекристаллизации, то прямая корреляция между вязкостью незамороженной смеси и скоростью перекристаллизации отсутствует [88, 106]. Как выяснилось, защитное действие стабилизаторов не связано и с явлением стеклования [106], но существует мнение об их влиянии на изменение характера поверхности кристаллов льда [36, 90, 108]. Большинство полисахаридов несовместимы в растворе с молочными белками, что ведет к дальнейшему локальному концентрированию. В последних работах

исследовалась способность некоторых стабилизаторов формировать крио-гель, блокирующий кристаллы льда. Оказалось, что разделение фаз полисахаридов и белков также влияет на процесс перекристаллизации, и поэтому даже микроструктурные различия в концентрации раствора у поверхности кристалла льда могут оказывать воздействие на процесс его перекристаллизации [10].

Большинство изготовителей мороженого используют промышленно выпускаемые смеси стабилизатора с эмульгатором, изготовляемые специализированными фирмами из отдельных ингредиентов. Такие смеси обычно представляют собой комбинации стабилизаторов и эмульгаторов, однако иногда для краткости их называют стабилизаторами. Чаще всего стабилизаторы для классического мороженого – это гуаровая камедь, камедь рожкового дерева (КРД), камедь целлюлозы, каррагинан и эмульгаторы (моно-, диглицериды и Твин 80).

В отличие от других продуктов, где эмульгаторы используются для получения стойких эмульсий прямого или обратного типа, в мороженом эмульгаторы применяются в основном как вещества, дестабилизирующие жир.

При целенаправленном создании структуры мороженого часть жира из состояния эмульсии прямого типа переводят в деэмульгированное состояние. Эффект деэмульгирования (агломерирования) жира достигается благодаря действию эмульгаторов на белково-липидную оболочку жировых шариков.

Действие эмульгаторов заключается в снижении электрического заряда на поверхности жировых частиц и повышении способности их к слипанию. Это происходит в период созревания смеси для мороженого в результате частичной десорбции эмульгаторами молекул белка с поверхности жировых шариков.

Процесс десорбции белка с поверхности жировых шариков и адсорбирование эмульгаторов происходит в течение определенного времени (как правило, не менее 4 часов) и при низких положительных температурах (лучше 2-4 °С). В результате образования оболочки смешанного состава ее устойчивость к механическому воздействию снижается. Разрушение оболочки на жировых шариках сопровождается вытеканием из шарика части неотвердевшего жира,

происходит слипание (флоккуляция) жировых частиц. В процессе фризерования флоккулированные жировые частицы адсорбируются на поверхности воздушных пузырьков, благодаря чему происходит стабилизация воздушной фазы и повышается взбитость продукта [64].

Активная роль эмульгатора в дестабилизации жировой фазы и стабилизации воздушной фазы способствует образованию в мороженом кремообразной консистенции, насыщению его воздухом, созданию сухой поверхности при экструзии, повышению устойчивости к таянию и осаждению [64].

Традиционным эмульгатором мороженого служил яичный желток. В современных рецептурах яйца и яичный желток заменяют специальными, намного более дешевыми ингредиентами, которые обеспечивают гораздо больше функциональных возможностей. В настоящее время в производстве мороженого применяют два основных типа эмульгаторов: моно- и диглицериды, а также эфиры сорбита. Обычные концентрации эмульгаторов составляют 0,1 – 0,2% для моно- и диглицеридов и 0,2 – 0,04% - для Твин 80 [10, 63, 64, 65, 118].

Традиционным стабилизатором для большинства рецептур мороженого был желатин, однако по мере развития промышленного производства мороженого и других замороженных десертов появились многочисленные инновации, и в 1950 - 60-х гг. желатин был заменен полисахаридными камедями благодаря их улучшенным функциональным свойствам и невысокой стоимости. Разработаны также сочетания стабилизаторов, обеспечивающие требуемые функциональные свойства смесей для мороженого с определенными характеристиками в тех или иных условиях производства, легко диспергируемые, растворяющиеся при определенных температурах. Совершенствование пищевых технологий вносит свой вклад в успешное применение стабилизирующих смесей для достижения высокого качества замороженных десертов [47, 62].

При использовании моностабилизаторов, приведенных в табл. 5, сроки хранения мороженого пломбир при температуре не выше минус 30 ºС не превышал 4, 5 месяцев, а при температуре -20±2 ºС – 3 месяца (таблица 6) [49, 53].

Моностабилизатор – пищевой ингредиент или пищевая добавка, индивидуально применяемая для стабилизации структуры мороженого.

Таблица 5 - Массовые доли моностабилизаторов для мороженого пломбир традиционной технологии

Стабилизатор	Массовая доля стабилизатора в пломбире, %, не менее
Желатин пищевой	0,3
Агар и агароид пищевые	0,3
Альгинат натрия пищевой	0,2
Крахмал желирующий	1,5
Мука пшеничная хлебопекарная	2,0
Крахмал картофельный пищевой	2,0
Казеинат натрия	1,0
Метилцеллюлоза	0,3
Пектин	0,2
Крахмал картофельный карбоксиметиловый (КМК)	0,5

Таблица 6 - Допустимые сроки хранения мороженого пломбир традиционной технологии при различных температурах

Мороженое	Срок хранения, месс., при температуре		
	не выше -30 ºС	-24±2 ºС	-20± ºС
Пломбир без наполнителя	4,0	3,5	3,0
с наполнителем	4,0	3,5	2,0
Пломбир фасованный без наполнителя	4,5	4,0	2,0
с наполнителем	4,5	4,0	2,0
в глазури	3,0	2,5	2,0

В процессе хранения постепенно происходит нежелательное укрупнение кристаллов льда и лактозы. Это проявляется тем быстрее, чем выше температура хранения, более значительны ее колебания и дольше срок резервирования.

Укрупнение кристаллов льда является следствием нескольких протекающих одновременно процессов. В частности, можно предполагать, что в процессе хранения мороженого постепенно ухудшается способность стабилизаторов и

других компонентов (например, белков) связывать воду. Ранее связанная вода освобождается и замерзает, способствуя укрупнению кристаллов [53].

Изменения размеров пузырьков воздуха, происходящие на стадии закалки, могут быть описаны четырьмя процессами: диспропорционирование (созревание Оствальда, миграция газа от маленьких воздушных пузырьков к пузырькам большего размера). Это приводит к исчезновению самых маленьких и росту больших пузырьков, коалесценция (слияние соседних пузырьков), дренаж (приводящий к неравномерному распределению воздуха, особенно при повышенных температурах, когда мороженое становится мягким) и изменение формы воздушных пузырьков под влиянием растущих при закаливании кристаллов льда, что приводит к «проколу» поверхности воздушных пузырьков. Существует и кумулятивный эффект, который дестабилизирует структуру в целом, благодаря действию всех факторов.

Роль того или иного механизма зависит от конкретных условий, рецептуры смеси и температуры. Дестабилизация воздушной фазы с протеканием возможных процессов изображены на рисунке 8.

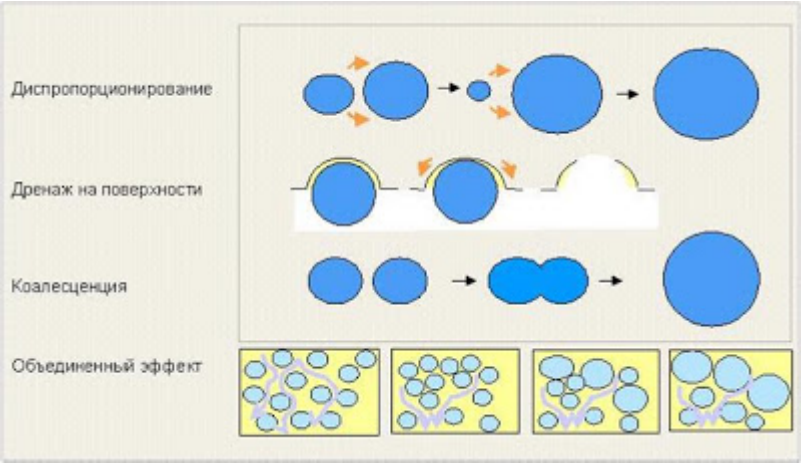


Рисунок 8 – Процессы, протекаемые в воздушной фазе мороженого

Количество и тип необходимой для производства мороженого композиции «стабилизатор/эмульгатор» зависит от состава смеси используемых ингредиентов, продолжительности переработки, температуры и давления гомогенизации, температуры и продолжительности хранения и других факторов. Обычно в смеси для мороженого используют 0,2 – 0,5% смеси стабилизатора с эмульгатором.

Чрезмерное внесение стабилизатора в смесь приводит к появлению в мороженом дефекта, называемого «резиноподобностью», - в этом случае продукт во рту тает недостаточно быстро, как бы пережевывается. Некоторые стабилизаторы дают такое ощущение даже в низких концентрациях, поэтому при составлении рецептуры комплексной стабилизационной системы важно определить оптимальное соотношение концентрации стабилизаторов [10, 118].

«Стабилизаторы состоят из очень крупных макромолекул полимеров и обладают способностью взаимодействовать с водой посредством гидратации и набухания, благодаря чему они занимают большой объем, а при достаточной концентрации способны к межмолекулярному взаимодействию, образуя из молекул полимера сетчатую или ячеистую структуру. Это свойство существенно изменяет реологические свойства растворов, из-за чего эти вещества зачастую называют гидроколлоидами» [84].

В качестве стабилизаторов используют продукты растительного, животного, и микробного происхождения (рисунок 9) [2].

Функциональные свойства этих гидроколлоидов различаются, их можно изменить путем воздействия на химический состав структуры природных форм. Отдельные гидроколлоиды, независимо от их типа, редко выполняют все требуемые функции. Каждый из них оказывает специфическое воздействие на консистенцию, текстуру, профиль таяния и стабильность мороженого при хранении, в связи с чем для обеспечения синергизма отдельные вещества обычно объединяют в смеси стабилизаторов и эмульгаторов. Для определения нужного сочетания и концентраций нескольких гидроколлоидов, обеспечивающих требуемые по рецептуре и назначению изделия функциональные свойства, требуется большой объем экспериментальных исследований [10].

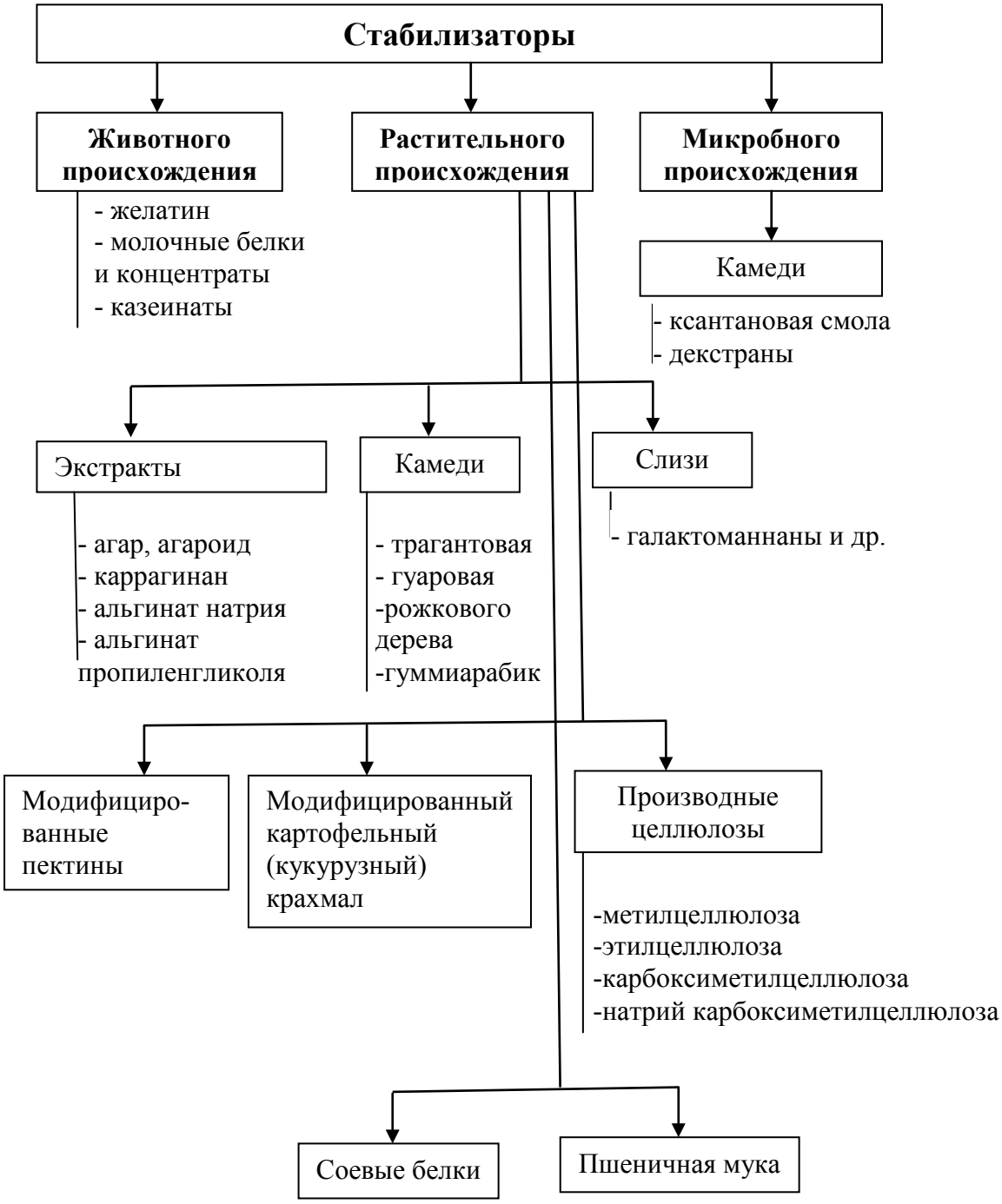


Рисунок 9 – Классификация стабилизаторов, применяемых при производстве мороженого

Чаще всего для создания и стабилизации структуры в мороженом используют комбинированные (комплексные) стабилизаторы - эмульгаторы (КСЭ). КСЭ состоят, как правило, из 1 или 2 эмульгаторов и нескольких стабилизаторов (2 - 4) .

Единовременное использование в составе КСЭ эмульгаторов и стабилизаторов обусловлено стремлением достичь от их применения эффекта совместного действия. КСЭ получают путем механического смешивания составляющих и диспергированием смеси гидроколлоидов в расплавленный эмульгатор [64]. Основные КСЭ, используемые в производстве мороженого в России: «Кремодан SE 709», «Кремодан SE334», «Палсгаард 5924», «Палсгаард 5925», «Шерекс IC9170» [10, 63, 118].

1.2.2Использование пищевых волокон и крахмалов в пищевой промышленности

Пищевые волокна (балластные вещества, неусвояемые углеводы, клетчатка) – большая группа компонентов пищи, которые не перевариваются в желудочно-кишечном тракте человека [35].

К ним относят нерастворимые волокна (целлюлозы и гемицеллюлозы), а также образующие высоковязкие растворы гидроколлоиды (гуаровая камедь, пектины и др.) и не оказывающие заметного влияния на вязкость (гуммиарабик, фруктоолигосахариды и др.) растворимые волокна. Влияние пищевых волокон на здоровье человека зависит от их физико-химических свойств. Употребление волокон в пищу улучшает работу кишечника и снижает риск возникновения рака прямой кишки, ожирения и диабета [3].

Пищевые волокна – это разнообразные по составу и строению полимеры природного происхождения. Термин «пищевые волокна» является биологическим, а не химическим, так как отражает не химическое строение этих веществ, а их поведение в организме человека [78].

Функциональные свойства пищевых волокон связаны в основном с работой желудочно-кишечного тракта (рисунок 6).

Продукты, с высоким содержанием ПВ, требуют обычно более тщательного пережевывания. В желудке волокна связывают воду, что в совокупности делает пищу более сытной при незначительной энергетической ценности самих волокон [78].

Пищевые волокна характеризуются разнообразными физико-химическими свойствами: водоудерживающей способностью, растворимостью в воде, способностью образовывать растворы различной вязкости и гели, проявляют сорбционные и ионообменные свойства [32].

Рисунок 6 – Действие пищевых волокон в кишечнике

Пищевые волокна в последние 10 лет служат объектом внимания для изучения физиологов и технологов [41].

Большой интерес вызывает использование инулина как растворимого пищевого волокна с пребиотическими свойствами, способствующего росту и повышению активности полезных микроорганизмов, особенно бифидобактерий [3].

В небольших концентрациях инулин значительно повышает ощущение сливочности, что важно при потреблении маложирных молочных продуктов –

йогуртов и сыров, замороженных десертов, мясных спредов, соусов, супов и столовых спредов с непрерывной жировой фазой.

В пищевых продуктах инулин используют в связи с его нутритивными и технологическими свойствам, причем зачастую достигается двойной эффект, а именно улучшение органолептических свойств и повышение сбалансированности нутриентов в рецептуре. Необходимо особо отметить использование инулина как пищевого волокна практически во всех видах пищевых продуктов. Инулин в пищевых системах на водной основе обладает свойствами заменителя жира [3, 110].

В пищевой промышленности применяют практически весь спектр природных пищевых волокон. Профессор А.А. Кочеткова высоко оценивает свойства ПВ: «сама природа пищевых волокон не имеет решающего значения на оказываемый благоприятный эффект на организм. Если рассмотреть совокупность свойств всех перечисленных препаратов пищевых волокон, включая их переносимость, калорийность, тип усвоения, влияние на постпищевую гликемию и т.п., а также технологические параметры процесса производства продукции, можно сделать вывод, что окончательное предпочтение далеко не столь однозначно, и для выбора определенного препарата необходима суммарная оценка их свойств»[41].

Рынок растворимых волокон превосходит рынок нерастворимых.

При производстве продуктов питания среди нерастворимых ПВ наиболее широко применяется целлюлоза в качестве компонента стабилизирующего эмульсию и как добавка, препятствующая слеживанию и комкованию (в производстве замороженных полуфабрикатов, хлебобулочных изделий, макаронных изделий и т.д) [54].

Дозировки производных целлюлозы в пищевых продуктах определяются функциональными или технологическими задачами.

Целлюлозу выпускают в двух модификациях: микрокристаллической (E460i) и порошкообразной (E460ii). Наиболее распространенные из них:

метилцеллюлоза (Е461), карбоксиметилцеллюлоза (Е466), гидроксипропилметилцеллюлоза (Е464), гидроксипропилцеллюлоза (Е463).

Растворимые пищевые волокна представлены полисахаридами растений (пектины, инулин, камеди и слизи и др.), микробного происхождения (камеди),морских водорослей (альгинаты, каррагинаны и агароиды) [54].

ПВ в производстве пищевых продуктов применяются в небольших количествах. В качестве функциональных ингредиентов ПВ необходимо вносить в продукт в количествах, близких к физиологическим нормам [54].

Примеры технологического использования пищевых волокон в производстве мучных и кондитерских изделий, молочных и жировых продуктов, напитков приведены в табл. 3 [18].

Таблица 3- ПВ в производстве пищевых продуктов

Продукт	ПВ	Технологическая роль
Десерты на молочной основе	Пектины	Образование геля, повышение вязкости, стабилизация структуры
Десерты на водной основе	Каррагинаны	Гелеобразование, повышение вязкости
Йогуртные продукты	Камедь рожкового дерева	Образование эластичных гелей, стабилизация структуры
Мороженое	Альгинаты, каррагинаны, гуаровая камедь	Повышение вязкости, стабилизация структуры
Полуфабрикаты (замороженные)	Микрокристаллическая целлюлоза	Улучшение стабильности теста при замораживании, оттаивании и выпечке
Вафли	Волокна из пшеницы и целлюлозы	Уменьшение ломкости и гигроскопичности вафельного листа
Фруктовые начинки	Каррагинаны, пектины	Гелеобразование, повышение вязкости, предотвращение вытекания начинок

Основными промышленными источниками крахмала являются кассава (тапиока), кукуруза (маис), картофель и пшеница, причем важность той или иной культуры для разных регионов неодинакова и зависит от многих условий, прежде всего климатических. К менее важным источникам крахмала относят рис, горох, батат и золотистую фасоль [3].

Поскольку крахмал является материалом с очень разными свойствами, он применяется во многих отраслях промышленности, и при поиске новых

возможностей его использования необходимо постоянно следить за тенденциями рынка [3].

Все крахмалы нетоксичны и безопасны для здоровья, что позволяет выращивать крахмалосодержащие растения и получать крахмал в условиях, отвечающих самым высоким производственным стандартам. Управлением по контролю пищевых продуктов и лекарственных препаратов США (FDA) и Европейским Союзом эти пищевые ингредиенты признаны безопасными для здоровья[3, 12].

В мире производится более 60 млн. т крахмала, четверть которого используется в нативном виде, примерно столько же расходуется на производство модифицированных крахмалов, оставшаяся часть перерабатывается на сахаристые продукты[12].

Крахмал является биополимером, который синтезируется растениями и служит своеобразным депо углерода и энергии. В отличие от других полисахаидов растений, например целлюлозы и пектиновых веществ, крахмал в источниках сырья не выполняет никаких структурных функций. Напротив, в пищевых продуктах крахмал является структурообразующим агентом в результате трансформации в процессе тепловой обработки пищевого продукта. Загущающие и гелеобразующие свойства крахмала проявляются в ходе гидротермической обработки, поэтому его считают вторичным структурообразующим агентом [38, 94].

В результате тепловой обработки крахмала в присутствии воды образуются системы, которые по своей природе являются коллоидными и проявляют разнообразные реологические свойства – от простых вязких жидкостей до очень упругих гелей. Именно это разнообразие способствует широкому технологическому применению крахмала [22, 38].

При рассмотрении эффекта клейстеризации крахмала принимают во внимание, что термодинамические свойства воды как растворителя усиливаются с повышением температуры [85], происходит возрастание степени разрушения водородных связей, что приводит к активизации внутренней структуры молекул

крахмала. Поэтому нагревание крахмала в присутствии воды способствует набуханию и растворению крахмала, что приводит к значительному увеличению вязкости.

В производстве мороженого применяют крахмалы нативные и модифицированные. Крахмал относят к высокомолекулярным несахароподобным полисахаридам. Крахмал представляет собой смесь двух типов полимеров, состоящих из остатков глюкопиранозы (амилозы и амилопектина) [64] .

Крахмал состоит из мельчайших зерен [64], хорошо видимых под обычным микроскопом. При комнатной температуре крахмальные зерна не растворяются в воде. При температуре 60-75 ºС набухают, образуя в воде коллоидный раствор высокой вязкости. При охлаждении раствора вязкость увеличивается и при достаточной концентрации коллоидного раствора он превращается в гель.

Нативные крахмалы не являются эффективными стабилизаторами. Для повышения гидрофильности крахмалы подвергают модификации. Модификация крахмалов связана с введением в их структуры активных химических веществ [42, 44, 45, 47].

Загущающие и гелеобразующие свойства крахмалов определяются в основном микроструктурой системы, которая в свою очередь зависит от условий обработки и природного источника крахмала [38].

В основу классификации обширной группы модифицированных крахмалов положен вид измененной структуры и свойств исходного материала (нативного крахмала) – в результате его физической, химической, биохимической или комбинированной обработки [12].

Способы модификации и крахмалы, получаемые в результате этих процессов, показаны на схеме, приведенной на рис. 7.Способы модификации зачастую могут применяться в различных сочетаниях [3].

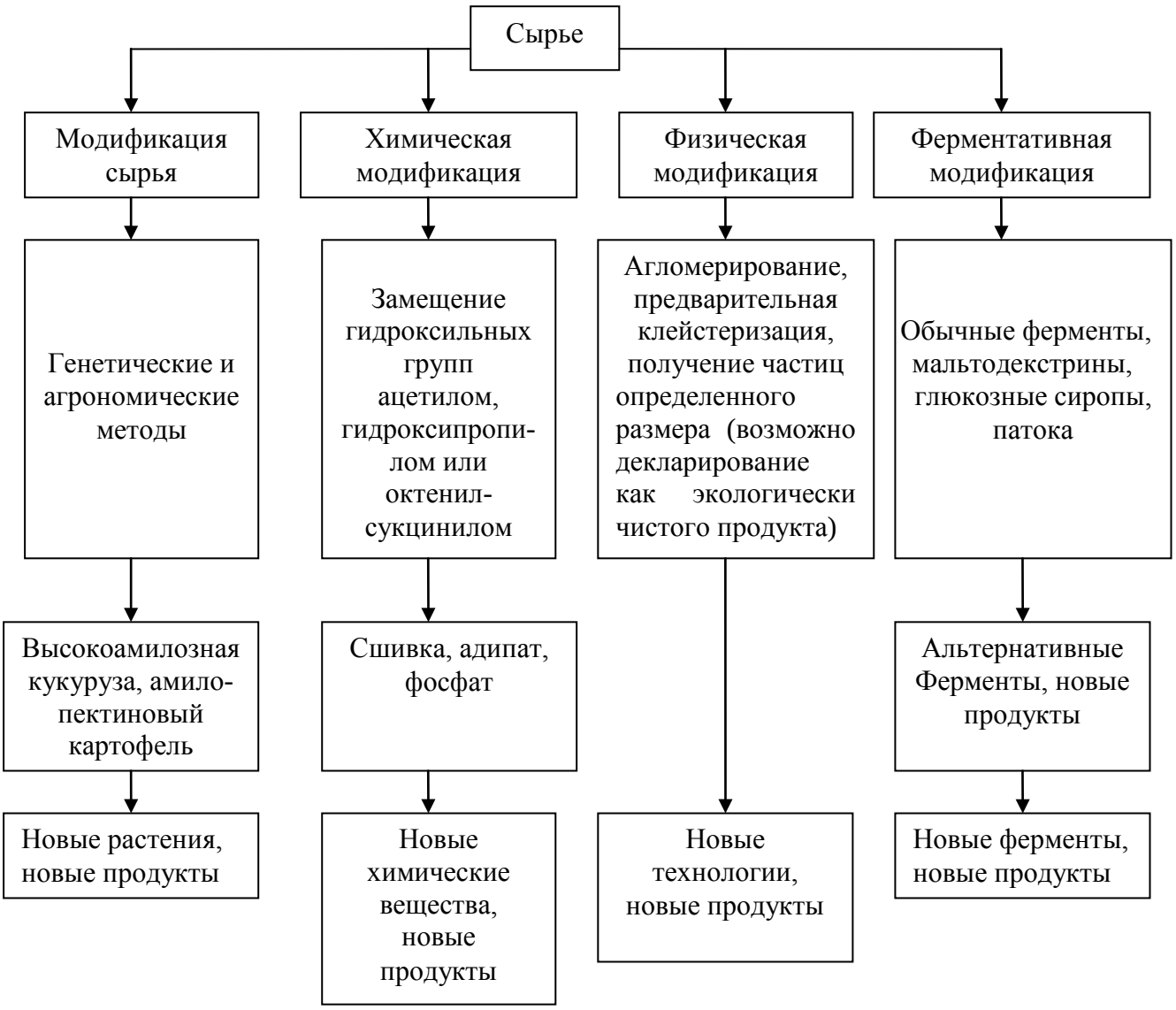


Рисунок 7 – Основные способы и продукты модификации крахмала

Известно несколько способов физической модификации крахмалов, которые можно разделить на следующие группы:

• предварительная клейстеризация в целях получения набухающего в холодной воде крахмала, что позволяет устранить необходимость нагревания при его использовании;

• изменение формы гранул (например, за счет агломерации), создание крахмалов с более мелкими или, наоборот, более крупными гранулами;

• получение крахмалов с заданным распределением размеров гранул;

• получение крахмалов с пониженным содержанием влаги и увеличенным сроком хранения;

• получение крахмалов с измененной набухаемостью путем тепловой обработки, изменения содержания влаги или значения pH.

Интерес к физически модифицированным крахмалам в последние годы возрос, что обусловлено стремлением к «экологически чистой маркировке». Физические способы модификации применимы к крахмалам из разных источников [3, 73].

Для максимального проявления загущающей способности крахмал должен сохранять свою гранулярную структуру. Как загуститель крахмал используется, прежде всего, в приготовлении супов и соусов [3].

Крахмалы широко применяются в колбасном производстве. Их вводят в эмульсии для повышения вязкости фарша и высвобождения воды [11, 56]. Использование крахмала позволяет повышать выходы и биологическую ценность мясных продуктов.

В настоящее время на российском рынке появился широкий ассортимент улучшенных крахмалосодержащих добавок, как импортного, так и отечественного производства. В первую очередь это так называемые модифицированные крахмалы, получаемые с помощью комбинированной физико-химической обработки.

В зависимости от характера воздействия на исходный природный крахмал получаются различные типы модифицированных продуктов.

Набухающие крахмалы чаще всего изготовляются на паровых вальцовых сушилках. В процессе обработки крахмал подвергается воздействию физических факторов: температуры и давления [75].

Некоторые примеры инноваций в производстве крахмала приведены в табл. 4 [3].

Таблица 4 - Примеры инноваций в технологии крахмала

Тип модификации	Тип крахмала или крахмалопродуктов или их технологические свойства	Бренды или торговые марки
Новое сырье или более широкое применение известного сырья	Гороховый крахмал Амилопектиновый картофельный крахмал Амилопектиновый пшеничный крахмал	Разные ELIANE HOME CRAFT
Химическая	Регулирование технологических свойств, набухаемости или гелеобразования	Разные
Физическая	Агломерированный крахмал «Экологически чистое» этикетирование Распылительной тепловой обработки	Разные **NOVATION** Разные
Ферментативная	Мальтодекстрины с низким ДЭ Крахмалы с удлиненной цепью	Разные ETENIA

Крахмалы серии «Novation» компании «Ingredion Holding LLC» [31] (Германия) получают из отборного сырья (корней маниоки) с помощью специальной технологии, предусматривающей применение термомеханических режимов обработки. Химическая модификация не используется, что позволяет классифицировать крахмалы «Novation» как пищевые ингредиенты, а не пищевые добавки.

Благодаря составу тапиоки крахмалы характеризуются высокими влагоудерживающими и структурообразующими свойствами [70].

Крахмалы применяют в производстве всех видов мороженого. Их используют в количествах 2-3% (нативные), 1-1,5% (модифицированные отечественного производства), карбоксиметилкрахмал и другие эфиры крахмалов [64] – 0,5% [47].

1.3 Роль стадий технологического процесса в формировании структуры мороженого

Чтобы получить мороженое требуемого качества, необходимо правильно определить химический состав смеси для мороженого и сырьевые ингредиенты нужного качества [10].

Каждая из стадий технологического процесса производства мороженого имеет свое значение в формировании его структуры [63].

В процессе смешивания компонентов важно получить однородную смесь, что достигается последовательным введением компонентов и перемешиванием [64]. Традиционно в России процесс смешивания компонентов вели при температуре, близкой к 40 ºС. При такой температуре удается растворить сухие молочные компоненты и сахар-песок, однако основная составляющая часть стабилизационных систем остается в виде взвеси. При последующем процессе фильтрования нерастворенные частицы стабилизационных систем частично оседают на фильтрах, а при проведении процесса пастеризации трубчатых и пластинчатых теплообменниках образуют пригар на внутренней поверхности труб и пластин. Все это приводит к механическим потерям стабилизационных систем, а их недостаточное количество [64] отрицательно сказывается на формировании структуры в мороженом и ее сохранности в процессе холодильного хранения.

Избежать потерь стабилизационных систем можно при повышении температуры смешивания компонентов до 60-65 ºС. При такой температуре смешивают компоненты на большинстве предприятий за рубежом [64].

С целью достижения наиболее полного диспергирования стабилизационных систем применяют различные меры. Одна из них – создание частиц с легко диспергируемой формой. Форму частиц чаще всего меняют в процессе их диспергирования – распыления гидроколлоидов в расплавленном эмульгаторе. В результате этого процесса происходит образование шарообразных частиц размером около 500 мкм, состоящих снаружи из оболочки эмульгатора, а внутри –

из смеси частиц гидроколлоидов [64]. При введение таких частиц в жидкие компоненты происходит их диспергирование на большое число частиц [49,63].

Улучшается диспергирование частиц стабилизационных систем также:

- в результате их предварительного смешивания с сахаром – песком (сухим молоком) в соотношении 1: 3-5 и медленного введения в зону интенсивного перемешивания в смесительной емкости;

- при предварительном непродолжительном диспергировании стабилизационных систем в расплавленном масле, сахарном сиропе, растворе спирта в соотношении 1:3 и последующее введение дисперсии в емкость для смешивания;

- при постепенном введении стабилизационных систем через смесительную воронку в емкость с интенсивным перемешиванием и рециркуляцией смеси.

Пастеризация и гомогенизация смесей для мороженого – два обязательных последовательных процесса [64, 73].

Пастеризация способствует:

- существенному снижению численности вегетативных и уничтожению патогенных микроорганизмов в смеси, которые могут присутствовать в ингредиентах;

- лучшему растворению сухих ингредиентов;

- более полному смешиванию ингредиентов и повышению однородности продукта;

- более полному проявлению вкуса и аромата смесей. [10].

В период пастеризации необходимо достичь того, чтобы все стабилизаторы перешли в коллоидную степень дисперсности. Это особенно важно для таких гидроколлоидов как камедь рожкового дерева, альгинаты, каррагенан, пшеничная мука и большинство разновидностей крахмала [63, 64].

Гомогенизацию смеси для мороженого проводят с целью получения эмульсии прямого типа "жир в воде" с преобладанием жировых шариков диаметром 1 мкм [10, 63].

Определяющими параметрами стадии гомогенизации являются давление гомогенизации, и температура смеси, с которой она поступает на данную операцию.

При проведении гомогенизации важно определить оптимальные режимы процесса. Температура при гомогенизации должна быть не менее [64] 65 °С. Давление гомогенизации зависит от м.д.ж. и источника жира (сливочное масло, сливки или растительный жир).

Основная цель гомогенизации заключается в получении стабильной и однородной эмульсии. Когда смесь хорошо гомогенизирована, жир не способен отстаиваться. Гомогенизированный жир дестабилизируется (подвзбивается) во фризере очень медленно, поэтому обычно требуются эмульгаторы, обеспечивающие определенную степень взбитости [27, 73, 86, 103].

Для создания относительно стабильной эмульсии гомогенизация требуется для любой смеси, содержащей жир. Источниками жира могут быть сливочное масло, безводный молочный жир, фракционированный молочный жир, высокожирные сливки, замороженные сливки, растительные масла и заменители молочного жира.

Гомогенизация осуществляется путем пропускания смеси через небольшое отверстие гомогенизатора при соответствующем давлении (создаваемом поршневым насосом) и температуре [10, 105].

В России длительное время применяли давление гомогенизации на 20 – 30 % ниже рекомендуемого в табл. 7. Такие рекомендации были предопределены длительным опытом производства мороженого в России, основанном на использовании в качестве стабилизационных систем гидроколлоидов. При этом считали степень гомогенизации достаточной, если отсутствовали скопления жировых шариков, а средний размер жировых шариков не превышал 2 мкм [27].

Таблица 7 – Рекомендуемое давление гомогенизации

Массовая доля жира в смеси, %	Давление гомогенизации, МПа		
	Источники жира		
	Сливки	Сливочное масло	Растительный жир
до 6	22,5-23,5	21,0-22,5	19,0-22,0
от 6 до 10	18,0-22,5	16,0-21,0	13,5-19,0
от 10 до 12	12,5-18,0	11,0-16,0	10,0-13,5

Эффективность гомогенизации определяется размерами жировых шариков и количеством жировых скоплений. В правильно гомогенизированной смеси жировые шарики должны располагаться раздельно и не должны заметно отличаться по размеру (крупных шариков не должно оставаться) [47, 61, 73].

В хорошо гомогенизированной смеси мороженого диаметр жировых шариков не должен превышать 2 мкм. При наличии в смеси жировых агломератов обладают наиболее высокой вязкостью и при фризеровании дают низкую взбиваемость [2].

Нарушение режимов гомогенизации приводит к дестабилизации жира при фризеровании и ухудшению консистенции готового продукта – появлению жировой крупки.

Гомогенизированные смеси имеют преимущества перед негомогенизированными: за счёт повышения дисперсности жира при созревании и хранении не происходит его отстоя; мороженое получается более нежным, пластичным; при фризеровании смесь лучше взбивается (без образования крупинок масла), а при закаливании формируются мелкие кристаллы льда [2, 27].

Гомогенизированную смесь быстро охлаждают до температуры 0…6 ºС (с помощью пластинчатых автоматизированных установок) с целью создания неблагоприятных условий для жизнедеятельности микроорганизмов, а также для подготовки смеси к следующему процессу обработки – созреванию [47, 74].

В процессе созревания происходит гидратация белков молока и стабилизатора, дальнейшая адсорбация различных веществ, содержащихся в

смеси, на поверхности жировых шариков [47]. Все это приводит к повышению вязкости смеси. Отвердевает жир в жировых шариках, происходят структурные изменения в оболочке на жировых шариках, способствующие при фризеровании смеси частичной дестабилизации жировой фазы и стабилизации воздушных пузырьков. Все эти процессы положительно влияют на формирование структуры мороженого [47].

Улучшение структуры мороженого, вызываемое созреванием смеси, объясняется главным образом гидратацией молочных белков и стабилизатора [47, 50].

Термин «мороженое» обязательно включает слова «взбитый» и «замороженный» продукт. Взбитым и замороженным мороженое становится в процессе фризерования при частичном замораживании и насыщении воздухом [64] специально приготовленной смеси [63].

В процессе фризерования происходит снижение температуры смеси с 4-6 ºС до минус (4-5) ºС, формируются кристаллы льда и воздушные пузырьки [64]. Процесс кристаллизации влаги во фризере происходит очень быстро. В этот период образуется большое число центров кристаллизации в результате переноса вращающимися лопастями мешалки кристаллов льда от стенки фризера, где они создаются, в массу продукта. Вязкость продукта во фризере по сравнению с исходной заметно возрастает. При закаливании мороженого – процессе, следующем за фризерованием, кристаллообразование влаги затруднено из-за эффекта переохлаждения [64]. Поэтому новые кристаллы не образуют собственных центров кристаллизации и располагаются на уже существующих центрах кристаллизации. Чем больше центров кристаллизации образовалось в процессе фризерования, тем более мелкими будут кристаллы льда в мороженом. Число центров кристаллизации в мороженом в значительной степени зависит от доли вымороженной влаги во фризере. В мороженом с массовой долей сухих веществ около 34-35% при температуре минус 5 ºС доля вымороженной влаги составит около 45% [26, 64].

Важно не только выдерживать температуру мороженого на выходе из фризера на уровне минус 4-5ºС, но и еще максимально ее понизить. Например, понижение температуры мороженого на выходе из фризера до минус 7ºС позволило бы увеличить долю вымороженной влаги на 12-24% и повысить вязкость фризеруемой массы.

Взбитость: выраженное в процентах отношение разности масс смеси и мороженого одного и того же объема к массе мороженого. Взбитость мороженого (В, %) вычисляют по формуле:

$$B = \left(\frac{M_2 - M_3}{M_3 - M_1}\right) \times 100\% \qquad (1)$$

где M_2 – масса стакана, заполненного смесью, г;

M_3 – масса стакана, заполненного мороженым, г;

M_1 – масса стакана, г;

100 – коэффициент пересчета отношения в проценты, %.

Для сливочного мороженого и пломбира достигается взбитость 90…120%, для молочного – 50…60% (фруктовых десертов – 40…60%).

Мороженое при недостаточной взбитости характеризуется слишком плотной консистенцией и грубой структурой. Мороженое с оптимальной взбитостью тает медленнее [47].

Фризерование смеси – одна из самых важных технологических операций в производстве мороженого, поскольку от нее зависят качество и выход готового продукта.

Как правило, замораживание проводится в два этапа. Первый – это динамическое замораживание (фризерование), при котором смесь быстро замораживается и насыщается воздухом с образованием мелких кристаллов льда. Второй – это статическое замораживание (закаливание), в ходе которого частично замороженный продукт подвергается дальнейшему замораживанию без перемешивания в специальных низкотемпературных камерах в условиях быстрого отвода теплоты. При образовании кристаллов льда в ходе фризерования происходит также диспергирование пузырьков воздуха и перераспределение

жировых глобул (шариков), а в ходе закаливания уже образовавшиеся кристаллы льда по мере снижения температуры увеличиваются в размерах, но при этом новые кристаллы уже не образуются [10].

Структура мороженого определяется главным образом формой и размерами кристаллов льда. Чем они мельче и равномернее распределены в общей массе мороженого, тем лучше его качество [47].

Формирующиеся в мороженом в процессе фризерования воздушные пузырьки, их размеры, равномерность распределения, объемная доля воздуха в продукте также оказывают большое влияние на структуру и вкусовые достоинства мороженого.

Способность смесей к насыщению воздухом (взбиваемость) обусловливается их составом и технологическими режимами обработки, видом и количеством введенной стабилизационной системы. Объемная доля воздуха в мороженом и размеры воздушных пузырьков зависят также от конструктивных особенностей фризера (частота вращения мешалки и ее форма, принудительная подача воздуха и др.), степени заполнения цилиндра смесью (во фризерах периодического действия) [47].

В последнее время появился ряд новых технологий производства замороженных десертов и аналогичных им продуктов, в том числе непосредственно криогенное замораживание, например, в жидком азоте.

Жидкий азот, температура кипения которого при атмосферном давлении составляет – 196 °С, позволяет быстро замораживать смесь для мороженого и закаливать мороженое (ускоренная закалка мороженого жидким азотом часто применяется в малотоннажном производстве) [10, 104].

Для получения кристаллов льда с высокой дисперсностью процессом замораживания необходимо управлять - в частности, скоростью образования зародышей и ростом кристаллов. Для получения большого числа мелких кристаллов условия замораживания должны способствовать формированию зародышей и минимизировать рост кристаллов льда, для чего в соответствующей точке технологического процесса требуются очень низкие температуры [10].

Выходящее из фризера мороженое быстро фасуют и немедленно направляют на закаливание, так как при задержке часть закристаллизованной воды может оттаять, что в дальнейшем приведет к образованию крупных кристаллов льда.

Во время закалки необходимо, как и при фризеровании, стремиться замораживание воды провести быстро. Нельзя допускать колебаний температуры в камерах. При повышении температуры лед начнет таять, при последующем понижении температуры вода будет выкристаллизовываться на оставшихся кристаллах и произойдет значительное увеличение их размера, а готовое мороженое приобретает грубую структуру и консистенцию [2].

В процессе закаливания температура мороженого понижается до -15…- 18 ºС. При этом вымораживается 75…85% общего количества воды, содержащегося в мороженом. Полная кристаллизация воды невозможна, т.е. льдообразование практически заканчивается при температуре около – 30 ºС [2, 47].

Процессы, протекающие при фризеровании, являются определяющими для формирования кристаллов льда, введения воздуха (взбивание) и образования мелких воздушных пузырьков, а также дестабилизации жировой эмульсии. Все эти факторы существенно влияют на получение высококачественного мороженого с требуемыми физическими свойствами. Они должны присутствовать независимо от используемой технологии получения конечного продукта [10].

Первый этап формирования льда - зарождение центров кристаллизации, когда формируются ядра (центры кристаллизации). Образование льда начинается обычно тогда, когда продукт охлаждают до начальной точки замерзания (криоскопической температуры), либо чуть ниже этой точки. Второй фазой кристаллизации является рост ядер кристаллов с последующим построением кристаллических блоков [8, 59].

В зависимости от температуры выгрузки из фризера и состава мороженого на стадии фризерования кристаллизуется от 33 до 67% изначально присутствующей в смеси воды, а на стадии закалки дополнительно кристаллизуется еще 23 - 57%. Стоит отметить, что новые кристаллы льда не

образуют собственные центры кристаллизации и располагаются на уже существующих центрах кристаллизации. Чем больше центров кристаллизации образовалось в процессе фризерования, тем более мелкими будут кристаллы льда в готовом продукте [63].

Для получения требуемого количества кристаллов нужного размерам и формы необходимо контролировать процесс фризерования. Один из подходов заключается в контроле относительных скоростей образования зародышей кристаллов (нуклеации) и роста кристаллов. Для образования большого количества мелких кристаллов условия фризерования должны способствовать нуклеации и минимизировать рост кристаллов льда [102].Для этого на соответствующих технологических стадиях требуются очень низкие температуры. Для получения температур порядка – 30 ºС вблизи стенки цилиндра фризера в целях ускоренной нуклеации используют в основном сжиженный аммиак или фреон. После образования зародышей требуются уже другие условия, которые минимизировали бы рост кристаллов льда и сохранили их по возможности мелкими. Механизм всех этих процессов в цилиндре фризера до конца до сих пор не ясен, но для образования и сохранения большого количества мелких кристаллов контролировать эти процессы необходимо. В работах [93, 113] показано наличие обратно пропорциональной зависимости между пребыванием смеси в цилиндре фризера и размерами кристалла льда.

Для получения наиболее мелких кристаллов льда необходимо обеспечить максимально быстрое замораживание, при котором созревание собственно в цилиндре фризера минимизируется.

На свойства кристаллов льда в мороженом влияют также тип и массовая доля ингредиентов смеси. Эти ингредиенты влияют на формирование кристаллов льда и их рост двумя способами: 1) путем влияния на снижение криоскопической температуры и 2) воздействием на механизмы кристаллизации льда (нуклеацию, рост и созревание).

Снижение криоскопической температуры обусловлено в основном содержанием в смеси низкомолекулярных компонентов. Повышение

концентрации простых сахаров и солей дают более низкие криоскопические температуры и меньше количество образовавшегося при этих температурах льда. На механизмы кристаллизации льда влияют также конкретные компоненты смеси – так сахара и многие стабилизаторы снижают скорость нуклеации льда и/или роста кристаллов [10].

Благодаря регулированию давления и температуры можно контролировать размеры образующихся кристаллов льда и получать кристаллы со средним размером порядка 34 мкм (по сравнению с 40 мкм при традиционном фризеровании аналогичных систем) [10].

Разработкой и развитием теории кристаллообразования занимались Д. Гиббс, М. Фольмер [76], И.Н. Странский и др. «Классическая теория кристаллообразования основана на положение термодинамики об абсолютной устойчивости изолированной системы, если ее энтропия остается неизменной».

Теория, основанная на представлениях химической кинетики, предусматривает наличие в насыщенных и пересыщенных растворах дозародышевых ассоциатов, которые представляют собой комплексы из различного числа частиц некристаллической структуры [13, 79].

Существует несколько теорий о природе зародыша. Некоторые ученые (исследователи) полагают, что зародыш есть маленький кристалл [58]. Другие считают, что зародыш может представлять собой устойчивый комплекс молекул и ионов без кристаллической структуры. В процессе роста зародыша частица приобретает кристаллическую структуру [1, 5].

Образование зародышей, несмотря на их природу, подчиняется ряду общих закономерностей. Одной из них является скорость образования зародышей: «зависимость числа образующихся центров кристаллизации в единице объема за единицу времени от степени перенасыщения раствора. Чем выше перенасыщение, тем быстрее образуются зародыши с меньшими размерами»[13].

Зародышем может стать любая твердая частица (кристаллической структуры и не имеющая таковой), которая способна адсорбировать на своей поверхности молекулы (или ионы) кристаллизующегося вещества.

Зародышеобразование в присутствие кристаллов растворенного вещества называется вторичным зародышеобразованием [25, 33].

По мнению Л.Н. Матусевич: «причиной вторичного зародышеобразования может стать наличие возле поверхности кристалла полуупорядоченного слоя, который при движении раствора «смывается», способствуя образованию новых зародышевых центров» [40].

Кристаллы льда в процессе хранения мороженого могут увеличиваться, и существуют три пути, по которым это может происходить:

1) увеличение размера образовавшихся в процессе фризерования кристаллов льда при закаливании мороженого за счет домораживания свободной воды;

2) рекристаллизация перемещением в результате тепловых шоков мороженого – при повышении температуры происходит плавление мелких кристаллов льда, в результате чего они превращаются в воду, которая при последующем понижении температуры кристаллизуются на существующих кристаллах льда. Таким образом, происходит снижение количества и увеличение размера кристаллов льда;

3) сращивание (коалесценция) кристаллов льда наблюдается при незначительных колебаниях температуры в процессе хранения. Внутренняя вязкость уменьшается, что обеспечивает большую подвижность кристаллам льда. Мигрируя, они приходят во взаимодействие, слипаются друг с другом и образуют один объект. Это также приводит к снижению количества и увеличению размера кристаллов льда [4].

Ф. Барей исследовал действие таких факторов, как природа эмульгаторов, природа гидроколлоидов, природа углеводов на рост кристаллов льда.

Таким образом, очевидно, что часть компонентов, применяемых в производстве мороженого, могут выступать в роли инициаторов нуклеации, что позволяет управлять этим процессом при решении технологических вопросов в случаях целенаправленного изменения рецептур.

1.4 Выводы по обзору литературы

Анализ научно-технической литературы показал, что мороженое как замороженный аэрированный продукт, потребляемый в замороженном виде, характеризуется целенаправленно создаваемой структурой. Одним из основных структурных элементов мороженого являются кристаллы льда, дисперсность которых в значительной степени зависит от начальной и вторичной нуклеации. На нуклеацию влияет качественный и количественный нутриентный состав, параметры технологического процесса и, прежде всего, замораживания - динамичного во фризере и статичного в скороморозильных камерах. Нуклеацией можно управлять путем регулирования скоростью замораживания и введением компонентов, способствующих зародышеобразованию.

Управление нуклеацией особенно актуально при замене эффективных стабилизаторов-эмульгаторов на моностабилизаторы. В настоящее время это одна из актуальных тенденций в питании.

С учетом функциональной роли пищевых добавок, в том числе стабилизаторов структуры и консистенции, в условиях современного технического развития предприятий отрасли изготовить взбитые замороженные продукты без стабилизаторов и эмульгаторов довольно сложно.

Потребители в последнее время особое внимание уделяют «правильному питанию», поэтому существует необходимость в разработке продуктов питания с ограниченным применением пищевых добавок, в том числе мороженого.

В качестве ингредиентов, обладающих свойствами гидроколлоидов и способных выполнять функции стабилизаторов и эмульгаторов рационально использовать крахмалы физической модификации (КФМ) и пищевые волокна. Такие ингредиенты не подвергаются химическому воздействию, а значит, являются компонентами натурального происхождения.

При исследовании мороженого с КФМ и пищевыми волокнами следует учитывать его структурно-механические, физико-химические, микроструктурные и органолептические показатели в процессе хранения.

При разработке технологии мороженого с ограниченным применением пищевых добавок целесообразно использовать пищевые волокна и крахмалы физической модификации с синергетическим стабилизирующим эффектом. Для обоснования целесообразности их применения необходимо исследовать влияние крахмала и пищевых волокон на вязкость смесей для мороженого.

При разработке технологии мороженого пломбир с МС необходимо:

- исследовать параметры технологического процесса его производства с целью их оптимизации;

- исследовать влияние пищевых волокон и крахмалов физической модификации на физико-химические, структурно-механические, микроструктурные показатели в процессе хранения мороженого пломбир.

ГЛАВА 2 МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ, ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ, СХЕМА ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ

2.1 Организация экспериментальных работ

Исследования проводились в экспериментальной лаборатории мороженого Всероссийского научно-исследовательского института холодильной промышленности в рамках темы «Разработать механизм управления процессами физических изменений дисперсности воздушной фазы, кристаллов льда, лактозы при длительном хранении аэрированных замороженных десертов и рекомендации по созданию технологий их хранения».

Организация проведения экспериментальных работ приведена на схеме (рисунок 10).

2.2 Объекты исследований

В качестве объектов исследования использовали:

- мороженое пломбир и смеси для его производства;
- крахмалы физической модификации серии «Novation» компании «Ingredion Holding LLC» (Германия) (КФМ);
- пищевые волокна «SenseFi» фирмы «BORREGAARD» (Норвегия) (ПВ);
- пищевое волокно растительной клетчатки (НПВ);
- нативный картофельный крахмал;
- крахмалы химической модификации Е1442 и Е1422;
- желатин;
- комплексные стабилизаторы – эмульгаторы (КСЭ).

Рисунок 10 - Схема проведения экспериментальных исследований

2.3 Методы исследования

2.3.1 Структурно-механические исследования

Определение динамической вязкости смесей для мороженого

Метод основан на измерении сопротивления жидкости (смеси для мороженого) вращению шпинделя, обусловленного создаваемым крутящим моментом. Вязкость рассчитывали исходя из значения крутящего момента и коэффициента, зависящего от скорости вращения и характеристик шпинделя.

Исследования проводили с использованием реотеста Brookfield DV-II+Pro с программным обеспечением Rheocalc V3.1-1 (рисунок 11), на шпинделеSC4-31 с кюветой объёмом 10 см³. Исследования выполняли при постоянной температуре (4±0,5) °С.

Измерение проводили следующим образом: в кювету помещали предварительно подготовленный образец смеси объёмом 10 см³. Динамическую вязкость измеряли в диапазоне скоростей до 1 $с^{-1}$, продолжительность измерения вязкости при каждой скорости составляла 10 с. Каждое измерение проводили не менее чем в двух повторностях.

Полученные данные обрабатывали при использовании программы Rheocalc V3 1-1.

Рисунок 11 - Ротационный вискозиметр BrookField DV2+Pro

2.3.2 Микроскопические исследования

Состояние и дисперсность воздушной фазы

Метод основан на визуальной оценке микрофотографий, определении размеров воздушных пузырьков и математическом расчёте среднего диаметра, а также распределения воздушных пузырьков по размерам.

Исследование проводили с использованием подключённого к ПК светового микроскопа Olympus CX 41 со встроенной фотокамерой (рисунок 12). Использовали увеличение х 100. Каждый образец исследовали не менее чем в 3-х кратной повторности со съёмкой не менее 5 кадров в каждой повторности.

В дальнейшем полученные изображения обсчитывали в программе ImageScorpeM.

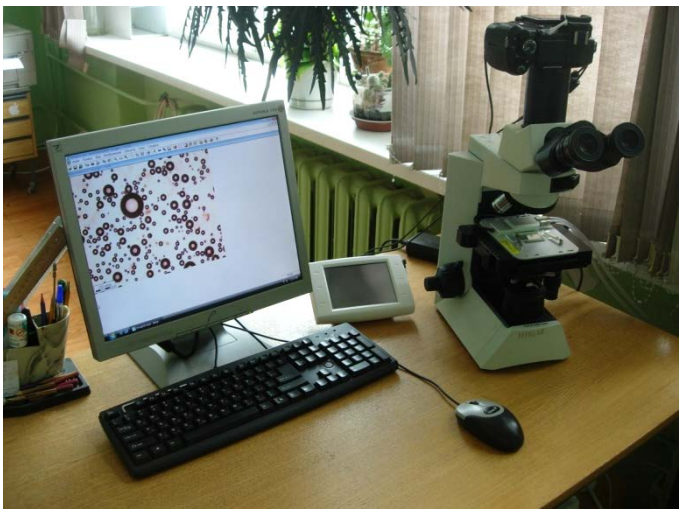


Рисунок 12 - МикроскопOLYMPUSCX41

Состояние и дисперсность кристаллов льда

Исследования проводили по методике определения кристаллов льда в мороженом и замороженных взбитых продуктах, утвержденной во ВНИХИ. В основу метода положен подход канадских учёных, во главе с S. Bolliger, изложенный в [86]. Метод доработан применительно к условиям исследований в части пробоподготовки.

Метод включает микрофотографирование объектов исследования встроенной фотокамерой светового микроскопа при температуре не выше минус 18°С, определение размеров кристаллов льда и математический расчёт распределения кристаллов льда по размерам.

Использовали подключённый к ПК световой микроскоп Olympus CX 41 с фотокамерой и термо- крио- столиком PE 120. Исследование проводили при увеличении х 100. Каждый образец исследовали не менее чем в 3-х кратной повторности со съёмкой не менее 5 кадров в каждой повторности.

В дальнейшем полученные изображения обсчитывали в программе ImageScorpeM.

Проводили качественную (микроструктурную) и количественную оценку (по кривым распределения частиц по размерам) дисперсности кристаллов льда.

Определяли средний размер кристаллов льда и долю кристаллов с размером до 50 мкм.

2.3.3 Исследования устойчивости к температурным воздействиям

2.3.3.1 Определение устойчивости образцов к таянию

Метод основан на изучении способности мороженого сопротивляться таянию в процессе выдерживания его при температуре (20±0,5) °С с дальнейшим определением массовых долей плава за определенный промежуток времени.

Исследование проводили с использованием термостата с температурой (20±0,5) °С и электронных весов с точностью взвешивания ±1 г.

Подготовку мороженого к исследованию проводили следующим образом: образец закаленного мороженого массой 150-200 г с температурой минус 18 °С, взвешивали в упаковке, не нарушая формы порции мороженого, освобождали от упаковки и помещали на сито. Упаковку взвешивали и ее массу учитывали при определении массы нетто пробы мороженого. Непосредственно под ситом устанавливали ёмкость для сбора плава, предварительно определив её массу.

Вес ёмкости с плавом фиксировали на электронных весах первый раз через 60 мин выдерживания, затем через каждые последующие 10 мин, в течение 2 часов.

При обработке результатов учитывали начальную массу нетто мороженого (формула 2), рассчитывали массу плава (формула 3) в каждый фиксируемый момент времени в г.

$$\mathrm{m}_{\text{нетто мор}} = \mathrm{m}_{\text{мор с упаковкой}} - \mathrm{m}_{\text{упаковки}} (2)$$

$$\mathrm{m}_{\text{плава}} = \mathrm{m}_{\text{плава с емкостью}} - \mathrm{m}_{\text{емкости}} (3)$$

Затем вычисляли массовую долю плава в % (формула 4), соответствующую каждому фиксируемому периоду измерения;

$$\omega \text{Массовая доля плава} = \frac{m_{\text{плава}}}{m_{\text{мор}}} \times 100 (4)$$

Все измерения проводили не менее чем в 3-х повторностях.

2.3.3.2 Определение формоустойчивости продукта

Метод основан на изучении способности мороженого сохранять форму в процессе выдерживания образцов при температуре (20±0,5)°С. Метод изложен в Методике определения формоустойчивости мороженого и взбитых замороженных десертов, утвержденной ВНИХИ.

Исследования проводили с использованием термостата с температурой (20±0,5) °С и цифрового фотоаппарата.

Подготовку пробы мороженого проводили следующим образом: из исследуемого образца с температурой минус 18°С металлическим пробником, предварительно выдержанным не менее 4 ч при температуре минус 18°С, отбирали пробу, помещали ее в заранее охлаждённую до температуры минус 18°С чашку Петри и затем переносили в термостат.

Образцы фотографировали сверху и под углом 45° сразу после установки в термостат и через каждые последующие 10 минут до полной потери образцами формы.

2.3.4Сущность метода ферментативного гидролиза лактозы

Гидролиз лактозы – это расщепление ее молекул с присоединением воды с образованием глюкозы и галактозы. Гидролиз происходит по месту кислородного мостика между глюкозой и галактозой. Он может протекать под воздействием тепла, кислот, гидролаз и специфических микроорганизмов.

В пищевом продукте целесообразно проводить ферментативный гидролиз лактозы, так как при его осуществлении не происходит повреждения белков, определяющих его пищевую ценность, в том числе за счет ферментации.

β-галактозидаза (лактаза) – фермент, по распространенности занимает одно из первых мест среди ферментов, относящихся к группе гидролаз, действующих на гликозидные соединения.β-галактозидаза ускоряет реакцию гидролитического отщепления нередуцирующих остатков β-D-галактозы в молочном сахаре — дисахариде лактоза. Она расщепляет связь между С 1- атомом остатка галактозы и гликозидным атомом кислорода (рисунок 13).

Источники для выделения этого фермента обширны и разнообразны.

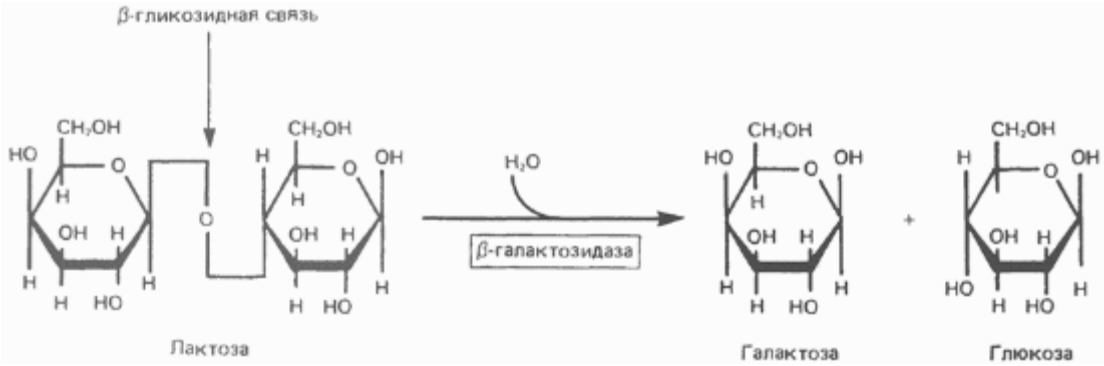


Рисунок13– Ферментативный гидролиз лактозы

В молочной отрасли чаще всего используют β-галактозидазы дрожжевого происхождения устойчивые к изменениям pH среды. Оптимальный диапазон pH для дрожжевых β-галактозидаз – от 6 до 7,2, что соответствует pH мороженого.

В результате гидролиза лактозы образуются моносахара, обладающие более высокой, чем исходное вещество, растворимостью. Последнее обусловлено наличием в их молекулах большого числа сильнополярных гидроксильных групп способных к образованию более значительного количества водородных связей по сравнению с лактозой.

В настоящей работе для определения степени гидролиза лактозы в мороженом был использован метод высокоэффективной жидкостной хроматографии (ВЭЖХ), приведенный в СТБ ISO 22662-2011 Молоко и молочные продукты. Определение содержания лактозы методом высокоэффективной жидкостной хроматографии (контрольный метод)".

Методика высокоэффективной жидкостной хроматографии позволяет фракционировать компоненты смеси, провести их идентификацию и количественное определение. ВЭЖХ проводится посредством прогона под давлением элюента с анализируемой смесью через разделительную колонку, наполненную адсорбирующим материалом. Взаимодействие каждого из элементов пробы с адсорбирующим веществом индивидуально, при этом скорости их потоков неодинаковы, что создает условия для разделения компонентов в процессе их прохождения через колонку.

Ферментативный гидролиз лактозы в мороженом проводили посредством ферментного препарата торговой марки "Lactozime 6500L".При внесении ферментного препарата учитывали рекомендации предприятия изготовителя. Производителем Lactozime 6500L рекомендуются оптимальные условия работы данного препарата: температура 30 - 45°С; pH 6,0 - 7,5; время гидролиза в среднем 4 часа. Ферментный препарат "Lactozime 6500L" вносили в смесь мороженого в количестве 0,08% при температуре созревания смеси 4 ºС.

2.3.5 Расчетный метод определения доли вымороженной воды и криоскопической температуры

Температура, при которой давление пара растворителя над раствором становится равным давлению пара над твердой фазой, называется температурой кристаллизации раствора ($T_{кр.}$).

Температура кристаллизации раствора ($T_{кр}$) несколько ниже температуры кристаллизации чистого растворителя ($T_{0\ кр}$). Разность температур кристаллизации растворителяи раствора (ΔТ) можно рассчитать по одному из следствий из закона Рауля: Понижение температуры кристаллизации раствора по сравнению с растворителем прямо пропорционально моляльной концентрации раствора:

$$\Delta T = K \cdot m, \quad (5)$$

где К – криоскопическая постоянная растворителя (кг/моль);

m – моляльная концентрация раствора (моль/кг)

Криоскопическая температура – температура начала процесса образования кристаллов льда. Ее определяли расчетным путем на основании молярных концентраций низкомолекулярных веществ (сахарозы, лактозы и солей молока), по формуле 6:

$$t_{кр} = 0 - \Delta T \quad (6)$$

Доля вымороженной воды – относительное количество воды, превратившееся в лед при замораживании (ω, %).

Относительное количество вымороженной воды определяли по формуле Рауля-Чижова:

$$\omega = 1 - \frac{t_{кр}}{Т} \quad (7)$$

где $t_{кр}$ - криоскопическая температура, ºС

Т – температура, при которой определяется доля вымороженной воды, ºС [17].

2.3.6 Методика определения в мороженом содержания структурирующего жира ($С_{сж}$)

Методика разработана в ходе выполнения диссертационной работы.

Расчетно-экспериментальный метод определения $С_{сж}$ основан на установлении в структуре продукта после проведения теста на таяние оставшейся м.д.ж..

Содержание структурирующего жира ($С_{сж}$) – выраженное в процентах отношение массовой доли жира, остающегося в продукте после вытекания плава, к общей массовой доле жира.

Определяют массовую долю жира в закаленном мороженом или десерте до проведения теста на таяние по ГОСТ 5867-90.

Для определения м.д. плава образец закаленного мороженого или десерта массой 120-200 г предварительно взвешивают и помещают на сито диаметром 12 см с ячейками не более 0,25 мм. Под ситом устанавливали емкость для сбора плава, предварительно определив ее массу. Образцы закаленного мороженого выдерживали при температуре плюс 4 °С до прекращения выделения плава.

В плаве определяют массовую долю жира.

Содержание структурирующего жира определяют по формуле (1):

$$С_{сж} = \frac{МДЖо}{МДЖм} \times 100\ \% \ (1),$$

где $С_{сж}$ – содержание структурирующего жира, %;

$МДЖ_о$ - массовая доля жира, остающаяся в продукте после вытекания плава, %;

$МДЖ_м$ – массовая доля жира в мороженом, %.

М.д.ж., остающуюся в структуре мороженого рассчитывают по формуле (2):

$$МДЖ_О = МДЖ_М – МДЖ_П \ (2),$$

где $МДЖ_п$ – массовая доля жира в плаве, %.

За окончательный результат принимают среднеарифметическое значение результатов двух параллельных определений в 3-х кратной повторности, округленное до целых чисел.

2.3.7 Метод определения удельной электропроводности (УЭП)

Метод основан на измерении УЭП смесей для мороженого с использованием кондуктометра.

Электропроводность (электрическая проводимость) - способность материалов проводить электрический ток. Проводимость - величина обратная сопротивлению электрического тока, определяется в Сименсах (См).

Удельная проводимость раствора электролита определяется количеством ионов, переносящих электричество и скоростью их миграции.

Для измерения электропроводности используется портативный кондуктометр (Германия, компании Hanna Instruments) (Рисунок 14).

Технические характеристики кондуктометра

Характеристика	Значение
Диапазон измерений	УЭП: 0-20000 мкСм/см (0-20000 µS/cm) температура: 0-60,0°С
Шаг измерения	1 мкСм/см; 0,1°С
Погрешность	УЭП: ±2%; температура: ±0,5°С
Термокомпенсация	автоматическая, 0-50°С
Электрод	HI 73312

Рисунок 14 – Портативный кондуктометр, технические характеристики

2.3.8 Распределение по размерам кристаллов льда и воздушных пузырьков в мороженом. Метод обработки экспериментальных данных

Построение модели распределения по размерам структурных элементов основано на построении полиноминальной линии тренда (аппроксимация и сглаживание) в Excel. Для построения линии тренда использовали все данные по размерам (для кристаллов льда) и диаметрам (для воздушных пузырьков и жировых шариков), полученные в результате усредненных значений в результате обработки не менее 3-х снимков для каждого образца в определенный период хранения.

При выборе линии тренда учитывали, что основное предназначение линии тренда – выявление общей тенденции. Она может быть построена с применением одного из пяти видов аппроксимации:

- Линейной;
- Экспоненциальной;
- Логарифмической
- Полиномиальной;
- Степенной.

По полученным данным о размерах кристаллов льда и диаметров воздушных пузырьков и жировых шариков определена полиномиальная аппроксимация. Полиномиальный тренд в Excel применяется для анализа большого набора данных о нестабильной величине. Данной кривой свойственны переменные возрастание и убывание. Для полиномов (многочленов) определяется степень (по количеству максимальных и минимальных величин).

Для построения модели определили степенное значение 6, так как при установке полинома шестой степени может быть описано до пяти максимумов (рисунок 15).

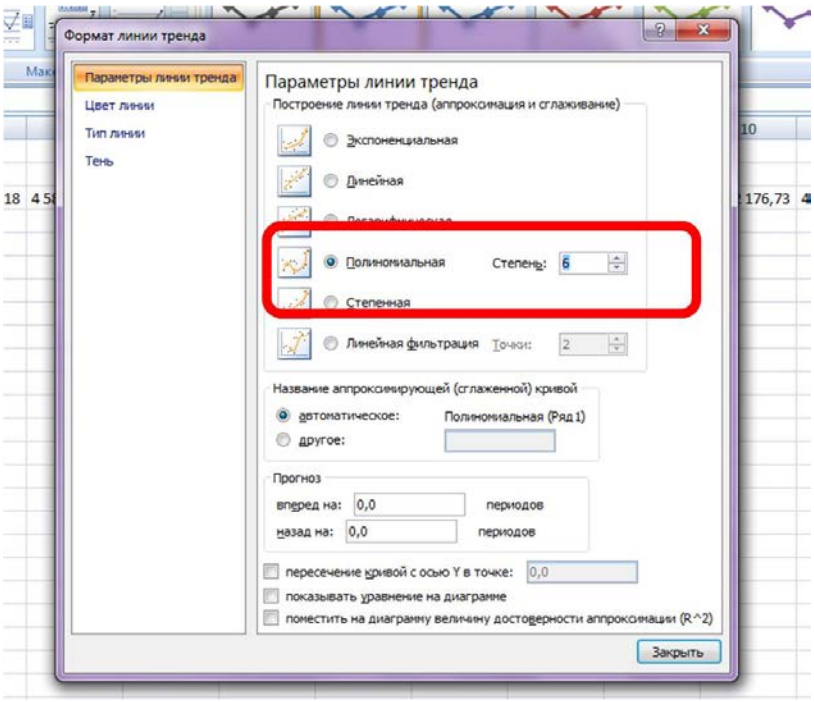


Рисунок 15 - Построение линии тренда в Excel

Точность аппроксимации оценивали при помощи коэффициента достоверности аппроксимации. Коэффициент достоверности аппроксимации $\mathbf{R^2}$ показывает степень соответствия трендовой модели исходным данным. Его значение может находиться в диапазоне от 0 до 1. Чем ближе $\mathbf{R^2}$ к 1, тем точнее модель описывает имеющиеся данные.

ГЛАВА 3 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

3.1 Экспериментальное обоснование функциональной роли МС натурального происхождения в производстве мороженого пломбир

Как следует из анализа литературных данных, основная функциональная роль стабилизаторов при производстве замороженных аэрированных продуктах состоит в повышении вязкости смеси, что положительно отражается на формировании и сохранении структурных элементов.

На основании анализа литературных данных и имеющегося практического опыта, установлено, что состояние структуры и консистенция мороженого пломбира и менее жирных разновидностей мороженого отличаются, что следует учитывать при решении вопроса достижения требуемого состояния структуры в случае сокращении числа пищевых добавок стабилизаторов структуры.

На основании аналитического обзора для использования в технологии мороженого без пищевых добавок или с ограниченным их применением был обоснован выбор моностабилизаторов, способных выполнять технологические функции стабилизаторов: модифицированные крахмалы, изготовленные с использованием физических методов модификации (КФМ) и пищевые волокна (ПВ), на основе продуктов переработки целлюлозы. Такие крахмалы и пищевые волокна характеризуются повышенной функциональной способностью в части взаимодействия с водой, что способствует стабилизации структуры продукта и создают эффект повышенной массовой доли жира, а это важно при отсутствии деэмульгированного жира. В силу наличия гранул в структуре крахмалов и способности волокон переходить в суспендированное состояние теоритически возможно их положительное влияние на нуклеацию, в значительной степени определяющую образование и размеры кристаллов льда в мороженом.

3.1.1 Исследование растворимости и влияния КФМ и ПВ на вязкость смесей для мороженого пломбир

С целью определения растворимости МС готовили водные растворы с их массовой долей, соответствующей доле в водной части мороженого (рисунок 16). Для исследований были выбраны МС: желатин, КФМ, ПВ и пищевое волокно картофельной клетчатки. Растворы нагревали до температуры, близкой к температуре пастеризации (85 °С), при этом определяли температуру, при которой ПВ и КФМ переходят в активное состояние, установлено что переход в активное состояние КФМ происходит при температуре 75±2 °С, ПВ – при температуре 80 °С.

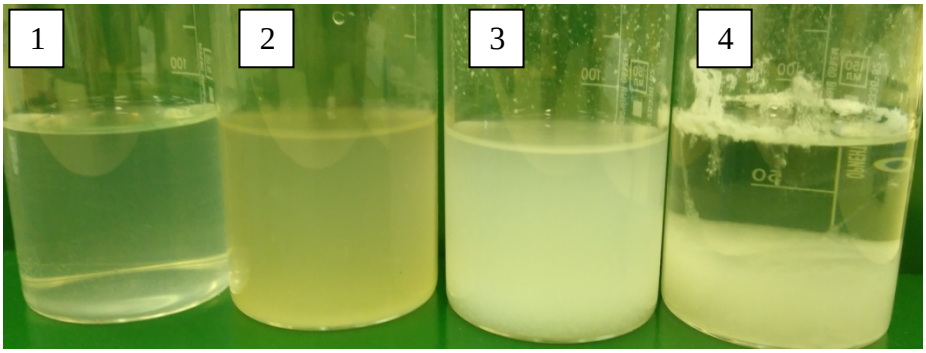


Рисунок 16 – Водные растворы:1-желатин, 2-КФМ, 3-ПВ, 4-НПВ (картофельная клетчатка)

Известно, что в воде при нагревании желатин образует прозрачный коллоидный раствор. В ходе эксперимента было установлено, что ПВ картофельной клетчатки – нерастворимое волокно, так как большая часть его выпадает в осадок, а по прозрачности растворов было обнаружено, что КФМ и ПВ неполностью переходят в коллоидный раствор, находятся в суспендированном состоянии.

Объективную оценку влияния стабилизаторов на подвижность воды проводили путем исследования удельной электропроводности смесей для мороженого пломбир (таблица 8).

Таблица 8 - Определение удельной электропроводности (УЭП)

Образец, №	Значение УЭП	
	до созревания	после созревания
1 КСЭ	3,27	3,32
2 Желатин	3,51	3,37
3 КФМ	3,15	3,19
4 Картофельный крахмал	3,26	3,26
5 ПВ	2,64	2,87

Отмечено, уменьшение значения электропроводности на 15% в обр. с ПВ и незначительное снижение в обр. с КФМ – на 4% по сравнению со смесью КСЭ, на 17,4 % и 5,6 %, соответственно, по сравнению с желатином, что свидетельствует о различном взаимодействии растворенного вещества с водой.

С целью определения влагоудерживающей способности МС после размораживания исследовали динамическую вязкость их водных растворов после размораживания. Это свойство стабилизаторов важно учитывать при решении вопросов об их способности удерживать воду в структуре продукта, в том числе при температурных колебаниях, что связано с их влиянием на подвижность молекул воды при таянии (в случае повышения температуры) и кристаллизации или перекристаллизации (при понижении температуры).

С этой целью готовили водные коллоидные растворы крахмалов с их массовой долей, соответствующей доле в водной части мороженого.

Модифицированные крахмалы обычно используют во всех видах мороженого в количествах 1,0 – 1,5 %. Для экспериментальных исследований использовали максимально применяемую массовую долю крахмала 1,5 %. Исследовали 3 разновидности крахмала серии «Novation», изготовленные из тапиоки и отличающиеся между собой степенью термомеханического воздействия: 1 – Novation Indulge 3920; 2 – Novation 3300; 3 – Novation 3600. По классификации ЕС являются пищевыми ингредиентами.

Определение вязкости водных растворов крахмалов производили на ротационном вискозиметре BrookFieldDV2+Pro при температуре смеси (4±0,5) °С и скорости вращения шпинделя 0,83 $с^{-1}$ (рисунок 17).

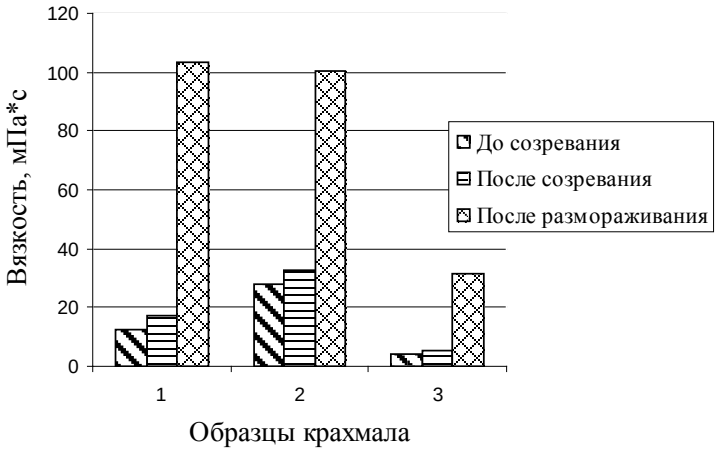


Рисунок 17 – Динамическая вязкость водных растворов КФМ

На основании анализа полученных данных по значению вязкости водных растворов крахмалов, видно, что наибольшей вязкостью характеризуются растворы крахмала образца №2. После размораживания эффективная вязкость раствора этого крахмала повысилась в 3,5 раза, что свидетельствует о высокой влагоудерживающей способности этого крахмала, в том числе после размораживания, что особенно актуально для мороженого в связи с необходимостью прочного удерживания воды в структуре геля при возможных колебаниях температуры при хранении, транспортировании и реализации. Данная разновидность КФМ (Novation 3300) была отобрана для дальнейших испытаний.

Важно и то, что коллоидные растворы КФМ прозрачные, характеризуются нейтральным вкусом, поэтому их применение не оказывает отрицательного действия на органолептические показатели мороженого.

Во время проведения исследования было установлено, что способность КФМ образовывать вязкие гели повышается в композиции с яичным желтком, желатином и каррагинаном (рисунок 18).

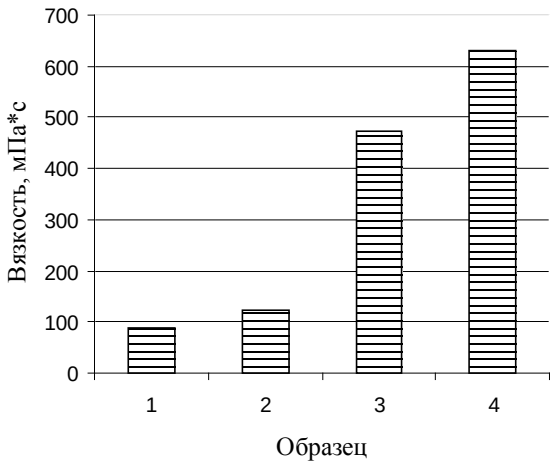


Рисунок 18 - Динамическая вязкость смесей для мороженого: 1- с КФМ; 2- с КФМ и яичным желтком; 3- с КФМ и желатином; 4- с КФМ и каррагинаном

Как следует из данных, приведенных на рис. 18, при использовании желатина и каррагинана в композиции с КФМ, эффективная вязкость смесей возросла соответственно в 4,8 и 6,3 раза. Полученные результаты важно учитывать при решении проблемы снижения числа пищевых добавок, особенно в случае применения желатина – натурального компонента, не являющегося пищевой добавкой.

Вид крахмала и соответствующий ему размер зерен в значительной степени определяют его структурную упорядоченность и свойства клейстеров [12]. Для эксперимента были выбраны следующие крахмалы:

Обр. №1 - модифицированный крахмал Е 1442 – дикрахмалфосфат оксипропилированный – крахмал, модифицированный химическим путем. Модификация исходного крахмала осуществляется путем его обработки оксихлоридом фосфора или триметафосфатом натрия с последующим воздействием на реакционную смесь пропиленоксидом;

Обр. №2 - модифицированный крахмал Е 1422 – дикрахмаладипат ацетилированный представляет собой обычный крахмал, полученный из кукурузы или картофеля, состав и физические свойства которого изменены путем химической обработки. Добавку Е1422 получают при обработке водной суспензии исходного крахмала адипиновым и уксусным ангидридами, в

результате чего происходит так называемая «сшивка» отдельных молекул крахмала;

Обр. №3 - картофельный крахмал (нативный) - крахмал, извлеченный из картофеля. Зёрна крахмала (лейкопласты) содержатся в клетках картофельных клубней. Производство крахмала заключается в измельчении картофеля, при этом крахмальные зёрна высвобождаются из разрушенных клеток. Затем крахмал промывают и высушивают;

Обр. № 4 – КФМ, предназначенный как высокоэффективный загуститель и стабилизирующий агент для пищевых систем на водной основе, подвергающихся теплообработке и экстремальным механическим воздействиям. Типичные условия обработки могут включать нагревание при высокой температуре на рельефной поверхности и пластинчатых пастеризаторах, прямой паровой обогрев, гомогенизацию и вакуумное охлаждение.

Процесс клейстеризации крахмала происходит в определенном интервале температур, обычно от 55 до 80 °С. Один из признаков клейстеризации — значительное увеличение вязкости крахмальной суспензии[55].

Исследовали влияние крахмалов различной модификации на вязкость водного раствора до созревания, после созревания и после размораживания (таблица 9). С этой целью готовили коллоидные растворы крахмалов с их массовой долей, соответствующей доле в водной части мороженого. Для эксперимента определили максимально применяемую массовую долю крахмала 1,5 %. Растворы нагревали до температуры, близкой к температуре пастеризации смесей 80-85 °С.

Таблица 9 – Вязкость водных растворов крахмалов

Разновидность крахмала	Вязкость раствора, мПа·с		
	После смешивания	После созревания	После размораживания
Обр. №1 (Е1442)	11,0	11,4	90,0
Обр. №2 (Е1422)	25,0	37,0	130,0
Обр.№3 картофельный крахмал	57,0	89,0	Деструкция крахмала
Обр. №4 -КФМ	29	34	103

По результатам исследований, приведенных в табл. 9, КФМ проявляет свои функциональные свойства в большей степени в замороженных продуктах. Об этом свидетельствует факт повышения вязкости в растворе этой разновидности крахмала в 3,5 раза после размораживания. В растворе с нативным картофельным крахмалом после размораживания произошла деструкция (разрушение крахмального зерна) (рисунок 19).

Рисунок 19- Деструкция картофельного крахмала после размораживания

Благодаря составу тапиоки, КФМ характеризуются высокими влагоудерживающими и структурообразующими свойствами.

В отличие от многих нативных крахмалов, которые разрушаются при высоких температурах, низком значении pH (около 3), высоких скоростях перемешивания, КФМ способны сохранять свою зернистую структуру (рисунок 20) [30, 70].

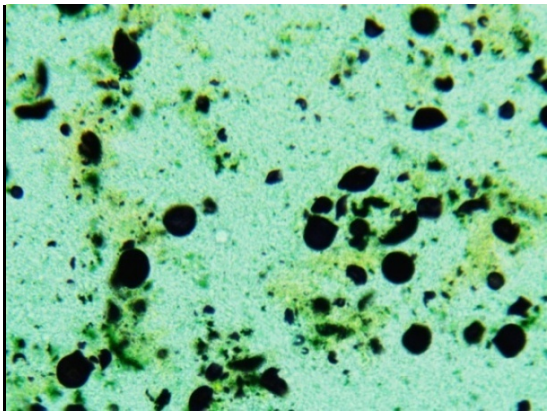


Рисунок 20 – Зернистая структура КФМ в коллоидном растворе

В растворах с ПВ вязкость после размораживания сохраняется, что положительно при оценке влагоудерживающей способности МС (рисунок 21).

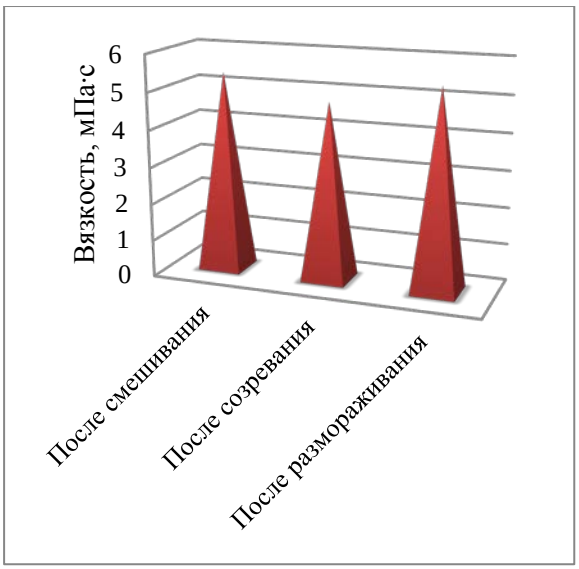


Рисунок 21 – Динамическая вязкость водных растворов ПВ

С учетом технологической функциональности стабилизаторов, было изучено влияние КФМ и ПВ на вязкость смесей для мороженого.

С учетом наибольших объемов производства мороженого пломбир в нашей стране проведены выработки его экспериментальных партий и исследовано влияние СФМ на вязкость смесей.

Поддержание оптимальной вязкости в смесях для мороженого обусловлено необходимостью стабилизации структурных элементов, особенно кристаллов льда, в массе продукта.

Установлено, что при использовании КФМ для мороженого пломбир с массовой долей жира 15%, вязкость его смесей до созревания составила 485 мПа·с, что соответствовало уровню показателя в смесях с синергетической композицией стабилизаторов стабилизационной системы известного производителя (рисунок 22).

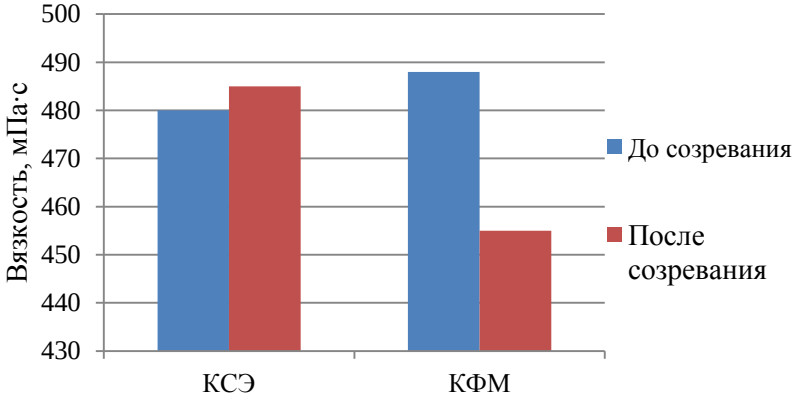


Рисунок 22 - Динамическая вязкость смесей для мороженого пломбир

Установлено, что исследуемые образцы по вязкости заметно не отличаются. Однако, по результатам исследований, приведенных на рис. 22, установлено, что после созревания смеси мороженого пломбир с КФМ произошло незначительное снижение эффективной вязкости (на 6%). Данное изменение объясняется отсутствием в составе образца эмульгатора, применение которого вследствие изменений в структуре жира приводит к возрастанию вязкости.

При исследовании динамической вязкости смесей для мороженого с ПВ-высокомолекулярным веществом, обладающим повышенной влагопоглощающей спосособностью, было установлено, что вязкость смеси для мороженого, как в процессе ее приготовления, так и в процессе созревания, зависит от способа введения в смесь ПВ. С целью изыскания наиболее эффективного из них введение ПВ осуществляли после предварительной его подготовки тремя способами:

-смешиванием с сахаром-песком в соотношении 1:5 и последующим внесением их в смесь жидких компонентов;

- диспергированием в воде или молоке (до внесения других сухих и вязких компонентов) при постоянном перемешивании со скоростью от 1 до 2 $с^{-1}$.

- переводом в суспендированное состояние (промежуточное между коллоидным раствором и суспензией), достигаемое путем диспергирования пищевого волокна в воде (при соотношении 1:30) при температуре 35±5 ºС и времени перемешивания 10 мин.

В результате проведенных исследований было установлено, что наиболее эффективной, с точки зрения влияния на повышение вязкости смеси для мороженого, является третья схема введения пищевого волокна, предполагающая предварительный переход пищевого волокна в активное состояние посредством перевода в состояние коллоидного раствора (рисунок 23) [71].

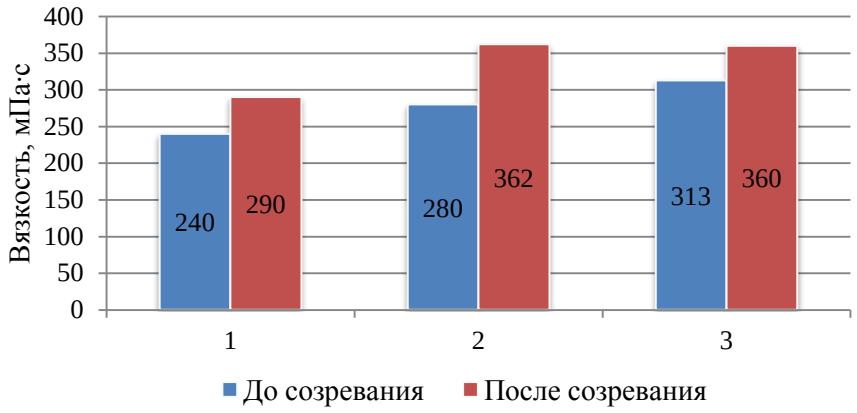


Рисунок 23- Динамическая вязкость образцов смеси для мороженого

Как следует из данных, приведенных на рис. 23 , изначальная вязкость смеси с ПВ зависит от способа внесения. Наибольшая вязкость достигнута в образце 3. В процессе созревания смеси происходит дальнейшее повышение вязкости во всех трех образцах, что вероятно связано с продолжающимся взаимодействием ПВ с водой. Вязкость смеси после созревания в образце № 3, где введение ПВ осуществлялось по третьей схеме, составила 360 мПа·с, что на 20 % выше, чем в образце, где ПВ вносили обычным способом, смешивая предварительно с сахаром-песком.

Сравнение стабилизационных свойств ПВ и эффективных стабилизаторов-эмульгаторов проводили непосредственно на экспериментальных партиях мороженого. Были изготовлены образцы мороженого с массовой долей жира 12, 15, 18 и 20 %.

При оценке технологической функциональности ПВ в мороженом пломбир учитывали важное технологическое свойство ПВ – суспендирование в воде и необходимость достижения вязкости смеси не менее 400 мПа·с. Исследования

проводили в обычном для гидроколлоидов диапазоне массовых долей от 0,15% до 0,4% (таблица 10).

Таблица 10 - Динамическая вязкость смесей для мороженого

Мороженое с ПВ			Мороженое с КСЭ		
м.д.ж., %	м.д. ПВ, %	вязкость смеси, мПа·с	м.д.ж, %	м.д. стабилизатора-эмульгатора	вязкость смеси, мПа·с
12	0,45-0,6	207	10	0,5-0,55	200-300
			12	0,45	350-450
15	0,3-0,35	435	15	0,35-0,4	450-520
18	0,2-0,25	свыше 500	18	0,3	550-650
20	0,15-0,2	свыше 500	20	0,2-0,25	650-800

В производстве мороженого достижение оптимальной вязкости смеси является важным условием для получения продукта с требуемыми показателями качества. Вязкость смеси образца с м.д.ж. 12 % (207 мПа·с) соответствует вязкости смеси для сливочного мороженого, вязкость смеси с м.д.ж. 15 % вязкости смеси с м.д. ж. 12 % (435 мПа·с) при использовании эффективного КСЭ [72].

Применение ПВ в производстве мороженого пломбир с м.д.ж. 15-20 % в количествах, заметно не отличающихся от суммарной массовой доли гидроколлоидов в эффективных стабилизационных системах, позволяет достичь оптимальной вязкости. Учитывая то, что пломбир характеризуется высокой массовой долей жира в виде высокодисперсной фазы эмульсии, а в мороженом - в виде суспензии, можно предположить возможность получения продукта высокого качества без использования эмульгатора в составе стабилизационных систем. Это объясняется тем, что защитная оболочка на жировых частицах в смесях для мороженого пломбир несколько тоньше, чем в других разновидностях мороженого с более низкой м.д.ж. Это связано с тем, что источником белка для построения оболочек служит одинаковая для всех разновидностей мороженого на молочной основе м.д. СОМО. В связи с этим вероятность частичного деэмульгирования жира в результате механического воздействия во фризере, а не под воздействием эмульгаторов, в пломбире выше [10].

Кроме наличия деэмульгированного жира для формирования структуры мороженого необходимо создать необходимое число центров зародышеобразования (нуклеации). Учитывая высокую дисперсность жира и его м.д. в мороженом пломбир можно предположить, что частицы жира в этой разновидности способны обеспечить высокий уровень нуклеации. В связи с этим целесообразным представилось изучение роли жировых частиц пломбира в протекании процесса нуклеации при отсутствии не только эмульгатора, но и стабилизатора.

3.1.2 Экспериментальное обоснование влияния КФМ и ПВ на состояние структуры мороженого пломбир

При обосновании функциональной роли КФМ и ПВ в формировании структуры учитывали, что основными структурными элементами мороженого являются кристаллы льда и воздушные пузырьки. Определена их доля в объеме мороженого пломбир с м.д.ж. 15% при максимально допустимой взбитости (130 %), соответственно 27 % и 56 % (рисунок 24).

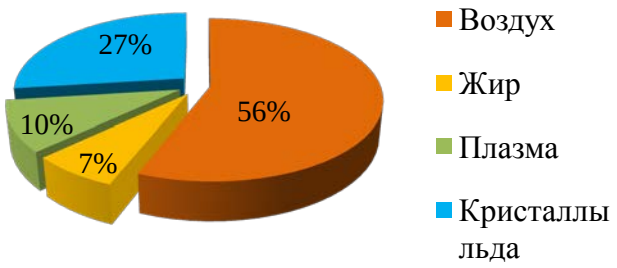


Рисунок 24- Объемная доля составных частей мороженого пломбир с м.д.ж. 15%

Для определения объемных долей кристаллов льда и воздушных пузырьков в мороженом пломбир были проведены следующие расчеты:

1. Находим плотность смеси мороженого. Плотность смеси определена расчетным путем по закону аддитивности по формуле:

$$\rho = \frac{1}{\frac{g_1}{\rho_1}+\frac{g_2}{\rho_2}+\frac{g_3}{\rho_3}+\dots\frac{g_n}{\rho_n}}, \quad (9)$$

где g1, g2, g3…gn – массовые доли компонентов в единице массы смеси. Их сумма должна равняться единице;

ρ_1, ρ_2, ρ_3 … ρ_n– плотность сырьевых компонентов смеси (жир, СОМО, сахар- песок и т.п.).

Учитывали массовые доли и плотности следующих компонентов: молочный жир – 15%, СОМО - 10 %, сахароза – 14%, вода – 61 %.

$$\rho = \frac{1}{\frac{0,15}{940} + \frac{0,1}{1300} + \frac{0,14}{1600} + \frac{0,61}{1000}} = 1064$$

2. Находим плотность мороженого ($\rho_м$) при максимальной взбитости 130 %, исходя из формулы:

$$В = \frac{m_{см} - m_м}{m_м} \cdot 100\ \%, \qquad (10)$$

где В – Взбитость мороженого, %;

$m_{см}$ – масса смеси, г;

$m_м$ – масса мороженого, г

$$В = \frac{\rho_{см} \cdot V - \rho_м \cdot V}{\rho_м \cdot V},$$

$$130 = \left(\frac{1064 - \rho_м}{\rho_м}\right) \cdot 100,$$

$$1064 - \rho_м = \frac{130 \cdot \rho_м}{100},$$

$$1064 = \frac{130\rho_м + 100\rho_м}{100},$$

$$1064 = \frac{230\rho_м}{100},$$

$$\rho_м = \frac{1064 \cdot 100}{230} = 462,6\ {}^{кг}/_{м^3}$$

3. Находим массу мороженого ($m_м$, г), занимаемую объем 100 мл мороженого - 46 г.

4. В 100 г мороженого содержится: жира 15 г, СОМО 10 г, сахара 14 г и 61 г воды.

Находим содержание каждого нутриента в 46 г мороженого: жира 6,9 г; СОМО 4,6 г, сахара 6,44 г; вода 28,1. Зная массу и плотность каждого нутриента, находим объем, занимаемый каждым нутриентом по формуле:

$$V = \frac{m}{\rho} \qquad (11)$$

где m – масса нутриента, г

$$\rho - \text{ плотность нутриента}, {}^{кг}/_{м^3}$$

Таблица 11 - Объем, занимаемый каждым нутриентом в 46 г мороженого

Нутриент	Масса нутриента, г	Плотность нутриента, кг/м^3	Объем, занимаемый нутриентом, м^3
Жир	6,9	940	$7 \cdot 10^{-6}$
СОМО	4,6	1300	$3 \cdot 10^{-6}$
Сахар	6,44	1600	$4 \cdot 10^{-6}$
Вода	28,1	1000	$28 \cdot 10^{-6}$

5. Рассчитываем долю вымороженной воды в пломбире при температуре минус 18 °С. Температура выгрузки из фризера составила минус 5 °С.

Доля вымороженной воды – относительное количество воды, превратившееся в лед при замораживании (ω, %).

Относительное количество вымороженной воды определяли по формуле Рауля-Чижова:

$$\omega = 1 - \frac{t_{\text{кр}}}{t} \qquad (12)$$

где $t_{кр}$ - криоскопическая температура, ºС

t – температура, при которой определяется доля вымороженной воды.

Криоскопическая температура – температура, начала процесса образования кристаллов льда. Ее определяли расчетным путем на основании молярных концентраций низкомолекулярных веществ (сахарозы, лактозы и солей молока), по формуле:

$$\text{tкр} = 0 - \Delta T (13)$$

$$\Delta T = \text{К} \cdot m \qquad (14)$$

где К – криоскопическая постоянная растворителя (кг/моль), для воды К составляет 1,86;

m – моляльная концентрация раствора (моль/кг)

На понижение температуры замерзания в смеси оказывают влияние низкомолекулярные вещества: сахар, лактоза и минеральные вещества.

Минеральные вещества (фосфаты, хлориды кальция, магния, натрия и т.д.) будем брать в пересчете на хлорид натрия: минеральные вещества молока также влияют на криоскопическую температуру, как 1,5 раза меньше количество хлорида натрия с учетом изотонического коэффициента (1,9).

Молярная масса сахара ($C_{12}H_{22}0_{11}$) и лактозы ($C_{12}H_{22}0_{11}$) одинакова и равна 342 г/моль, молярная масса хлорида натрия – 58,5 г/моль.

5.1 100 г смеси для мороженого пломбир содержит 61 г воды, 5,2 г лактозы, 14 г сахара и 0,9:1,5=0,6 г минеральных веществ в пересчете на хлорид натрия.

А) Находим количество (N) молей низкомолекулярных веществ(отношение массы к молярной массе вещества):

N сахара = $14 : 342 = 0{,}0409$ моль;

N лактозы = $5,2 : 342 = 0{,}0152$ моль;

N NaCl = $0,6 : 58{,}5 = 0{,}01103$ моль.

Б) Находим моляльные концентрации этих веществ (m):

61 г воды содержат 0,0409 моль сахара, а 1000 г воды содержат **x** моль, откуда: $x = \frac{1000 \cdot 0{,}0409}{61} = 0{,}670$;

1000 г воды содержат **y** моль лактозы, откуда $y = \frac{1000 \cdot 0{,}0152}{61} = 0{,}249$;

1000 г воды содержат **z**хлорида натрия, откуда $z = \frac{1000 \cdot 0{,}0103}{61} = 0{,}169$.

Для хлорида натрия моляльность нужно умножить на изотонический коэффициент: $0{,}169 \cdot 1{,}9 = 0{,}321$.

В) Складываем все полученные значения m:

$m = 0{,}670 + 0{,}249 + 0{,}321 = 1{,}24$

Г) Находим криоскопическую температуру:

$\Delta T = 1{,}86 \cdot 1{,}24 = 2{,}31$,

$t_{кр} = 0 - 2{,}31 = -2{,}31\ °C$

Начальная температура замерзания ($t_{кр}$) равна минус 2,31 °С, при которой вымораживается 0 % воды.

Д) Находим долю вымороженной воды после фризерования, температура мороженого на выходе из фризера :

$$\omega = 1 - \left(\frac{-2{,}31}{-5{,}0}\right) = 0{,}538; 0{,}538 \times 100\ \% \ = \ 54\%;$$

Доля вымороженной воды при температуре хранения мороженого пломбир минус 18 °С и минус 24 °С составляет 87% и 90 %, соответственно.

6. Находим массу вымороженной воды (массу кристаллов льда (М), г): $\text{М} = 28 \cdot 0{,}9 = 25{,}2$ г; Масса незамерзшей воды составила 2,28 г.

Находим занимаемый объем кристаллами льда ($V_{\text{кр.льда}}$, м^3):

$$V_{\text{кр.льда}} = \frac{25{,}2}{925} = 27 \cdot 10^{-6}$$

Доля, занимаемая кристаллами льда в мороженом пломбир, составила 27%; жиром – 7%, плазмой 17%.

7. Находим долю воздушных пузырьков, %:

$V_{\text{воз.пуз.}} = 100 - 27 - \ 17 = 56\ \%.$

Проведенные исследования (п. 3.1.1) показали, что использование крахмалов физической модификации как высокоэффективных загустителей и стабилизаторов в мороженом без пищевых добавок и ограниченным их использованием позволяет обеспечить оптимальную вязкость смеси.

Согласно ГОСТ 31457-2012 взбитость мороженого пломбир на выходе из фризера должна быть в пределах от 30% до 130%.

Оценка экспериментальных образцов показала, что применение КФМ способствует формированию кремобразной консистенции и способности смеси к насыщению воздухом (достигается взбитость до 75 % даже без принудительной подачи воздуха).

В значительной степени формированию кремообразной консистенции способствовала высокая дисперсность воздушной фазы, сопоставимая с дисперсностью в мороженом с эффективным стабилизатором-эмульгатором (таблица 12).

Таблица 12 - Влияние КФМ на дисперсность воздушной фазы (после закаливания образцов)

Образец	Средний диаметр воздушного пузырька, мкм	Доля воздушных пузырьков до 50 мкм, %
Мороженое с м.д.ж.15% с КФМ	36	85
Мороженое с м.д.ж. 15% с КСЭ	32	87

Экспериментально установлено то, что КФМ способствуют формированию мелких органолептически не ощутимых кристаллов льда с размером менее 50мкм (рисунок 25). Количественная доля кристаллов льда с размером менее 50мкм после закаливания образцов составила 91 % [31].

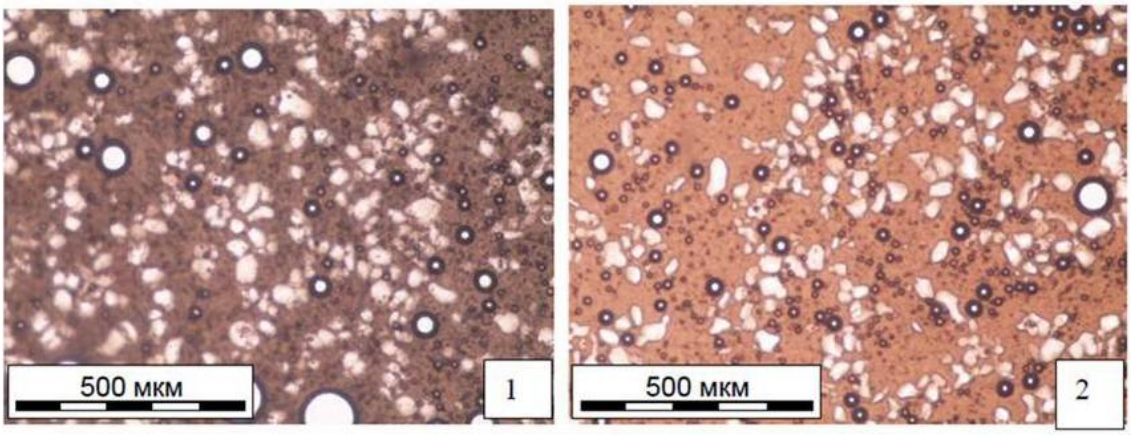


Рисунок 25 - Микрофотография кристаллов льда в мороженом:
1- с КСЭ; 2 – с КФМ

К недостаткам мороженого с КФМ следует отнести то, что оно по формо- и термоустойчивости в связи с отсутствием эмульгатора уступает продукту с КСЭ (рисунки 26-28).

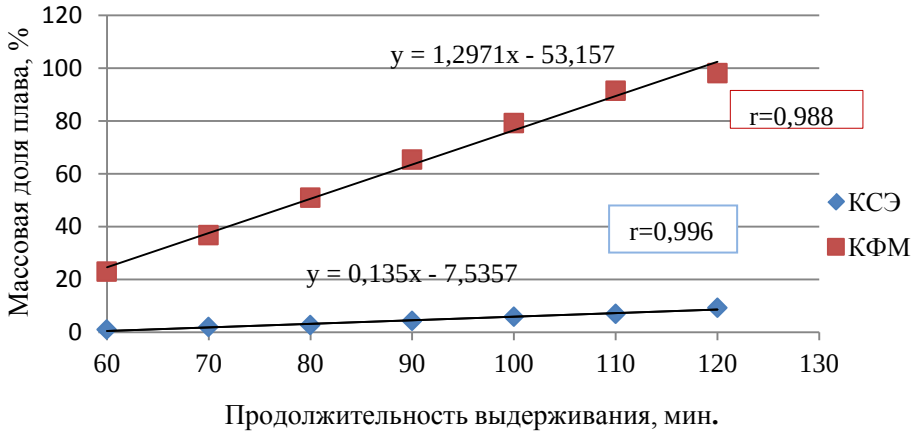


Рисунок 26 - Зависимость массовой доли плава от продолжительности выдерживания образцов мороженого пломбир с различными стабилизаторами

Как видно на рис. 26, м. д. плава через 120 мин в мороженом пломбир с КСЭ была меньше и составила 10 % по сравнению с мороженым пломбир с КФМ при м.д. плава 97 %. За полное время выдержки образцов (180 мин) м. д. плава в мороженом с КСЭ в 4,8 раза ниже, чем в пломбире с КФМ.

Аналогичная тенденция отмечена и при сопоставлении образцов по показателю "формоустойчивость" (рисунки 27, 28).

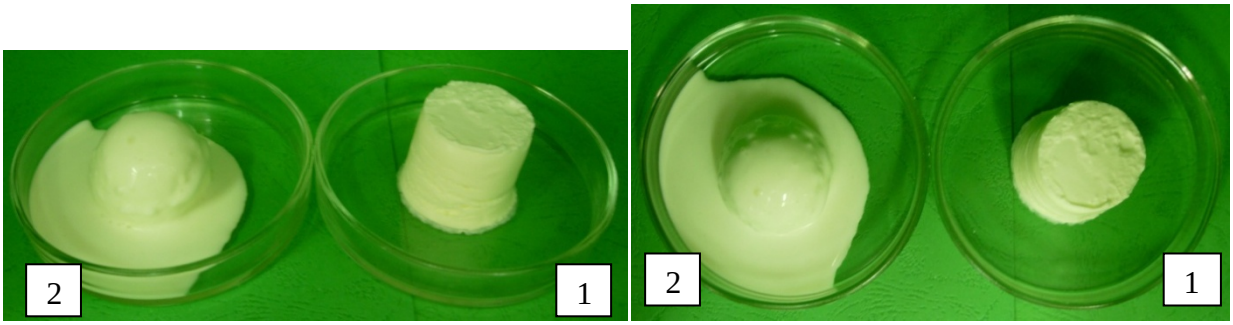


Рисунок 27 - Формоустойчивость мороженого пломбир через 30 минут выдержки: 1 - с КСЭ; 2 - с КФМ

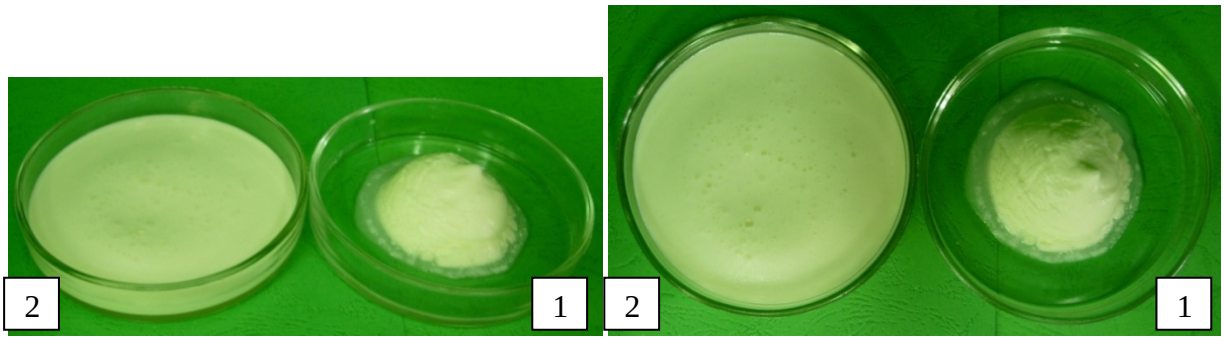


Рисунок 28 - Формоустойчивость мороженого пломбир через 60 минут выдержки:1 – с КСЭ; 2 - с КФМ

По важному потребительскому показателю термоустойчивость мороженого пломбир при использовании ПВ в значительной степени не уступали показателям мороженого с использование КСЭ. В частности, характерная доля плава 4-7 % при выдерживании мороженого с эффективными стабилизаторами-эмульгаторами при температуре 20 ºС в течение 60 мин, отмечена и в мороженом пломбир с массовой жира 18 и 20 % с ПВ. В мороженом с массовой долей жира 15% доля плава при указанных условиях не превысила 10 %, 12 % жира -27 %. Такие показатели для мороженого также допустимы, но при выборе упаковки для мороженого предпочтение следует отдавать стаканчикам, рожкам, лоткам.

Результаты устойчивости к таянию и формоустойчивости мороженого пломбир с ПВ представлены на рисунках 29, 30.

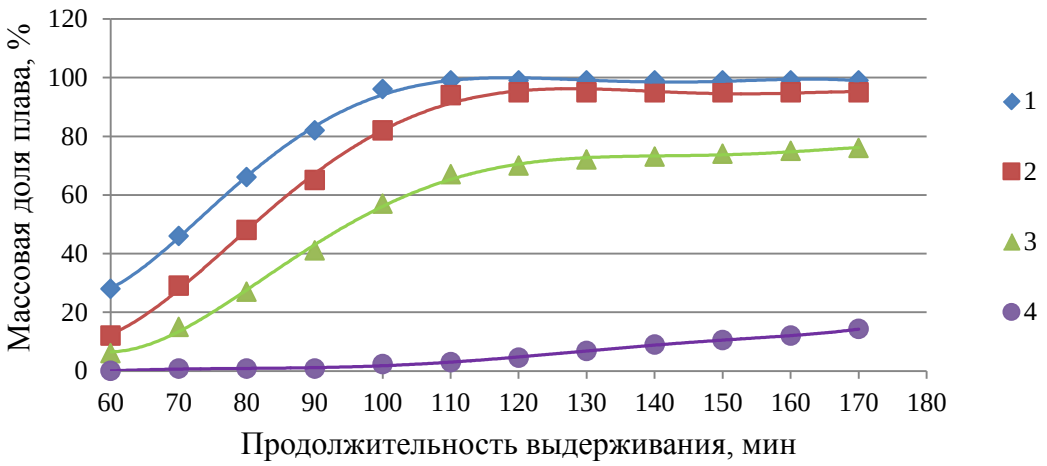


Рисунок 29 - Зависимость массовой доли плава от продолжительности выдерживания мороженого пломбир с ПВ с м.д.ж.: 1-12%; 2-15%; 3-18%; 4-20%

Образец	Зависимость	Коэффициент достоверности аппроксимации, R^2
1	$y = 4E\text{-}10x^6 - 4E\text{-}07x^5 + 0{,}000x^4 - 0{,}021x^3 + 1{,}977x^2 - 89{,}64x + 1584$	0,998
2	$y = -5E\text{-}08x^5 + 3E\text{-}05x^4 - 0{,}007x^3 + 0{,}902x^2 - 46{,}78x + 895{,}9$	0,998
3	$y = -4E\text{-}08x^5 + 3E\text{-}05x^4 - 0{,}006x^3 + 0{,}812x^2 - 44{,}44x + 904{,}9$	0,998
4	$y = 1E\text{-}10x^6 - 7E\text{-}08x^5 + 2E\text{-}05x^4 - 0{,}001x^3 + 0{,}113x^2 - 3{,}191x + 29{,}03$	0,998

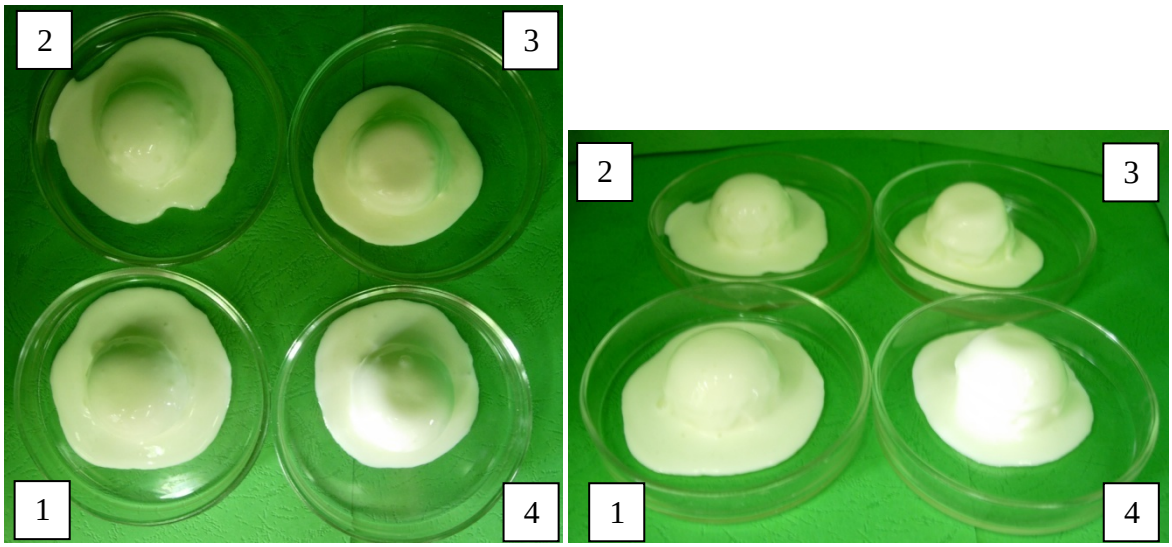


Рисунок 30 – Формоустойчивость мороженого пломбир с ПВ через 30 минут выдержки с м.д.ж.: 1-12%;2-15%; 3-18%; 4-20%

Важным показателем мороженого как структурированного продукта является дисперсность воздушной фазы и кристаллов льда, составляющих 50-70 % объема мороженого. Порогом органолептической ощутимости кристаллов льда в последнее время считают величину 50 мкм. Размеры воздушных пузырьков и кристаллов льда соизмеримы. Величина воздушных пузырьков сказывается на состоянии консистенции продукта.

Несмотря на то, что в нормативных и технических документах непосредственно не нормируются размеры структурных элементов, их величина косвенно учитывается при оценке состояния структуры и консистенции мороженого. В частности, в ГОСТ 31457-2012 «Мороженое молочное, сливочное и пломбир. Технические условия» в требованиях к состоянию структуры не допускается присутствие органолептически ощутимых кристаллов льда, а в требованиях к консистенции указывается ее состояние для закаленного мороженого – «плотная».

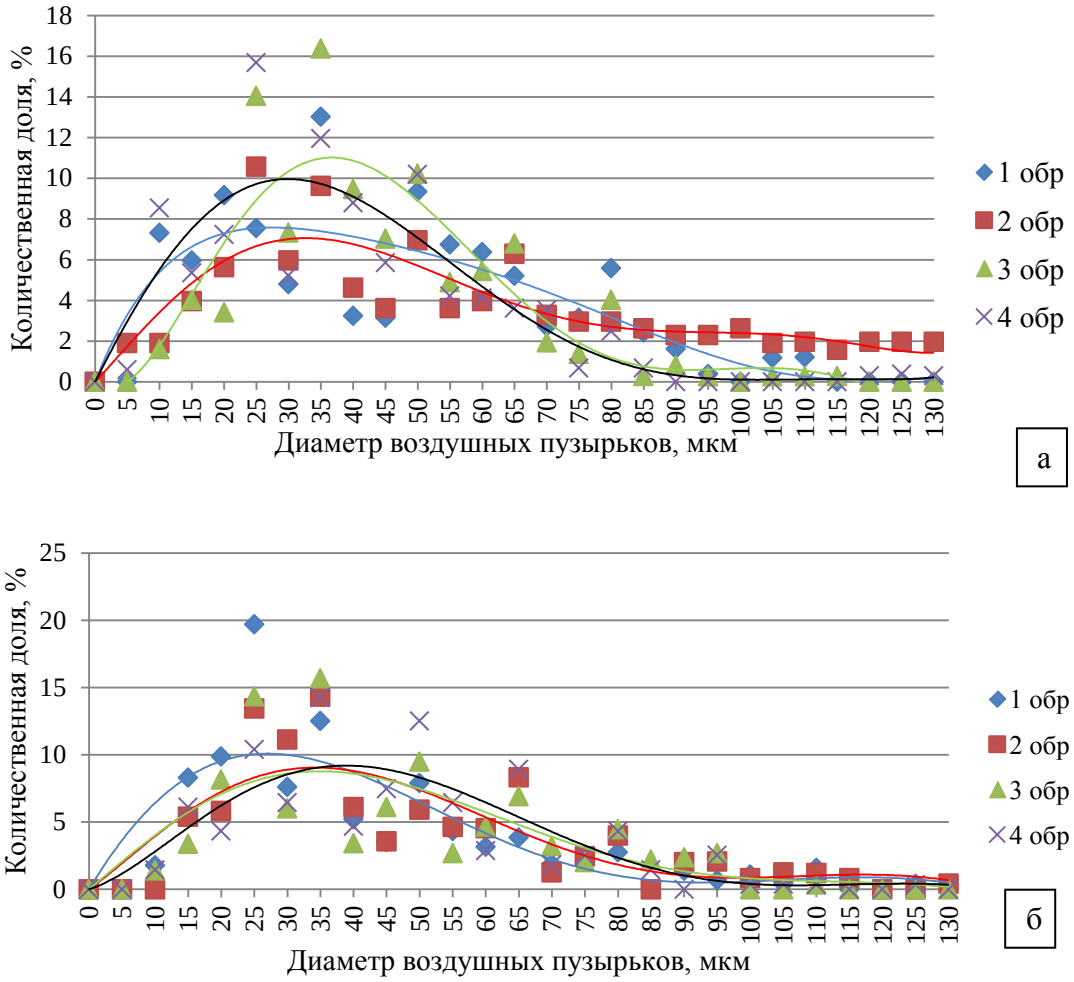
На качество воздушной фазы оказывают влияние технологические процессы производства, состав смеси, вид и количество введенного стабилизатора, конструктивные особенности фризера и др.

Высокой взбитостью обладают те смеси, которые быстро насыщаются воздухом. Количество воздуха в готовом продукте зависит от прочности и стабильности пленок между воздушными пузырьками.

Стабилизация воздуха в мороженом влияет на качество мороженого в процессе его хранения. Правильный подбор стабилизатора позволяет качественно влиять на стабильность воздушной фазы в мороженом.

При использовании эмульгатора в смеси мороженого происходит дестабилизация жировой эмульсии, в результате чего высвободившийся свободный жир адсорбируется на поверхности воздушных пузырьков, повышая их стабильность.

С учетом отмеченных аспектов формирования и роли воздушной фазы в мороженом проведены экспериментальные исследования влияния ПВ на состояние структуры и дисперсность воздушной фазы в процессе хранения при температуре минус 18 °С и минус 30 °С (рисунок 31).



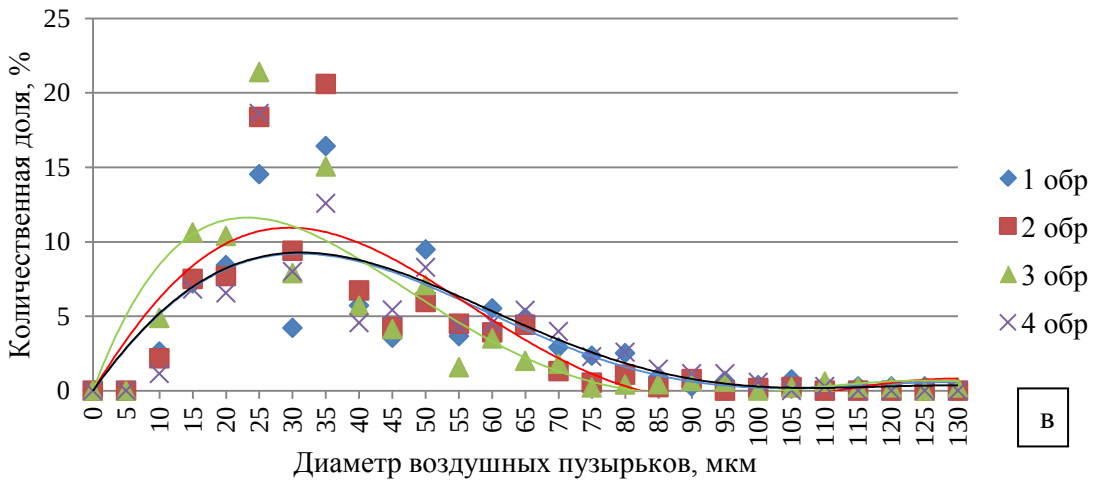


Рисунок 31 – Распределение воздушных пузырьков по размерам в мороженом пломбир с ПВ в процессе хранения при температуре минус 18 ºС: а) через 1 месяц; б) через 6 месяцев; в) через 6 месяцев при температуре минус 30 ºС

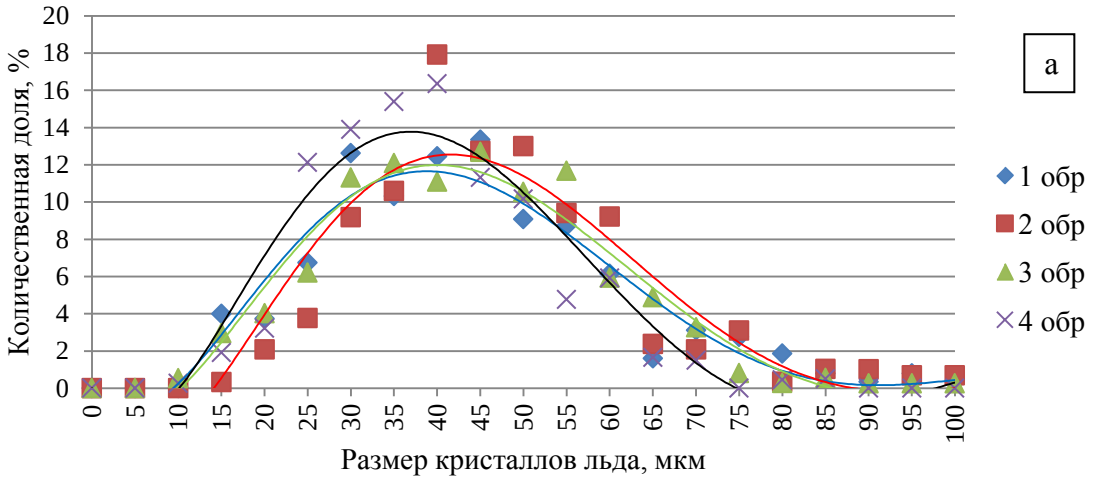
Образец	Зависимость	Коэффициент достоверности аппроксимации, R^2
Через 1 месяц хранения (-18 ºС)		
1	$y = 4E\text{-}0{,}8x^5 - 7E\text{-}0{,}6x^4 + 0{,}000x^3 - 0{,}032x^2 + 0{,}807x$	0,685
2	$y = -5E\text{-}08x^5 + 7E\text{-}06x^4 - 0{,}000x^3 + 0{,}003x^2 + 0{,}341x$	0,697
3	$y = -2E\text{-}07x^5 + 3E\text{-}05x^4 - 0{,}002x^3 + 0{,}062x^2 - 0{,}263x$	0,796
4	$y = -5E\text{-}08x^5 + 7E\text{-}06x^4 - 0{,}000x^3 - 0{,}004x^2 + 0{,}627x$	0,782
через 6 месяцев(-18 ºС)		
1	$y = -2E\text{-}08x^5 + 3E\text{-}06x^4 + 3E\text{-}06x^3 - 0{,}018x^2 + 0{,}822x$	0,708
2	$y = -5E\text{-}08x^5 + 8E\text{-}06x^4 - 0{,}000x^3 + 0{,}007x^2 + 0{,}363x$	0,702
3	$y = -3E\text{-}08x^5 + 5E\text{-}06x^4 - 0{,}000x^3 + 0{,}002x^2 + 0{,}411x$	0,660
4	$y = -5E\text{-}08x^5 + 9E\text{-}06x^4 - 0{,}000x^3 + 0{,}018x^2 + 0{,}157x$	0,743
через 6 месяцев (-30 ºС)		
1	$y = -2E\text{-}08x^5 + 3E\text{-}06x^4 - 1E\text{-}04x^3 - 0{,}009x^2 + 0{,}614x$	0,705
2	$y = -3E\text{-}08x^5 + 5E\text{-}06x^4 - 0{,}000x^3 - 0{,}009x^2 + 0{,}731x$	0,712
3	$y = 7E\text{-}10x^5 - 2E\text{-}06x^4 + 0{,}000x^3 - 0{,}039x^2 + 1{,}2x$	0,751
4	$y = -2E\text{-}08x^5 + 2E\text{-}06x^4 - 7E\text{-}05x^3 - 0{,}010x^2 + 0{,}628x$	0,716

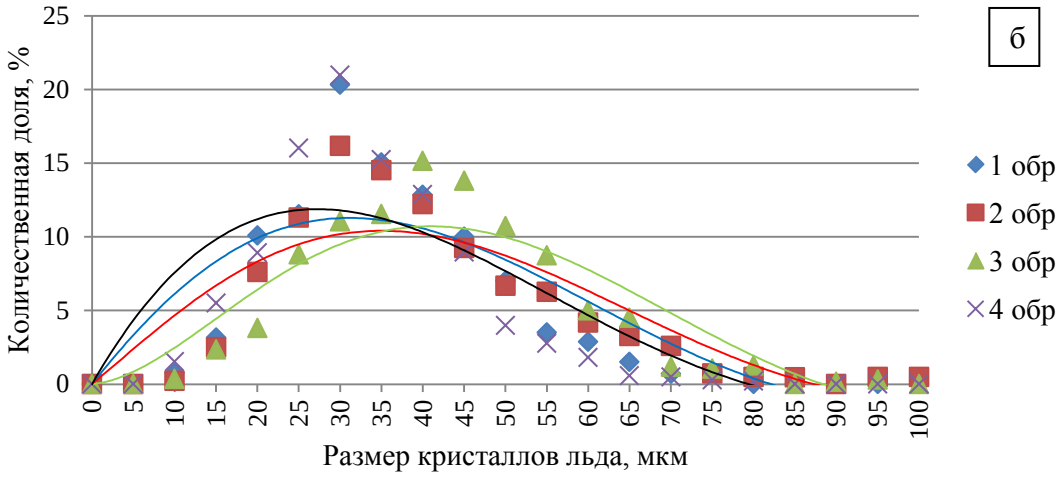
Как следует из данных, приведенных на рис. 31, в процессе хранения сохраняется дисперсность воздушной фазы. Это свидетельствует о том, что при изготовлении пломбира с волокном не требуется дополнительного применения эмульгатора для сохранения структуры готового продукта в процессе хранения в течение 6 месяцев при температуре минус 18 °С. При использовании ПВ дисперсность воздушной фазы не зависит в значительной степени от м.д.ж., во всех образцах размер воздушных пузырьков в мороженом пломбир независимо от

массовой доли жира сохранялся на уровне 40±4 мкм. При хранении образцов при температуре минус 30 °С средний диаметр воздушных пузырьков снизился до 35±5, доля воздушных пузырьков до 50 мкм составила 80 – 82 %, что на 15 % выше, чем при температуре хранения минус 18 °С в этой же разновидности мороженого.

Как видно из рисунка 32 а, образец 4 характеризуется наибольшим количеством кристаллов до 50 мкм по сравнению со всеми образцами. Пик синусоиды образца 4 составляет 37 мкм, образцов 1-3- 41±2 мкм. Через 6 месяцев хранения при температуре минус 18 ºС в образцах сохраняется высокая дисперсность кристаллов льда. Пик синусоид составляет не более 40 мкм.

По данным рис. 32 в видно, что при хранении образцов при минус 30 °С формируется больше мелких кристаллов льда. Пик дифференциальной кривой составляет 33±2 мкм.





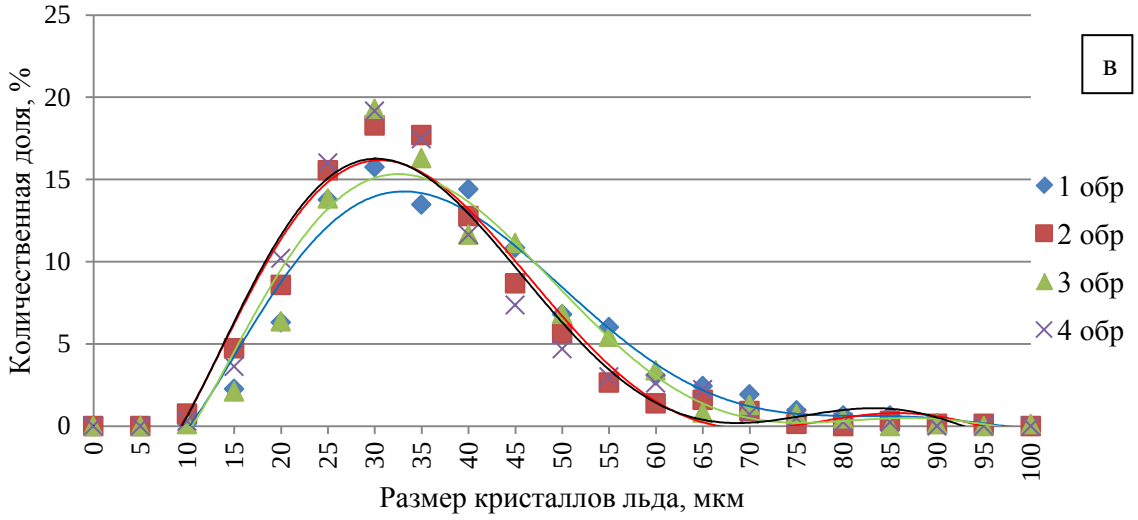


Рисунок 32 – Распределение кристаллов льда по размерам в процессе хранения а) через 1 месяц (при – 18 ºС); б) через 6 месяцев (при – 18 ºС); в) через 6 месяцев (при – 30 ºС)

Образец	Зависимость	Коэффициент достоверности аппроксимации, R^2
Через 1 месяц хранения (-18 ºС)		
1	$y = -2E\text{-}07x^5 + 3E\text{-}05x^4 - 0{,}002x^3 + 0{,}084x^2 - 0{,}589x$	0,933
2	$y = -2E\text{-}07x^5 + 4E\text{-}05x^4 - 0{,}003x^3 + 0{,}114x^2 - 1{,}067x$	0,880
3	$y = -2E\text{-}07x^5 + 3E\text{-}05x^4 - 0{,}002x^3 + 0{,}085x^2 - 0{,}635x$	0,958
4	$y = -3E\text{-}07x^5 + 5E\text{-}05x^4 - 0{,}003x^3 + 0{,}120x^2 - 0{,}875x$	0,921
через 6 месяцев(-18 ºС)		
1	$y = -2E\text{-}08x^5 + 4E\text{-}06x^4 - 0{,}000x^3 - 0{,}008x^2 + 0{,}711x$	0,864
2	$y = -3E\text{-}08x^5 + 5E\text{-}06x^4 - 0{,}000x^3 + 0{,}002x^2 + 0{,}471x$	0,813
3	$y = -5E\text{-}08x^5 + 1E\text{-}05x^4 - 0{,}000x^3 + 0{,}027x^2 + 0{,}054x$	0,855
4	$y = -1E\text{-}08x^5 + 1E\text{-}06x^4 + 0{,}000x^3 - 0{,}023x^2 + 0{,}981x$	0,848
через 6 месяцев (-30 ºС)		
1	$y = -8E\text{-}07x^5 + 0{,}000x^4 - 0{,}006x^3 + 0{,}187x^2 - 1{,}304x$	0,954
2	$y = -1E\text{-}06x^5 + 0{,}000x^4 - 0{,}009x^3 + 0{,}235x^2 - 1{,}506x$	0,955
3	$y = -9E\text{-}07x^5 + 0{,}000x^4 - 0{,}008x^3 + 0{,}216x^2 - 1{,}529x$	0,930
4	$y = -1E\text{-}06x^5 + 0{,}000x^4 - 0{,}01x^3 + 0{,}252x^2 - 1{,}615x$	0,94

При хранении образцов 18 месяцев при температуре минус 18 ºС дисперсность кристаллов льда сохраняется, средний размер кристаллов льда не превышал 43 мкм, количественная доля кристаллов льда до 50 мкм составила не менее 80 % во всех образцах. Однако, целесообразно не хранить мороженое более 6 месяцев, так как при длительном хранении появляются пороки вкуса, вызванные окислением жировой фазы.

Результаты исследований дисперсности воздушной фазы и кристаллов льда в процессе хранения в мороженом с КФМ и КСЭ представлены на рис. 33, 34.

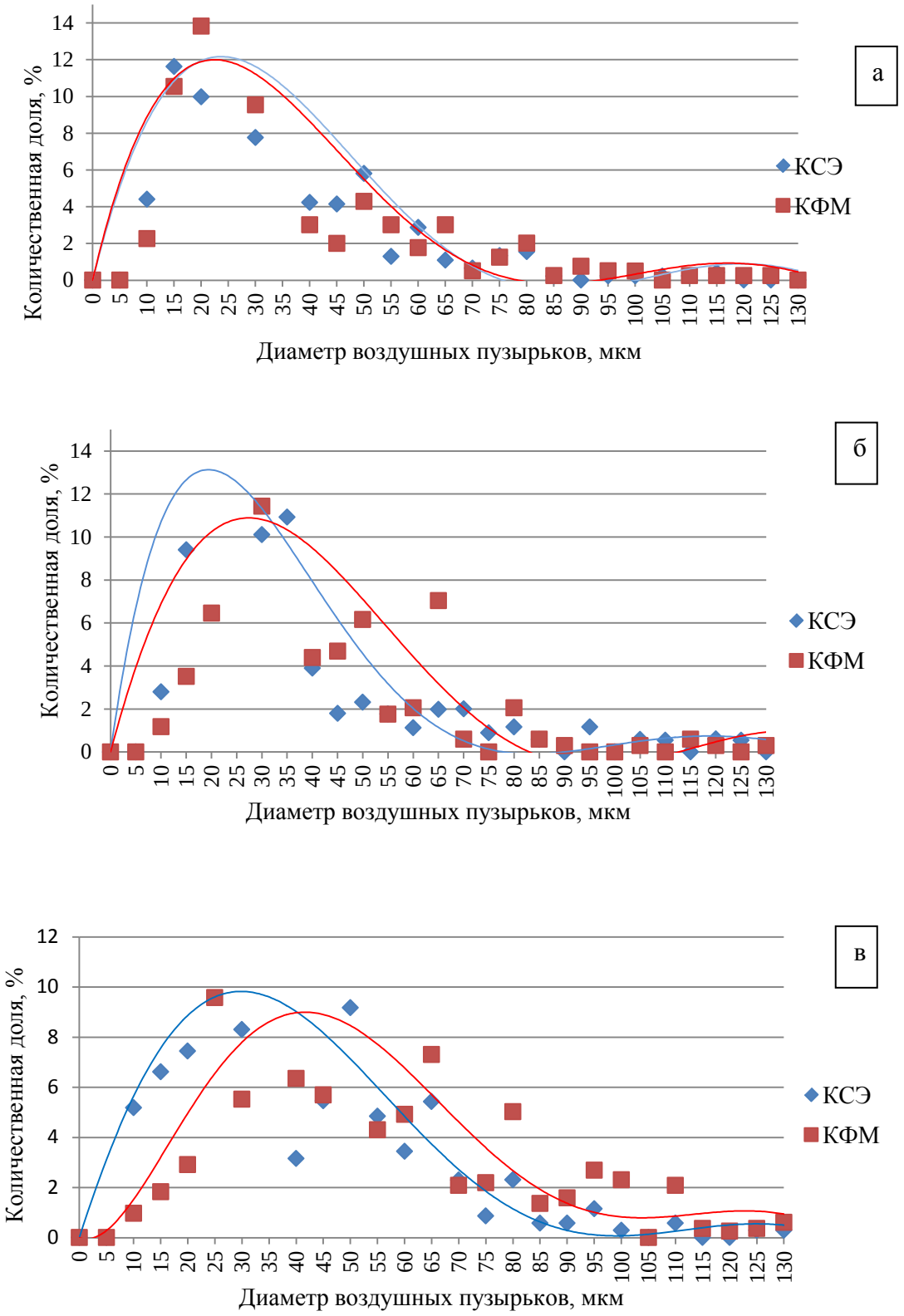
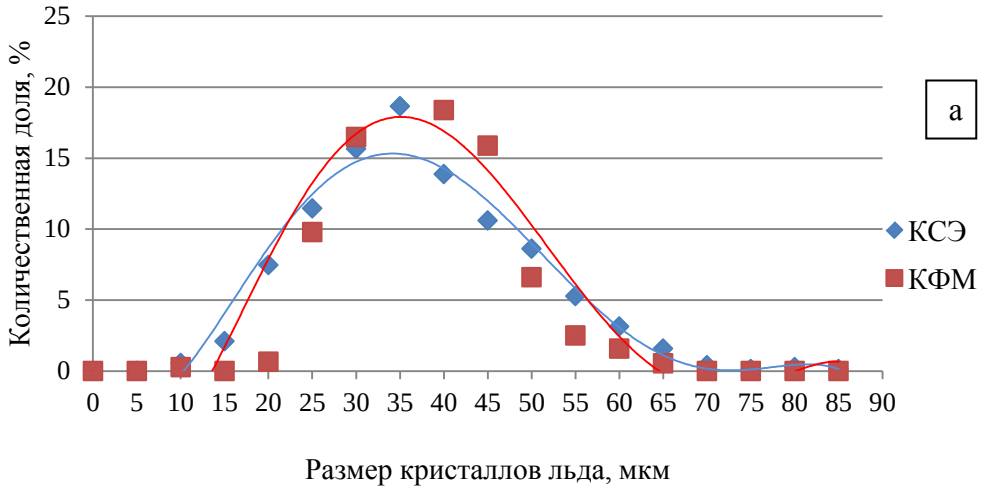
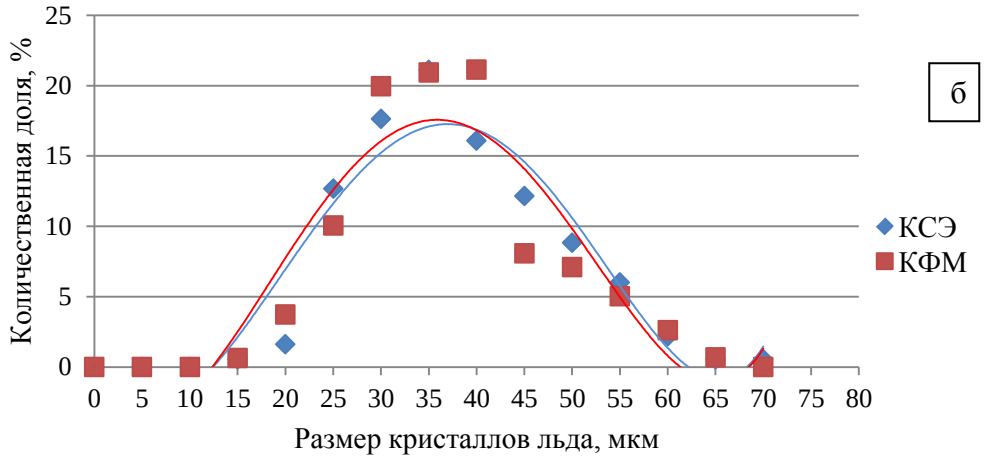


Рисунок 33 – Распределение воздушных пузырьков по размерам в процессе хранения: а) через 1 месяц; б) через 3 месяца; в) через 6 месяцев

Образец	Зависимость	Коэффициент достоверности аппроксимации, R^2
Через 1 месяц хранения		
КСЭ	$y = -2E\text{-}08x^5 + 1E\text{-}06x^4 + 0{,}000x^3 - 0{,}034x^2 + 1{,}178x$	0,688
КФМ	$y = -8E\text{-}09x^5 - 1E\text{-}06x^4 + 0{,}000x^3 - 0{,}041x^2 + 1{,}262x$	0,672
через 3 месяца		
КСЭ	$y = 3E\text{-}08x^5 - 9E\text{-}06x^4 + 0{,}001x^3 - 0{,}069x^2 + 1{,}660x$	0,638
КФМ	$y = -2E\text{-}08x^5 + 2E\text{-}06x^4 + 6E\text{-}05x^3 - 0{,}020x^2 + 0{,}886x$	0,626
через 6 месяцев		
КСЭ	$y = -2E\text{-}08x^5 + 4E\text{-}06x^4 - 0{,}000x^3 - 0{,}010x^2 + 0{,}677x$	0,749
КФМ	$y = -6E\text{-}08x^5 + 1E\text{-}05x^4 - 0{,}001x^3 + 0{,}031x^2 - 0{,}078x$	0,678





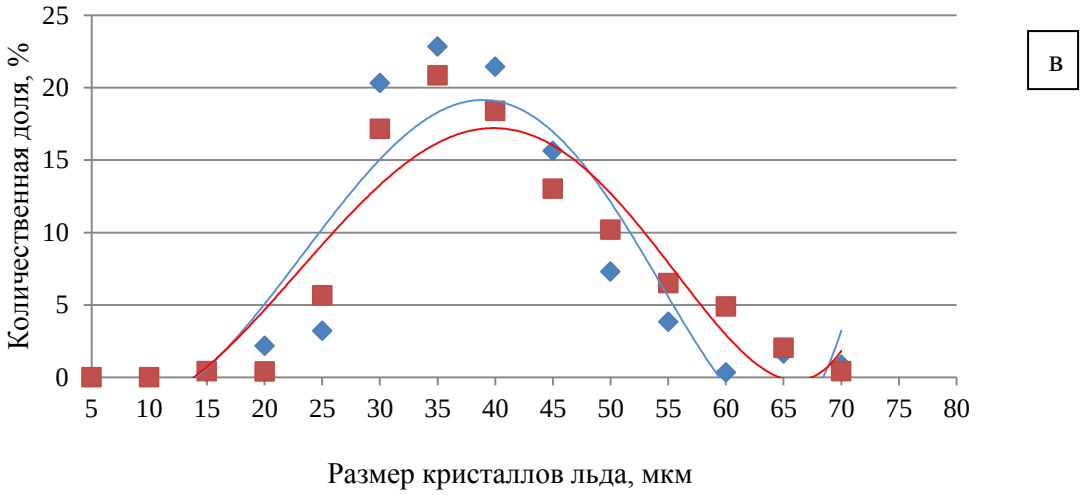


Рисунок 34– Распределение кристаллов льда по размерам в процессе хранения: а) через 1 месяц; б) через 3 месяца; в) через 6 месяцев

Образец	Зависимость	Коэффициент достоверности аппроксимации, R^2
Через 1 месяц хранения		
КСЭ	$y = 5E\text{-}07x^5 + 6E\text{-}05x^4 - 0{,}005x^3 + 0{,}156x^2 - 1{,}148x$	0,962
КФМ	$y = 3E\text{-}06x^5 + 8E\text{-}05x^4 - 0{,}007x^3 + 0{,}235x^2 - 2{,}081x$	0,867
через 3 месяца		
КСЭ	$y = 7E\text{-}06x^4 - 0{,}002x^3 + 0{,}116x^2 - 1{,}088x$	0,956
КФМ	$y = 3E\text{-}05x^4 - 0{,}003x^3 + 0{,}147x^2 - 1{,}314x$	0,932
через 6 месяцев		
КСЭ	$y = 1E\text{-}05x^5 - 7E\text{-}05x^4 + 0{,}001x^3 + 0{,}037x^2 - 0{,}666x$	0,932
КФМ	$y = 1E\text{-}05x^5 - 3E\text{-}05x^4 + 0{,}000x^3 + 0{,}052x^2 - 0{,}7$	0,948

Результаты исследований дисперсности структурных элементов (рисунки 33,34) свидетельствуют, что в образцах сохраняется высокая дисперсность кристаллов льда в течение 6 месяцев хранения, средний размер кристаллов льда не превышал 38 мкм. В образце с КФМ количественная доля кристаллов льда размером до 50 мкм на конец срока хранения снизилась незначительно (на 8,5 %).

По результатам видно, что воздушная фаза с эффективным стабилизатором-эмульгатором наиболее стабильна. Через 6 месяцев хранения произошло снижение количества мелких пузырьков (до 50 мкм) в образце 1 на 8 %, в образце 2 – на 22%.

Как и следовало ожидать, показатель «дисперсность воздушной фазы» в мороженом с МС оказался менее конкурентоспособным в процессе хранения, чем

в мороженом с КСЭ. При этом следует отметить наиболее заметное снижение дисперсности при использовании в мороженом КФМ (рис.35 б, 36).

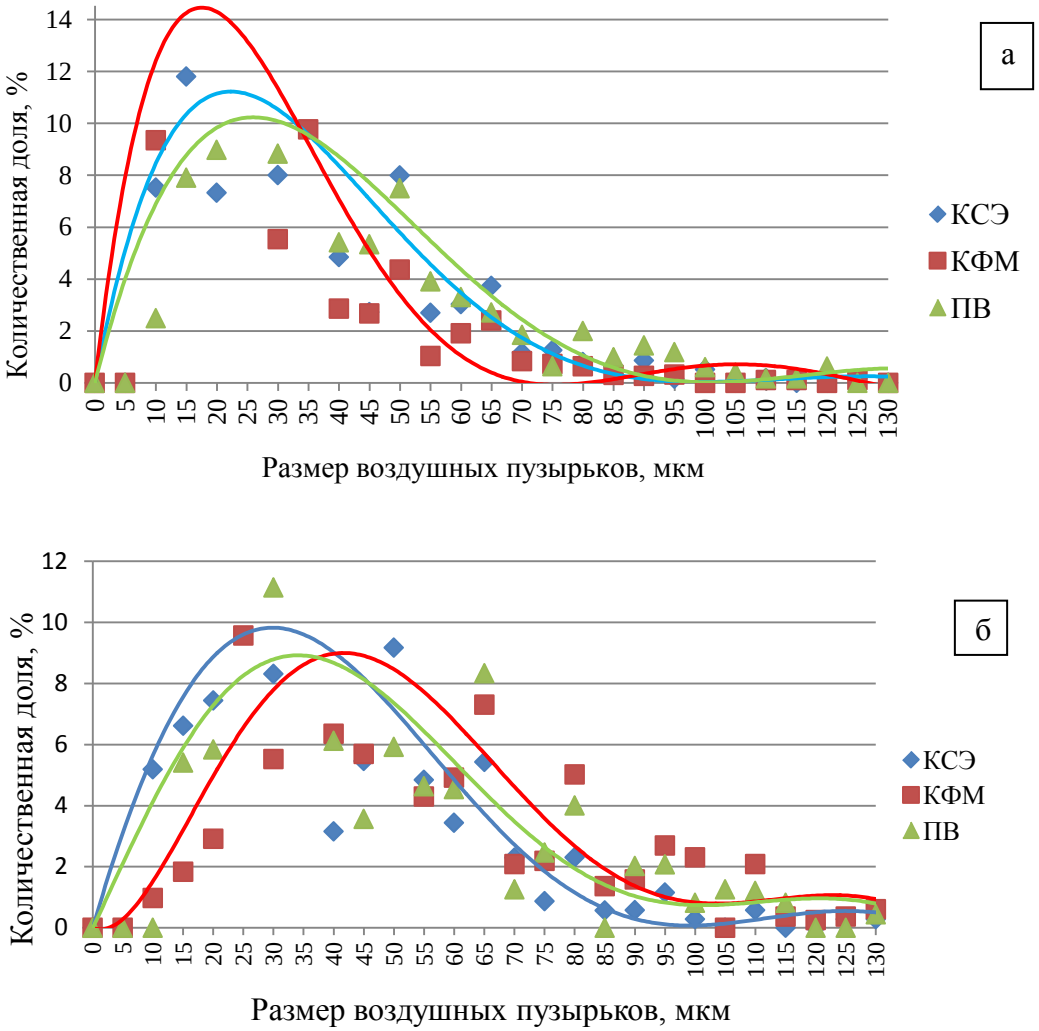


Рисунок 35 - Распределение воздушных пузырьков по размерам:

а) после закаливания и б) через 6 месяцев хранения

Образец	Зависимость	Коэффициент достоверности аппроксимации, R^2
После закаливания		
КСЭ	$y = 2E\text{-}08x^5 - 5E\text{-}06x^4 + 0{,}000x^3 - 0{,}045x^2 + 1{,}241x$	0,753
КФМ	$y = 6E\text{-}08x^5 - 1E\text{-}05x^4 + 0{,}001x^3 - 0{,}094x^2 + 2{,}027x$	0,78
ПВ	$y = -2E\text{-}09x^5 - 8E\text{-}07x^4 + 0{,}000x^3 - 0{,}027x^2 + 0{,}938x$	0,754
через 6 месяцев		
КСЭ	$y = -2E\text{-}08x^5 + 4E\text{-}06x^4 - 0{,}000x^3 - 0{,}010x^2 + 0{,}677x$	0,749
КФМ	$y = -6E\text{-}08x^5 + 1E\text{-}05x^4 - 0{,}001x^3 + 0{,}031x^2 - 0{,}078x$	0,678
ПВ	$y = -4E\text{-}08x^5 + 6E\text{-}06x^4 - 0{,}000x^3 + 0{,}003x^2 + 0{,}415x$	0,702

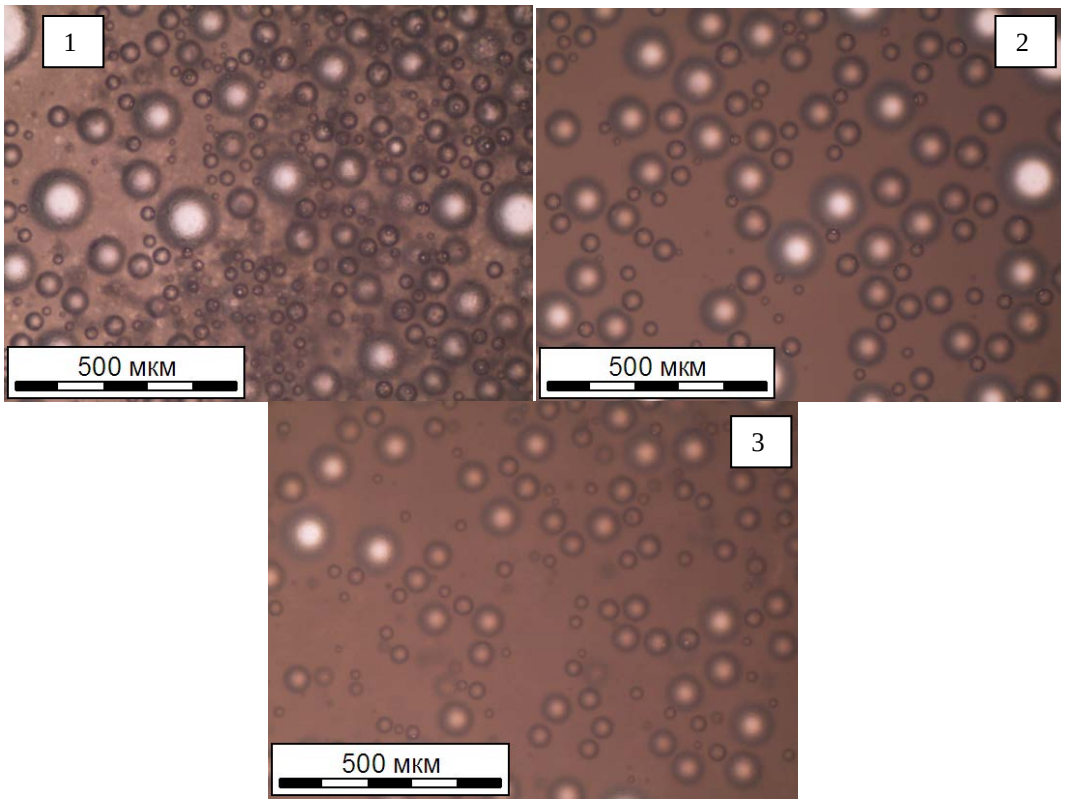


Рисунок 36 - Состояние воздушной фазы через 6 мес. хранения в мороженом с массовой долей жира 15%: 1- с КСЭ, 2 – с КФМ, 3 – с ПВ

Использование эмульгатора способствует снижению вероятности изменения размеров пузырьков воздуха, в основном благодаря эффекту дестабилизации жира.

В зарубежной и отечественной практике изменение размеров пузырьков воздуха в мороженом не изучалось подробно, как изменения размеров кристаллов льда, и поэтому конкретные механизмы их изменений известны меньше. В связи с этим, был проведен ряд исследований воздушной фазы мороженого при хранении. Аналогично кристаллам льда, средний размер воздушных пузырьков при хранении имеет тенденцию к увеличению, при этом, чем выше температура хранения, тем больше темп снижения дисперсности.

В работе изменения размеров воздушных пузырьков изучались методом оптической микроскопии. Микрофотографии воздушной фазы образцов показаны на рис. 37.

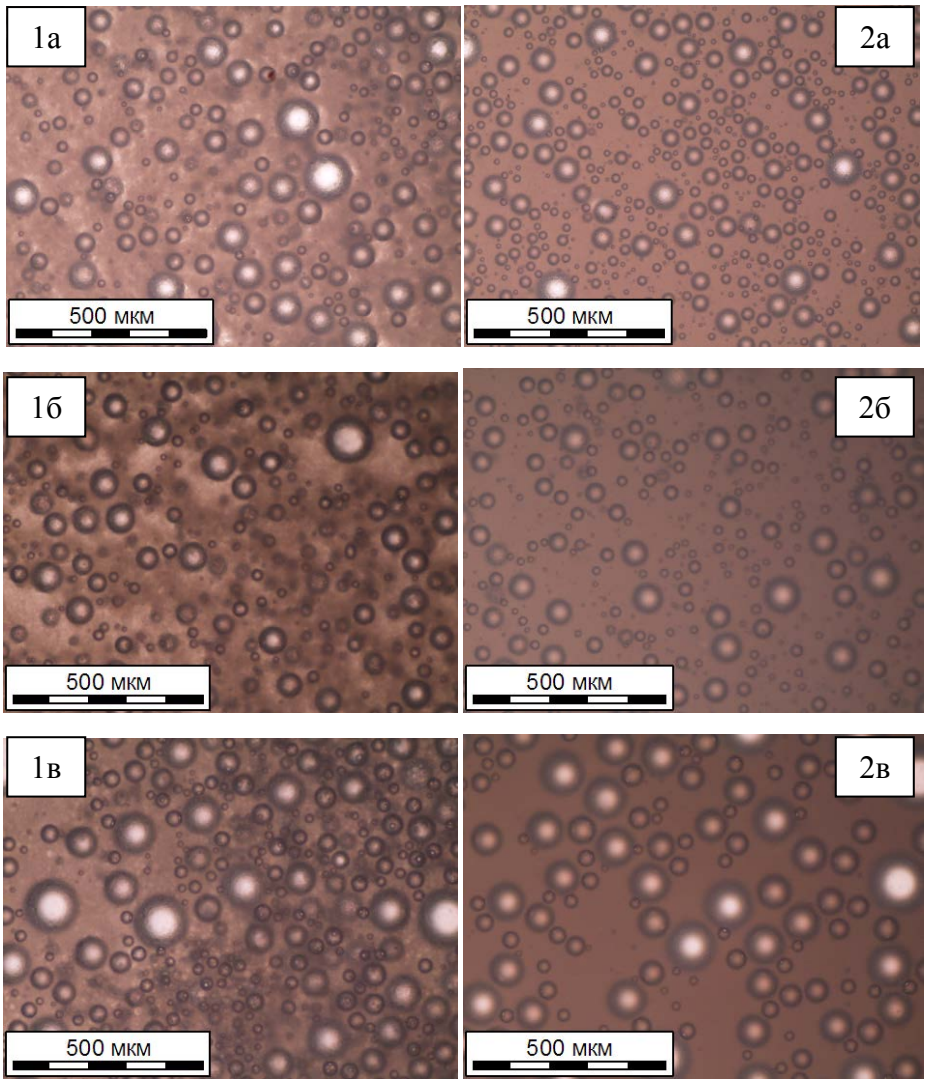


Рисунок 37- Состояние воздушной фазы в мороженом 15% жирности:1а- с КСЭ, 2а – с КФМ после закаливания; 1б- с КСЭ, 2б – с КФМ через 3 мес. хранения; 1в- с КСЭ, 2в – с КФМ через 6 мес. хранения

Как следует из данных, приведенных в табл. 14 п. 3.1.2.1 и на рис. 37 в мороженом с КФМ в процессе хранения воздушная фаза нестабильна. Установлено, что средний диаметр пузырьков воздуха при хранении в течение 4 мес.при температуре – 18 °С увеличился в 1,4 раза, а через 6 мес. в 1,9 раза.

С увеличением размеров воздушных пузырьков консистенция и вкусовые достоинства продукта ухудшаются, поэтому мороженое с КФМ не следует хранить более 6 месяцев.

Можно предположить, что увеличение воздушных пузырьков в образце с крахмалом происходит в связи с протеканием процесса коалесценции, когда два воздушных пузырька вступают в контакт, мембрана, разделяющая их, плавится и

образуется один пузырек большего размера. Для более подробного изучения этого процесса были проведены исследования по оценке расстояний между соседними пузырьками воздуха (таблица 13).

Таблица 13 - Расстояния между воздушными пузырьками в мороженом

Образец	Расстояние, среднее значение, мкм	Количественная доля расстояний до 10 мкм, %
1КСЭ	19	10
2КФМ	9,6	59

В образце с КФМ 59% пузырьков находятся на расстоянии менее 10 мкм друг от друга (рисунок 38), эта область находится в зоне меньшего энергетического барьера, следовательно, поэтому и происходит слияние двух соседних пузырьков. В образце 1 большинство пузырьков находятся на расстоянии около 19 мкм друг от друга, преодолеть энергетический барьер более 10 мкм сложнее, поэтому слипания пузырьков почти не происходит, средний диаметр сохраняется на уровне 35 мкм.

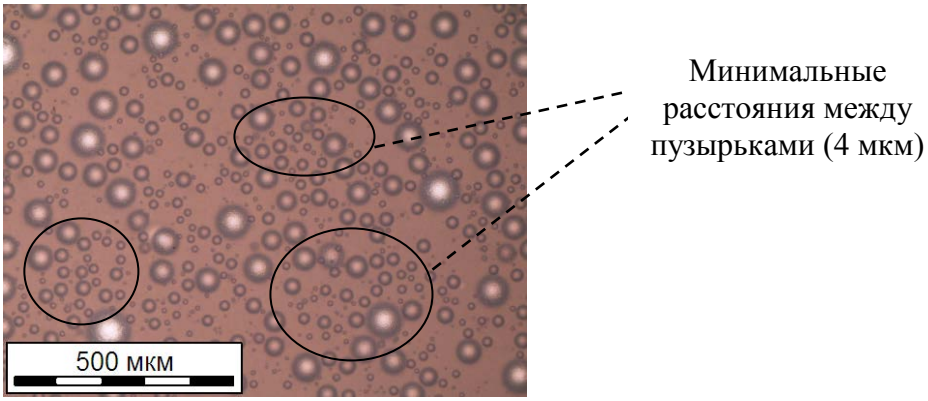


Рисунок 38 – Микрофотография состояния воздушной фазы в мороженом с КФМ

3.1.2.1 Исследование дисперсности структурных элементов при температурных колебаниях в мороженом пломбир

При использовании МС (до 90 – х г.г. 20 века) срок годности мороженого пломбир при температуре не выше – 18 °С не превышал 3 мес. [94]. При использовании комплексных стабилизаторов-эмульгаторов в более поздние периоды обоснована возможность хранения этого продукта при указанных условиях не более 12 мес.

В процессе хранения постепенно происходит нежелательное укрупнение кристаллов льда и лактозы. Это проявляется тем быстрее, чем выше температура хранения, более значительны ее колебания и дольше срок резервирования.

Одной из самых серьезных проблем при хранении мороженого являются нарушения температурного режима и их влияние на кристаллы, пузырьки воздуха и другие структурные элементы [10].

С учетом выявленных особенностей КФМ были проведены исследования по влиянию температурных колебаний на микроструктурные показатели мороженого пломбир с массовой долей жира 15 % с использованием КСЭ и КФМ (таблица 14).

Таблица 14 - Характеристика структурных элементов экспериментальных образцов в процессе хранения.

	Образец №1 (КСЭ)			Образец №2 (КФМ)		
Срок хранения	1 мес.	4 мес.	6 мес.	1 мес.	4 мес.	6 мес.
Без колебаний						
Ср. диаметр воздушных пузырьков, мкм	30	32	35	32	36	49
Содержание воздушных пузырьков размером до 50 мкм, %	88	86	81	84	82	62
Ср. размер кристаллов льда, мкм	33	36	36	35	35	38
Содержание кристаллов льда размером до50 мкм, %	90	88	88	95	93	86

По данным, приведенным в табл.14, видно, что в образце с КСЭ средний диаметр воздушных пузырьков после 1 месяца хранения не превышал 30 мкм, содержание кристаллов льда размером меньше 50 мкм, определяющим порог органолептической ощутимости, составил около 90%. Через 6 месяцев хранения содержание кристаллов льда указанного размера незначительно снизилось (до 88%).

В образце 2 содержание кристаллов льда до 50 мкм через 6 месяцев хранения составил 86 %, что незначительно ниже, чем в пломбире с КСЭ.

Первоначальный средний диаметр воздушных пузырьков в мороженом пломбир (образец №1) через 6 месяцев хранения увеличился не более чем в 1,2 раза, во 2 образце – в 1,5 раза.

Изучено и влияние температурных колебаний в диапазоне температур минус 18ºС- минус 12 ºС- минус 18ºС на дисперсность воздушных пузырьков и кристаллов льда в процессе хранения в исследуемых образцах.

В ходе исследования экспериментальных образцов было проведено 3 цикла температурных колебания от минус 18 °С до минус 12°С.

Результаты исследований влияния температурных колебаний на состояние структурных элементов образцов №1 и №2 представлены в табл. 15.

Таблица 15 - Характеристика структурных элементов экспериментальных образцов №1 и №2 в процессе хранения (после влияния температурных колебаний)

	Образец №1 (КСЭ)		Образец №2 (КФМ)	
1 колебание				
Срок хранения	0,5 мес.	2 мес.	0,5 мес.	2 мес.
Ср. диаметр воздушных пузырьков, мкм	29+/-2		31+/-2	
Ср. размер кристаллов льда, мкм	37+/-2		35+/-2	
Содержание кристаллов льда размером до 50 мкм, %	89	84	92	85
2 колебания				
Ср. диаметр воздушных пузырьков, мкм	32+/-2		32+/-1	
Ср. размер кристаллов льда, мкм	42+/-2		39+/-2	
Содержание кристаллов льда размером до 50 мкм, %	87	83	82	81
3 колебания				
Ср. диаметр воздушных пузырьков, мкм	38+/-2		40+/-2	
Ср. размер кристаллов льда, мкм	48+/-2		41±1	
Содержание кристаллов льда размером до50 мкм, %	69	64	80	78

Как следует из данных, приведенных в табл. 15, в двух образцах мороженого пломбир произошло снижение дисперсности воздушной фазы в

процессе хранения в условиях температурных колебаний. 1 колебание температур в диапазоне минус 18°С-минус 12°С- минус 18°С температуры не приводит к заметному изменению дисперсности воздушных пузырьков. В мороженом пломбир с КСЭ средний диаметр воздушных пузырьков после изготовления составил 26 мкм, через 2 месяца хранения после двухкратных температурных колебаний в диапазоне температур минус 18°С - минус 12°С - минус 18°С он увеличился в 1,2 раза, после трехкратных колебаний - в 1,5 раза.

В мороженом пломбир с КФМ средний диаметр воздушных пузырьков после изготовления составил 29 мкм и увеличился за указанный период времени, соответственно, в 1,1 раза и в 1,4 раза. Микрофотографии состояния воздушной фазы в мороженом пломбир приведены на рисунках 39, 40.

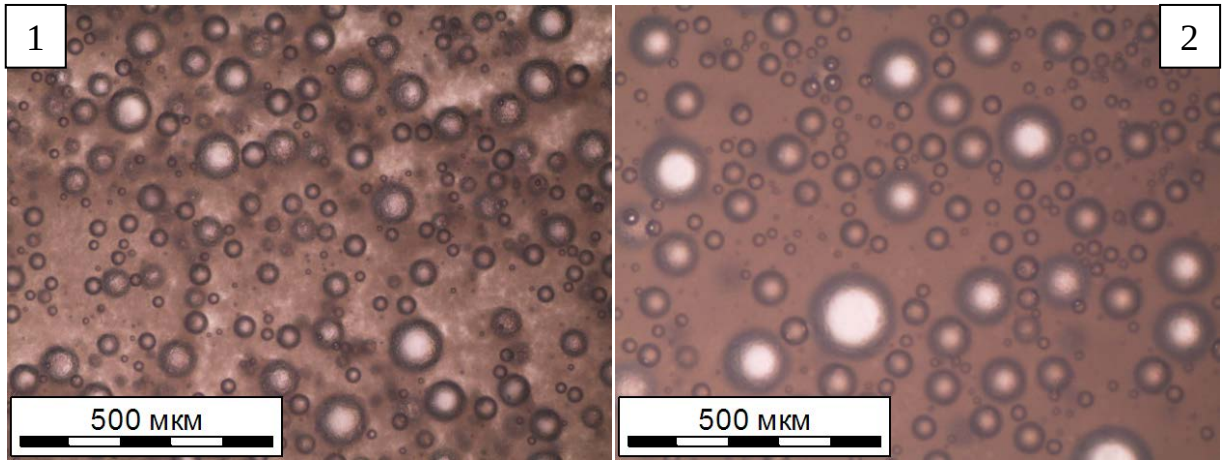


Рисунок 39 - Микрофотографии состояния воздушной фазы после 2 колебаний через 2 мес. хранения в мороженом пломбир: 1 - с КСЭ; 2 -с КФМ

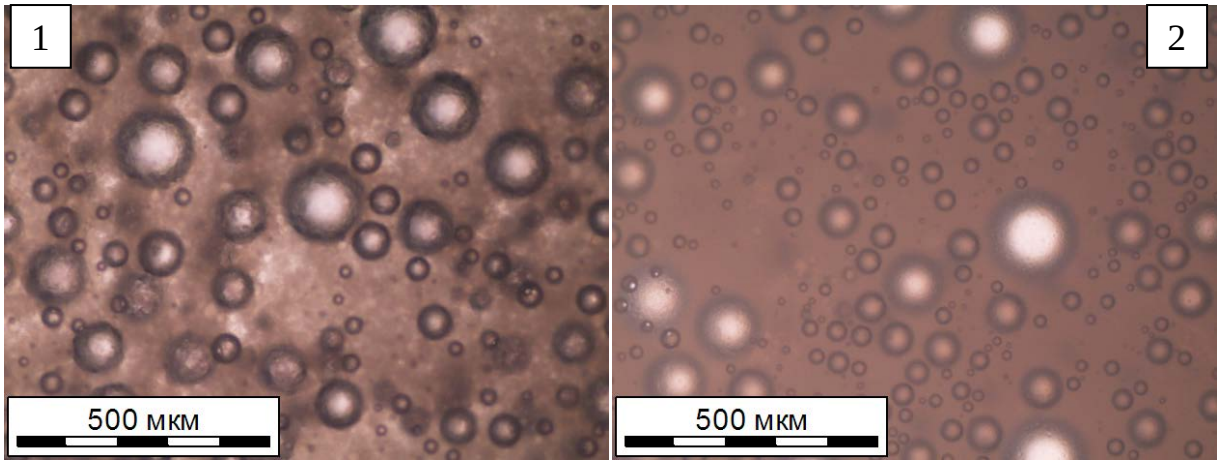


Рисунок 40 - Микрофотографии состояния воздушной фазы после 3 колебаний через 2 мес. хранения в мороженом пломбир:1 - с КСЭ; 2 -с КФМ

На основании полученных данных распределения кристаллов льда по размерам, приведенных на рис. 41, колебания температуры приводят к снижению дисперсности кристаллов.

При повышении и дальнейшем понижении температуры хранения происходит их рекристаллизация. На основании исследования установлено, что 1 колебание сказывается на кристаллах льда не так заметно. Вместе с тем, после двух и более колебаний заметно наличие тенденции старения кристаллов льда в процессе хранения. Происходит снижение числа мелких кристаллов и увеличение за их счет крупных кристаллов, а так же отмечено изменение формы кристаллов ("скругление").

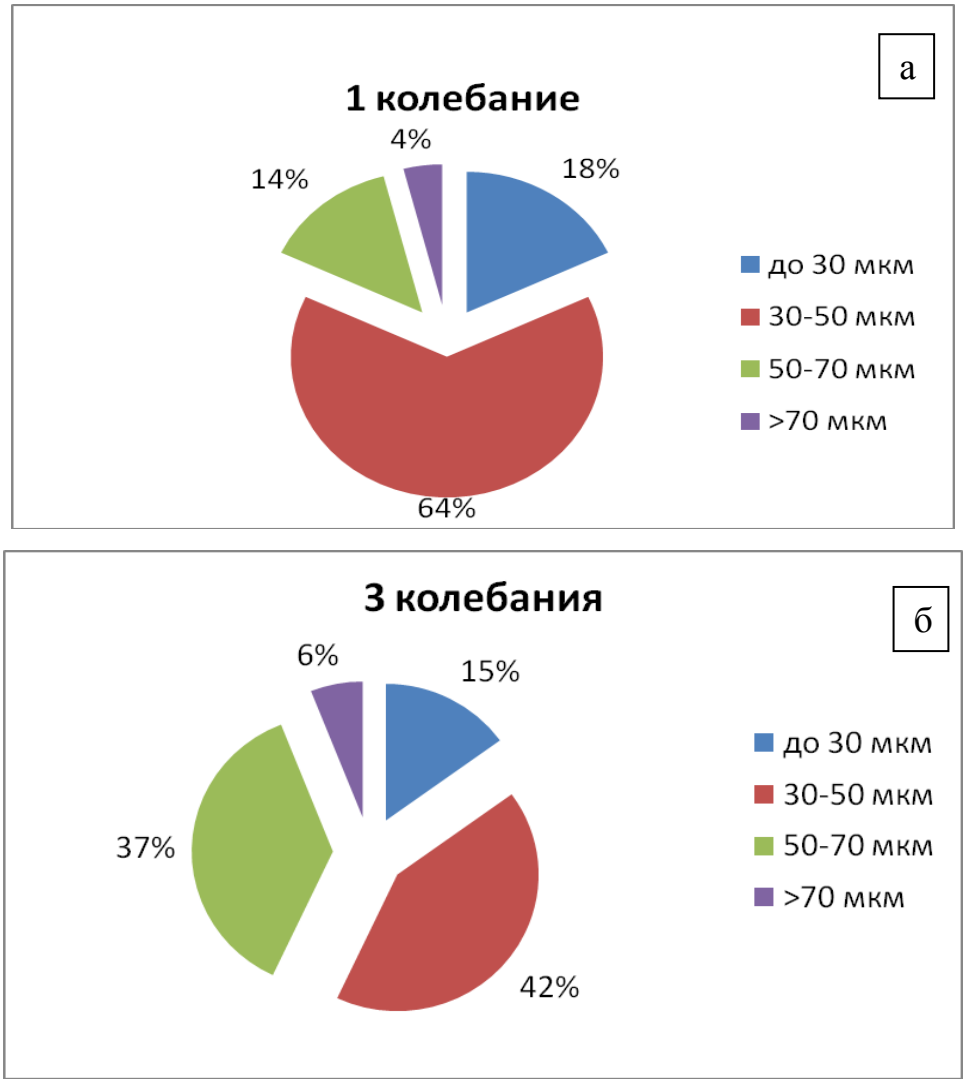


Рисунок 41 - Распределение кристаллов льда по размерам в мороженом пломбир с КСЭ: а) 2 мес. хранения, 1 колебание; б) 2 мес. хранения, 3 колебания

Правомочность предположения подтверждают фотоизображения кристаллов льда мороженого пломбир (рисунки 42, 43, 44), полученные в процессе хранения через 2 месяца.

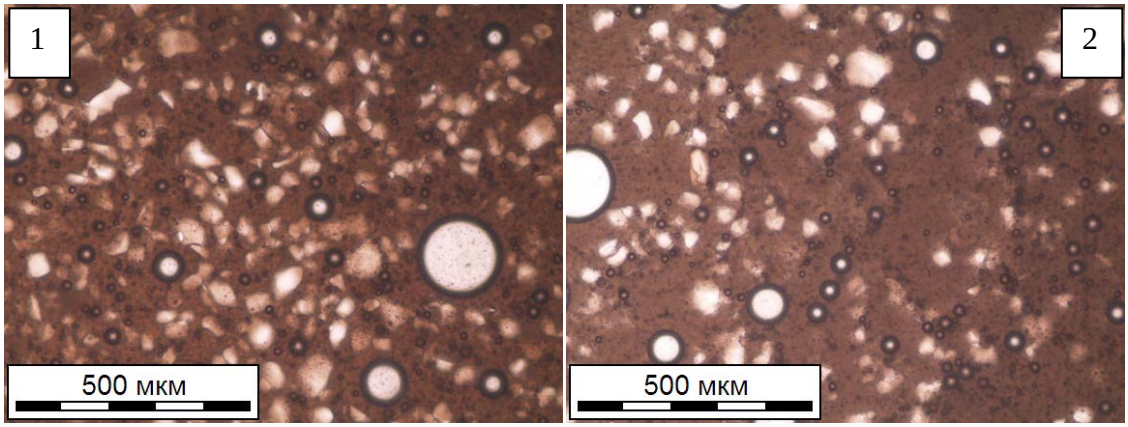


Рисунок 42 - Микрофотографии кристаллов льда после 1 колебания через 2 мес. хранения в мороженом пломбир:1 -с КСЭ; 2 -с КФМ

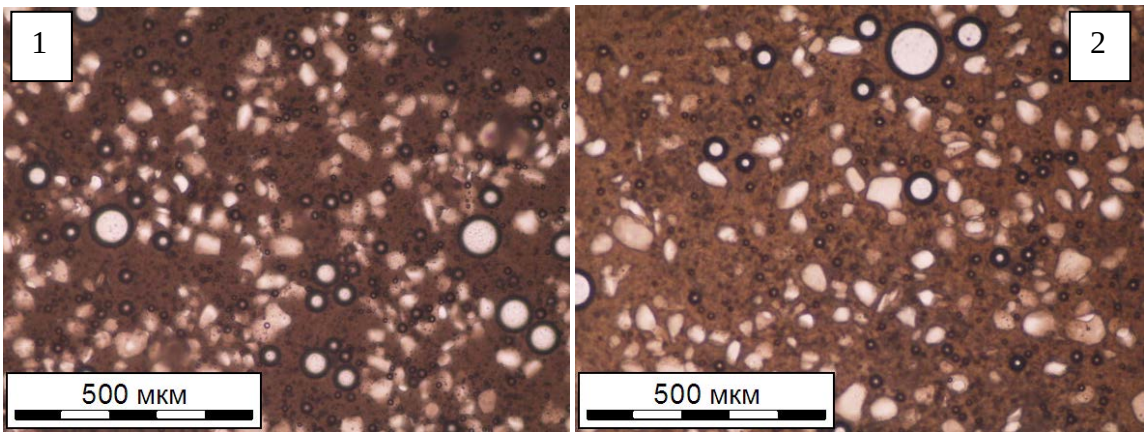


Рисунок 43 - Микрофотографии кристаллов льда после 2 колебаний через 2 мес. хранения в мороженом пломбир:1 с КСЭ; 2 -с КФМ

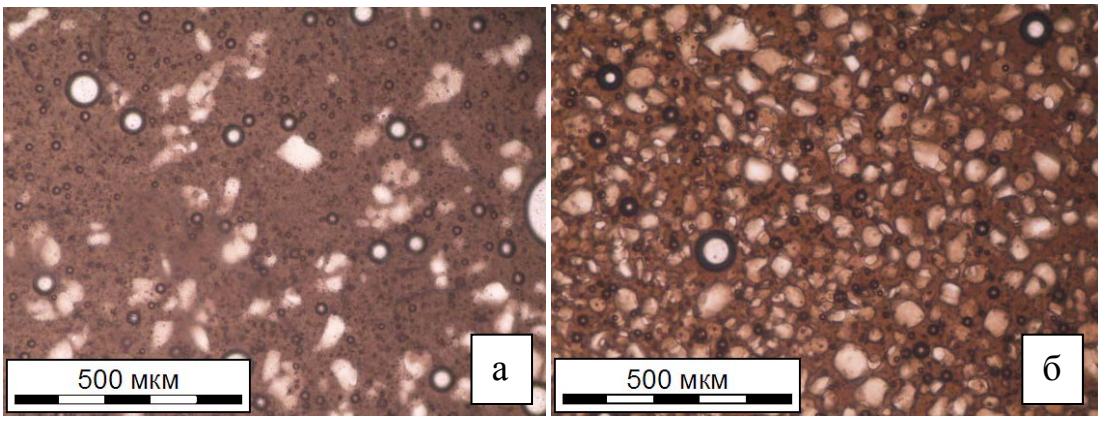
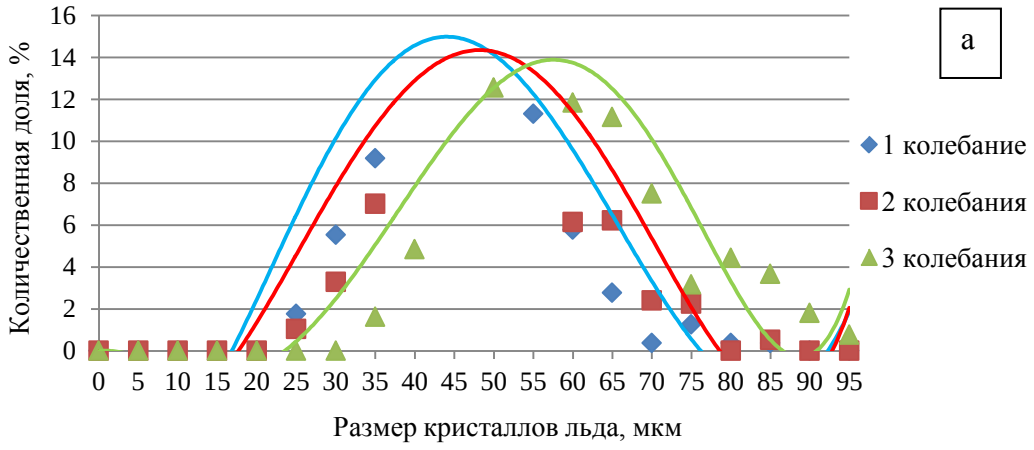


Рисунок 44 - Микрофотографии кристаллов льда после 3 колебаний через 2 мес. хранения в мороженом пломбир:1 - с КСЭ; 2 - с КФМ

Наиболее достоверное представление о распределении кристаллов льда по размерам дает графическая обработка результатов исследований. На рис. 45 и 46 приведены кривые распределения кристаллов льда по размерам соответственно в образцах с КСЭ и с КФМ

О снижении дисперсности структурных элементов свидетельствует перемещение пика дифференциальной кривой распределения по оси X вправо.



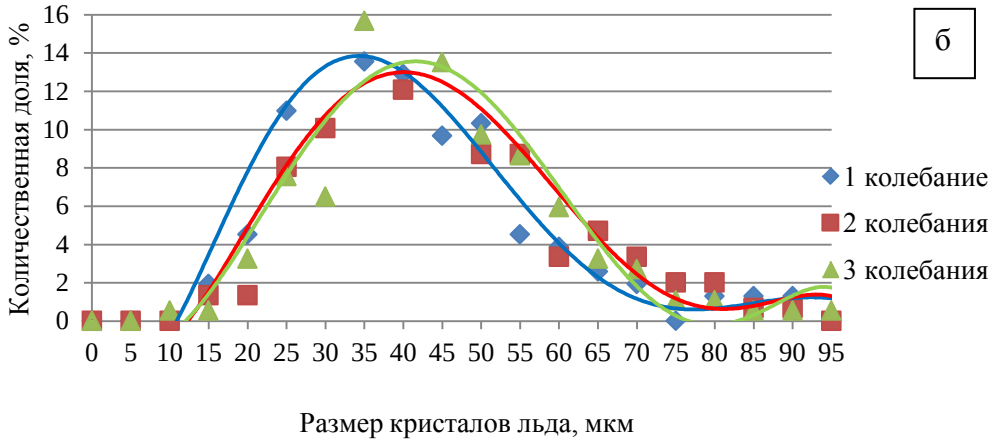


Рисунок 45- Распределение кристаллов льда по размерам в мороженом пломбир: а -с КСЭ; б - с КФМ

Количество колебаний	Зависимость	Коэффициент достоверности аппроксимации, R^2
КСЭ		
1	$y = 4E\text{-}07x^5 - 2E\text{-}05x^4 - 0{,}000x^3 + 0{,}064x^2 - 0{,}692x$	0,884
2	$y = -7E\text{-}07x^5 + 0{,}000x^4 - 0{,}006x^3 + 0{,}193x^2 - 1{,}442x$	0,917
3	$y = 4E\text{-}07x^5 - 4E\text{-}05x^4 + 0{,}001x^3 - 0{,}000x^2 - 0{,}133x$	0,916
КФМ		
1	$y = -6E\text{-}07x^5 + 9E\text{-}05x^4 - 0{,}006x^3 + 0{,}170x^2 - 1{,}257x$	0,907
2	$y = 2E\text{-}08x^5 + 2E\text{-}05x^4 - 0{,}002x^3 + 0{,}088x^2 - 0{,}790x$	0,878
3	$y = 4E\text{-}07x^5 - 2E\text{-}05x^4 - 0{,}000x^3 + 0{,}047x^2 - 0{,}5x$	0,894

Как видно из данных, приведенных на рис. 45 а, снижении дисперсности кристаллов льда в процессе хранения наблюдается только после 3 температурных колебаний в диапазоне минус 18 °С - минус 12 °С - минус 18 °С. Смещение пика синусоиды произошло не менее, чем на 10мкм.

Результаты, приведенные на рис. 45 б, свидетельствуют о минимальном снижении дисперсности кристаллов льда в мороженом пломбир с КФМ в процессе хранения после 3-хколебаний. Смещение пика синусоиды не превысило 5 мкм.

Полученные результаты исследований свидетельствуют о взаимосвязи показателей: способность сохранять вязкость после размораживания и сохранение дисперсности кристаллов льда в результате температурных колебаний.

Представленные на рис. 46 модели характеризуют распределение кристаллов льда по размерам в мороженом пломбир с КСЭ (обр. 1) и с КФМ (обр. 2) через 2 месяца хранения в условиях трехкратных температурных колебаний в диапазоне минус 18°С-минус 12°С- минус 18°С. Как видно из рисунка 18, образец 2 характеризуется наибольшим количеством кристаллов до 50 мкм по сравнению с образцом 1. Пик дифференциальной кривой образца 1 составляет 48 мкм, образца 2 – 42 мкм.

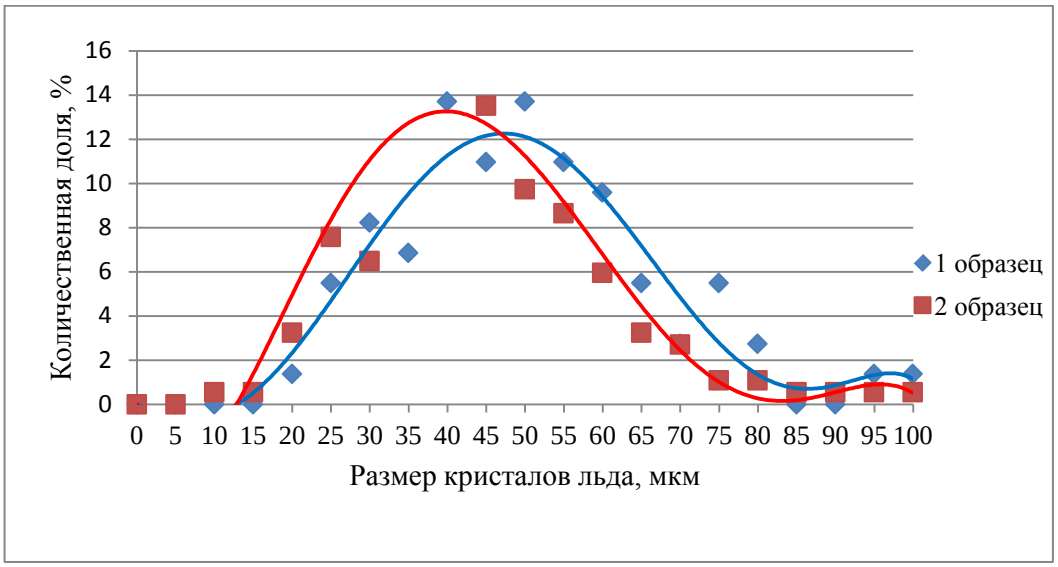


Рисунок 46– Распределение кристаллов льда по размерам через 2 месяца хранения в условиях (после) трехкратных температурных колебаний в диапазоне минус 18°С-минус 12°С- минус 18°С

Образец	Зависимость	Коэффициент достоверности аппроксимации, R^2
через 2 месяца хранения в условиях (после) трехкратных температурных колебаний		
1	$y = 4E\text{-}07x^5 – 4E\text{-}05x^4 + 0,001x^3 – 0,000x^2 – 0,133x$	0,92
2	$y = 3E\text{-}05x^4 - 0,002x^3 + 0,106x^2 - 0,954x$	0,88

По изменениям дисперсности воздушной фазы в процессе колебаний можно сделать вывод о конкурентоспособности КФМ по сравнению с КСЭ.

3.2 Обоснование микро - и макронутриентного состава мороженого пломбир с МС

По физико-химическим показателям (СОМО, массовым долям сухих веществ, сахарозы, кислотности) мороженое должно соответствовать в каждом отдельном случае действующей документации [47].

В соответствии с ГОСТ 31457 – 2012, массовая доля сухого обезжиренного остатка в мороженом пломбир должна быть не более 10%. Содержание сухих веществ в мороженом пломбир с массовой долей молочного жира 15 % - не менее 39%, сахарозы -14%.

3.2.1 Влияние массовой доли жира на структуру мороженого пломбир

Традиционное мороженое пломбир только при массовой доле молочного жира 15 % характеризуется высокими органолептическими показателями, включая кремообразную консистенцию. Что позволяет предположить о значительном влиянии именно такой массовой доли жира на вкус, структуру и консистенцию продукта. Вкусовые достоинства мороженого пломбир обусловлены выраженным вкусом благодаря наличию в продукте низкомолекулярных жирных кислот, в частности масляной.

Несмотря на невысокую массовую долю жира в объеме продукта (для мороженого пломбир (с м.д.ж. 15%) – 7%), благодаря высокой дисперсности частиц, достигаемой в результате повышенной гомогенизации смеси с МС, жир равномерно распределяется во всем объеме продукта.

В процессе фризерования образуется агломерированный жир, который стабилизирует воздушную фазу.

Наличие кристаллического жира в мороженом, в том числе и на поверхности воздушных пузырьков, способствует созданию в структуре продукта своего рода каркаса из отвердевшего жира. Жир в виде агломератов образует трехмерную сетку и удерживается в процессе таяния.

Существует несколько способов определения оценки степени дестабилизации жира, из которых некоторые имеют сложное измерение, а также опасность получения неточных результатов.

Для оценки участия жировой фазы в формировании структуры специально разработана методика определения структурирующего жира по показателю «массовая доля жира, удерживаемая в структуре продукта» ($С_{сж}$). В основу методики положена гипотеза о том, что в высокожирных разновидностях мороженого в формировании структуры участвует не только агломерированный, но и эмульгированный жир при общей м.д.ж.

Содержание структурирующего жира ($С_{сж}$) – выраженное в процентах отношение массовой доли жира, остающегося в структуре мороженого после вытекания плава к общей массовой доле жира.

Для проведения эксперимента были взяты образцы мороженого пломбир с ПВ с м.д.ж. 12%, 15%, 18%, 20%; с КФМ с м.д.ж.15%, 2 образца с КСЭ с м.д.ж. 15%.

Определяли м.д.ж. в мороженом до проведения теста на таяние и в плаве по методике, разработанной в рамках работы и изложенной в разделе 2.3.6.

Результаты $С_{сж}$ представлены в таблице 16.

Таблица 16 - Содержание структурирующего жира в исследуемых образцах

Массовая доля жира в мороженом, %	Массовая доля жира в плаве, %	$С_{сж}$,%
12 с ПВ	9	25
15 с ПВ	7	53
18 с ПВ	5	72
20 с ПВ	3	85
15 с КФМ	5	67

15% с КСЭ	1,5 – 4,0	74 – 90

Установлено, что по мере увеличения м.д.ж. в продукте СЖ повышается (табл. 16).

Как следует из данных, приведенных в табл. 1, при производстве мороженого с м.д.ж. 15% значительная часть жира (не менее 50 %) участвует в формировании структуры продукта. При этом следует отметить значительное различие в $С_{сж}$ при минимально возможной м. д. жира 12 % и 15 %.

3.2.2 Обоснование массовой доли СОМО

Содержание СОМО в мороженом регламентируется более строго. Наименьшая массовая доля СОМО (8% для закаленного мороженого и 10% для мягкого) обоснована опасностью появления порока «органолептически ощутимые кристаллы льда», а также слабовыраженного молочного вкуса. Наибольшее значение СОМО (соответственно 12 и 14%) объясняется возрастающей вероятностью возникновения порока «песчанистость», вызываемого образованием крупных (более 10 мкм) кристаллов лактозы.

Развитию порока «песчанистость» способствует целый ряд второстепенных факторов: колебания температуры хранения готового мороженого, длительность хранения, наличие различных твердых частиц (фруктов, орехов и т.п.). Поэтому точно установить предельно допустимое содержание СОМО нельзя. Однако для его расчета можно воспользоваться следующей формулой:

$$К_с = \frac{100 - С_с}{К}, \qquad (15)$$

где $К_с$ – максимально допустимое содержание СОМО, %; $С_с$ – суммарное содержание сухих веществ (за вычетом СОМО), %; К – коэффициент, зависящий от продолжительности и условий хранения мороженого.

В обычных условиях хранения (температура – 8 °С, продолжительность хранения около двух недель) при отсутствии сильных колебаний температуры К = 6,9. В случае приготовления мороженого для длительного хранения следует принимать К = 7,3.

Для смеси с ПВ, содержащей 15 % жира, 14% сахара, 0,3 % ПВ, максимальное содержание СОМО, которое можно допустить без опасения вызвать появление «песчанистости», будет равно:

$$\hat{E}_c = \frac{100-(15+14+0{,}3)}{7{,}3} = 9{,}7 .$$

Содержание сухих веществ смеси составит: 29,3 + 9,7=39.

По перечисленным причинам в смесях с ПВ 12%, 15%, 18%, 20% жирности сохранили максимально допустимое содержание СОМО – 10%.

Ограничивающим фактором для определения массовой доли СОМО является низкая растворимость лактозы и ее кристаллизация в мороженом. По имеющимся в технической литературе данным, определена графическая зависимость растворимости некоторых сахаров от температуры(рисунок 47).

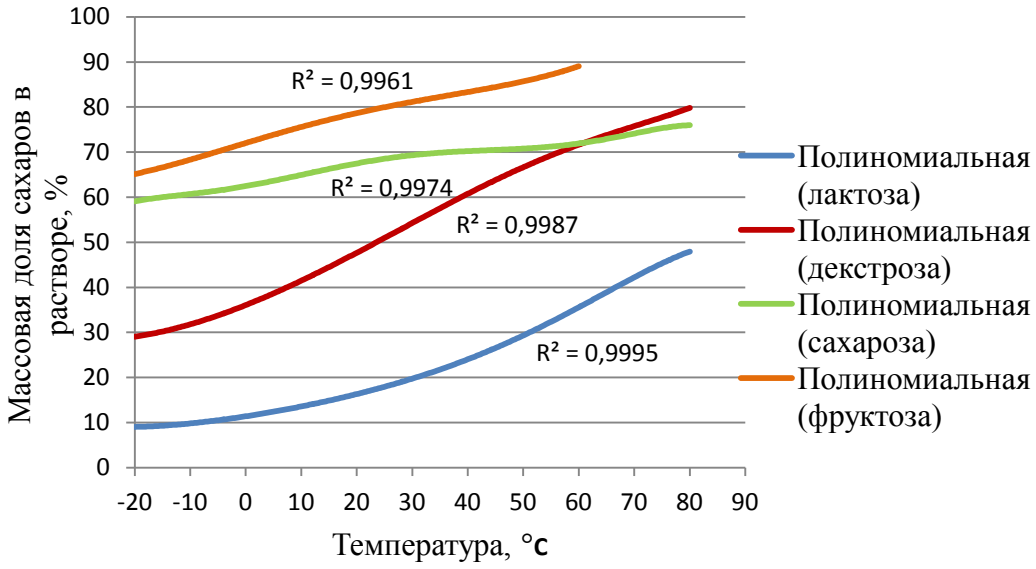


Рисунок 47 – Растворимость в воде сахаров, содержащихся в мороженом

По мнению Ю.А. Оленева, желательно соблюдать определенное соотношение между СОМО и жиром – для закаленного мороженого на молочной основе оно должно быть не менее 0,7.

Для определения оптимальной массовой доли СОМО в мороженом пломбир с различной м.д.ж. разработаны номограммы, учитывающие показатели «соотношение СОМО/жир» и «фактор лактозы» (рис. 48, 49).

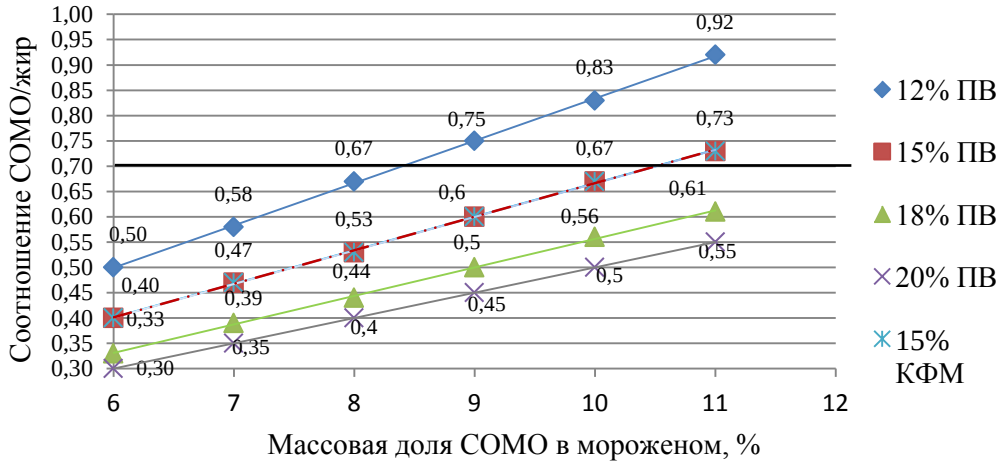


Рисунок 48 – Соотношение СОМО/жир в смесях с ПВ и КФМ

Образец	Зависимость	Коэффициент достоверности аппроксимации, R^2
12% ПВ	y = 0,083x	0,999
15% ПВ	y = 0,066x	0,999
18% ПВ	y = 0,056x	0,999
20% ПВ	y = 0,05x	1,0
15% КФМ	y = 0,066x	0,999

Как следует из данных рис. 48, при массовой доле СОМО 10%, соотношение СОМО/жир составило в мороженом пломбир 0,5-0,83. В пломбире с м.д.ж. 18% и 20% - 0,56 и 0,5, соответственно, что меньше оптимального соотношения (0,7), следовательно, оболочка на жировых шариках в этих случаях неустойчива к механическим воздействиям, значит существует необходимость в увеличении массовой доли СОМО.

Чем выше СОМО, тем более гармоничный вкус имеет мороженое, но вместе с тем увеличивается концентрация лактозы, что в дальнейшем может привести к её кристаллизации при хранении мороженого. Этот дефект проявляется, как «песчанистость», при этом кристаллы лактозы с большим трудом растворяются при потреблении мороженого.

Риск кристаллизации лактозы в растворе возрастает при достижении ее концентрации 10,0%. Учитывая, что массовая доля лактозы в смесях для мороженого составляет 5,4 %, при содержании СОМО 10,0 %, становится очевидным нахождение лактозы в этом случае в состоянии перенасыщенного раствора.

Кроме того, степень перенасыщения растворов лактозы в мороженом зависит от массовой доли сухих веществ в продукте, что обусловлено снижением количества свободной влаги, участвующей в растворении лактозы, по мере повышения в продукте массовой доли сухих веществ. Именно поэтому, насыщение водного раствора мороженого лактозой происходит в смеси для мороженого пломбир уже в среднем при температуре 10˚С, в смеси для сливочного мороженого – при температуре 0˚С, в молочном мороженом – при температуре близкой к криоскопической (в среднем минус 2,3˚С).

Перенасыщение раствора лактозой является необходимым условием роста ее кристаллов, происходит при производстве мороженого за счет повышения ее концентрации в результате вымораживания влаги, как в процессе фризерования смесей для мороженого, так и в процессе дальнейшего закаливания и холодильного хранения продукта. По данным Ю.А. Оленева, образование кристаллов лактозы начинается уже при достижении смесью для мороженого температуры минус 1˚С в процессе фризерования, т.е. еще до начала ее замерзания, а к концу этой стадии технологического процесса наряду с ростом количества кристаллов лактозы, наблюдается увеличение их размеров. Применительно к сливочному мороженому, средний диаметр кристаллов лактозы при температуре минус 5 ^{o}С (температура выгрузки продукта из цилиндра фризера) составляет 5,7 мкм.

Кристаллы лактозы отличаются от кристаллов льда, присутствующих в структуре мороженого, более медленной скоростью растворения, следствием чего является ощущение их в полости рта уже по достижении ими размера свыше 10 мкм, в то время как кристаллы льда начинают ощущаться при более крупных размерах (порядка 50 мкм).

Процесс кристаллизации лактозы происходит в две стадии: формирование зародышей кристаллов лактозы (ядер) и, собственно, сам рост кристаллов. Чем ниже температура хранения, тем меньше риск кристаллообразования лактозы.

С целью подтверждения отсутствия дефекта «песчанитость» были проведены расчеты фактора лактозы ($Ф_л$) по формуле (16):

$$Ф_л = \frac{М_л}{M_в} < 0{,}09, \qquad (16)$$

где $М_л$ и $М_в$ – массовые доли лактозы и воды в мороженом, соответственно.

Результаты расчета фактора лактозы в смесях для мороженого пломбир с ПВ и КФМ, представлены на рис. 49.

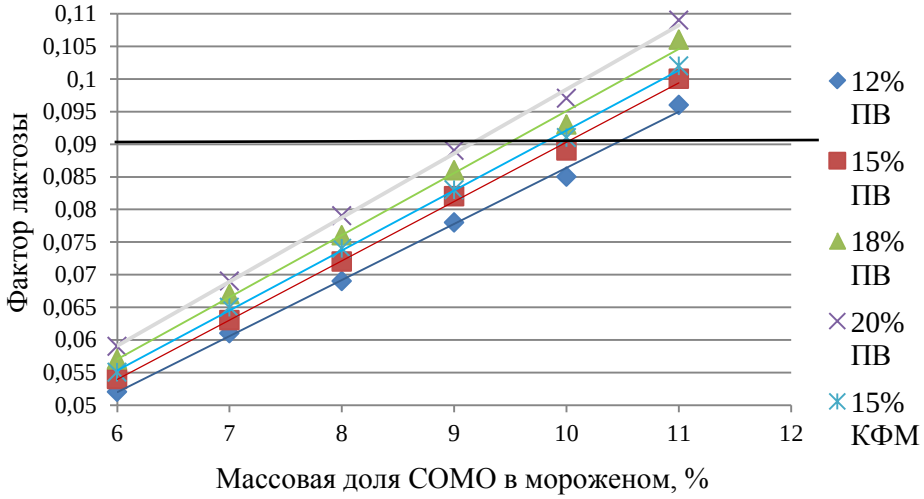


Рисунок 49 – Фактор лактозы в смесях с ПВ и КФМ

Образец	Зависимость	Коэффициент достоверности аппроксимации, R^2
12% ПВ	y = 0,008x	0,997
15% ПВ	y = 0,009x	0,998
18% ПВ	y = 0,009x	0,995
20% ПВ	y = 0,009x	0,998
15% КФМ	y = 0,009x	0,998

Из представленных данных видно, что в образцах см.д.ж. 12% и 15% и содержанием СОМО 10% фактор лактозы не превышает значения 0,09, следовательно, риск кристаллизации лактозы в данном случае незначительный. В связи с высокой м.д.ж., целесообразно увеличить массовую долю СОМО. Однако, как показали расчеты, при этом увеличивается значение фактора лактозы, что недопустимо.

В процессе фризерования при механическом воздействии возможно нарушение целостности оболочки, что способствует деэмульгированию жировой фазы и может привести к образованию масляного зерна – пороку «крупитчатость». При органолептической оценке образцов данного порока не обнаружено.

3.3 Экспериментальное обоснование технологического процесса производства мороженого пломбир с МС

3.3.1 Совершенствование процесса приготовления смесей с МС

По результатам проведенного информационного поиска и экспериментальных исследований было установлено, что создание технологии мороженого с МС является перспективным направлением. В результате исследований показано, что мороженое с МС можно позиционировать как продукт без пищевых добавок или с ограниченным их применением при использовании КФМ и ПВ.

В разделах 3.1.1 и 3.1.2 установлена целесообразность введения ПВ и КФМ в мороженое пломбир в качестве стабилизаторов структуры, определены их оптимальные массовые доли в зависимости от содержания молочного жира в количестве 0,15-0,45% для ПВ и 1,5% для КФМ.

Экспериментальные исследования показали, что использование ПВ и КМФ не требует применения дополнительного оборудования и изменения параметров основных стадий технологического процесса. Технологический процесс производства мороженого пломбир с МС включает следующие основные стадии: приемка и подготовка сырья, смешивание, компонентов, фильтрование, пастеризация, гомогенизация, охлаждение, хранение смеси, фризерование, фасование, закаливание и упаковывание мороженого.

Особенностью технологии мороженого с МС является создание условий для интенсификации процесса нуклеации с целью нивелирования отсутствия синергетического влияния эмульгаторов и гидроколлоидов стабилизационных систем на процесс формирования структуры.

На интенсификацию нуклеации могут влиять следующие факторы:

- достижение оптимальной вязкости смесей за счет экспериментально обоснованной массовой доли МС и создания условий для перехода их в наиболее активную форму;

- использование МС в качестве центров нуклеации (гранулы КФМ и суспендированные частицы ПВ);

- создание дополнительных центров нуклеации за счет высокой массовой доли жира в продукте и его высокой дисперсности.

- высокая скорость замораживания (в азоте).

В связи с целью достижения высокой нуклеации интенсифицировали процесс подготовки ПВ к использованию.

При использовании емкостного оборудования для приготовления смесей для мороженого пломбир ПВ вносили в смесь перед внесением сухих компонентов при температуре не ниже 40 °С на стадии смешивания. При этом с целью достижения лучшего диспергирования волокон смесь при указанной температуре целесообразно перемешивать в течение времени не менее 20 мин.

При использовании поточного способа смешивания ПВ вносили вместе с сухими компонентами, увеличивая время циркулирования смеси с внесенными сухими компонентами при температуре не ниже 40 °С.

Пастеризацию смеси проводили при температуре 85 °С с выдержкой 50 с.

Важной стадией технологического процесса при производстве смесей с использованием МС является гомогенизация. В данном случае этот процесс проводили не только с целью достижения требуемой дисперсности жировых частиц, но и интенсификации процесса нуклеации. Параметры процесса гомогенизации влияют на средний диаметр и распределение жировых частиц по размерам.

Влияние степени дисперсности жировых частиц и их количества сказывается на вязкости смеси, являющейся непосредственной характеристикой состояния консистенции.

В производстве мороженого с высокой массовой долей жира вязкость смеси можно регулировать за счет количества жировых частиц в массе продукта, путем регулирования давления гомогенизации.

Исследования по определению влияния давления гомогенизации на вязкость проводили на смесях для производства сливочного мороженого (м.д.ж.

10%, источник жира – замороженные сливки (жира 40%, СОМО 5%)). Выбор смеси для сливочного мороженого обусловлен более широким диапазоном возможного давления гомогенизации.

Для достижения более высокой степени дисперсности жировых шариков применяли двухступенчатую гомогенизацию, при проведении которой рекомендуется давление гомогенизации на первой ступени – от 16,0 до 18,0 МПа, на второй ступени (для смесей всех видов мороженого)давление гомогенизации – от 4,0 до 5,0 МПа.

В связи с этим были апробированы:

− традиционно применяемый на первой ступени режим гомогенизации (обр. №4) -18 МПа;

− режим гомогенизации при более низких значениях давления (обр. №2) – 5 МПа;

− режим гомогенизации при более высоких значениях давления (обр. №5) – 22 Мпа

В полученных пробах смеси для мороженого определяли эффективность гомогенизации и эффективную вязкость (таблица 17).

Таблица 17 - Влияние режимов давления двухступенчатой гомогенизации на вязкость смесей

Образец	Давление гомогенизации, 1 ст./2 ст., МПа	Эффективная вязкость смеси, мПа·с	
		До созревания	После созревания
1	7/3	247	259
2	5/5	209	252
3	12/5	251	278
4	18/5	302	310
5	22/5	523	483

В образцах мороженого, полученного из всех пяти проб смеси, определяли температуру при выгрузке из цилиндра фризера и взбитость продукта. Оценивали степень дисперсности жировой и воздушной фаз.

Эффективность гомогенизации смесей для мороженого, оценивали методом микроскопирования разбавленных смесей (рисунок 50).

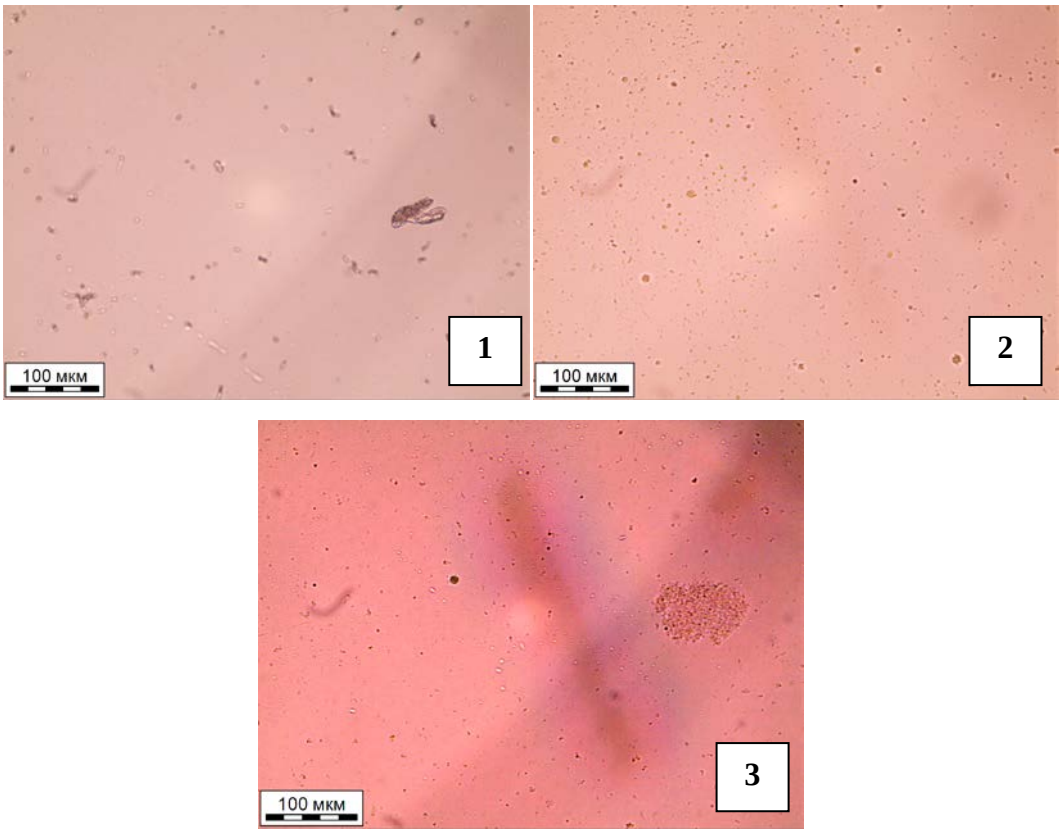


Рисунок 50 - Состояние жировой фазы экспериментальных проб смеси для мороженого после гомогенизации

Как видно на рис. 50 в пробах № 1, 2 и 3 жировые шарики распределены неравномерно в массе смеси и часть из них объединены в кластеры. Средний размер жировых шариков при этом составил 3 мкм.

В пробах № 4 и 5 смеси отмечено более равномерное распределение жировых шариков меньших размеров и отсутствие их скоплений. Средний размер жировых шариков в этих пробах составил 2 мкм.

Из вышеизложенного следует, что по мере увеличения значений давления гомогенизации на первой её ступени эффективность гомогенизации смесей при прочих равных условиях возрастает.

Определение эффективной вязкости смеси для мороженого проводили при температуре смеси (4±0,5) °С и скорости вращения шпинделя 0,83 $с^{-1}$.

Комплекс исследований позволил для смесей сливочного мороженого определить зависимость эффективной вязкости от давления гомогенизации (рисунок 51).

Установлено, что при увеличении давления гомогенизации на 4-6 МПа, вязкость смеси для сливочного мороженого повышается в 1,2-2,0 раза. Это позволяет управлять вязкостью среды посредством регулирования давления гомогенизации [27].

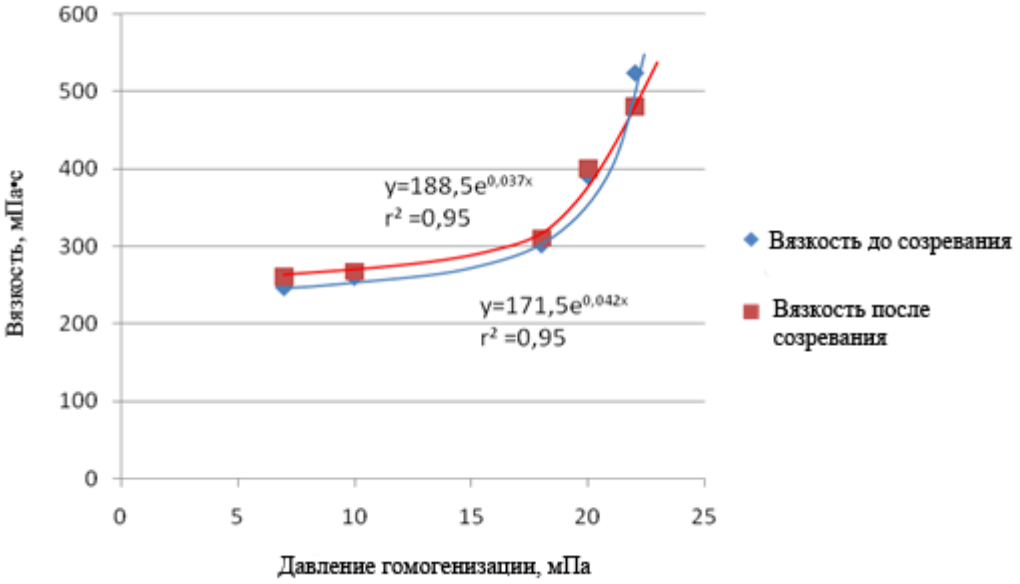


Рисунок 51 - Зависимость вязкости смеси для мороженого от давления гомогенизации на 1-ой ступени

Определяли температуры выгрузки мороженого из цилиндра фризера и взбитости мороженого (таблица 18).

Таблица 18 - Температура выгрузки мороженого из цилиндра фризера и взбитость экспериментальных образцов мороженого

Образец №	Температура мороженого, ˚С	Взбитость мороженого, %
1	- 4,2	75
2	- 4,5	91
3	- 4,4	92
4	-4.0	94
5	-4,0	78

Из результатов исследования следует, что максимальная взбитость мороженого была достигнута в образце, гомогенизация которого проводилась при традиционно применяемом на первой (18 МПа) и второй (5 МПа) ступенях

давлении гомогенизации. Снижение и увеличение давления гомогенизации на первой ступени привело к снижению взбитости мороженого. Последнее свидетельствует о том, что способность смеси для мороженого к насыщению воздухом и взбитость мороженого, вероятно, не зависит от давления гомогенизации смеси, а зависит от количества деэмульгированного жира.

Учитывая результаты исследования по показателю «вязкость» и дисперсности жировой фазы в сливочном мороженом, был произведен подбор режимов гомогенизации смесей для производства мороженого пломбир сПВ. Основная задача при этом состояла в улучшении распределения жировых частиц, которые оказывают влияние на качественные показатели мороженого в целом.

Для оценки влияния давления гомогенизации на эффективную вязкость смеси, и размер жировых частиц были проведены исследования гомогенизированной и негомогенизированной смесей с ПВ.

Результаты исследований представлены в табл. 19 и на рис. 52.

Таблица 19 - Влияние процесса гомогенизации на эффективную вязкость смесей с ПВ

Образец	Эффективная вязкость смеси, мПа·с	
	До созревания	После созревания
1 – гомогенизированная смесь	495	435
2 – смесь без гомогенизации	49	34

Вязкость смеси в образце 1 составила 435 мПа·с, что в 10 раз выше вязкости образца 2.

Для оценки эффективности процесса гомогенизации были исследованы смеси образцов, разбавленные водой в соотношении 1:50 на наличие крупных жировых глобул и слипшихся комочков (рисунок 52).

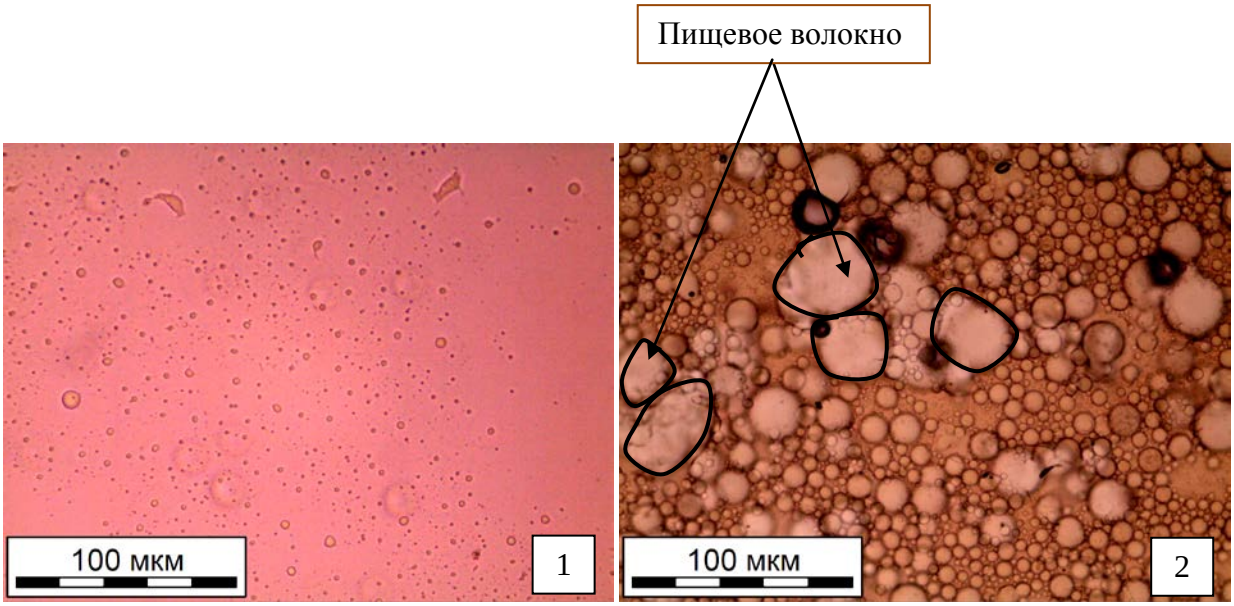


Рисунок 52 – Состояние жировой фазы под микроскопом в пломбире с ПВ с м.д.ж. 15%: 1- с гомогенизацией; 2- без гомогенизации

Средний диаметр жирового шарика после гомогенизации уменьшился в 3 раза первоначального и составил 1,7 мкм, в образце 2, соответственно, 5,6 мкм.

В негомогенизированном образце присутствуют крупные и сгруппированные в кластеры жировые шарики.

Наиболее достоверное представление о распределении жировых частиц по размерам дает графическая обработка результатов исследований. На рис. 53 приведены кривые распределения жировых частиц по размерам соответственно в образцах с гомогенизацией и без гомогенизации [82].

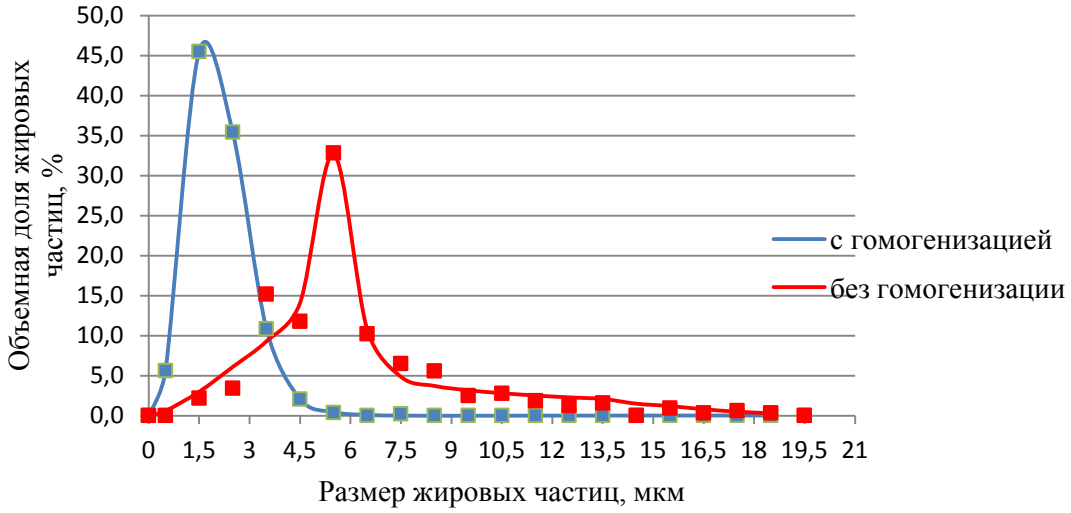


Рисунок 53 – Распределение жировых частиц по размерам в смесях 15 % жирности с ПВ

Образец	Зависимость	При значениях:	Коэффициент достоверности аппроксимации, R^2
С гомогенизацией	$y = \frac{(a + cx + ex^2 + gx^3)}{1 + bx + dx^2 + fx^3 + hx^4}$	a=0,00076403163, b= -1,8009947, c=4,7862253, d=1,3313455, e= -1,0530082, f= - 0,43154562, g=0,056772625, h=0,053802407	0,999
Без гомогенизации	$y = \frac{(a + cx + ex^2 + gx^3)}{1 + bx + dx^2 + fx^3 + hx^4}$	a= -0,20845697, b= -0,62847881, c=1,519977, d=0,18474989, e= -0,46449634, f= - 0,28181006, g=0,037875615, h=0,0017144929	0,944

Как видно из данных, представленных на рис.53, образец с гомогенизацей характеризуется наибольшим количеством мелких жировых частиц до 2 мкм по сравнению с образцом без гомогенизации . Пик синусоиды образца с гомогенизацией составляет 1,5 мкм, образца без гомогенизации 5,5 мкм. В гомогенизированной смеси содержание жировых шариков с размером до 1,5 мкм составило наибольшее количество – 45,5 %, а в образце без гомогенизации всего – 2 %.

С учетом влияния массовой доли жира и его дисперсности на состояние кристаллов льда и воздушной фазы в мороженом пломбир экспериментально определено оптимальное давление гомогенизации смеси. При этом принималось во внимание состояние жировой фазы в смеси: средний диаметр частиц не должен превышать 2 мкм, допускались лишь единичные агломераты частиц (таблица 20).

Таблица 20 - Оптимальное давление гомогенизации смесей для мороженого пломбир с МС

Массовая доля жира в смеси, %	Давление гомогенизации 1ступень/2ступень, МПа
12 с ПВ	14,0/5,0
15 с ПВ, КФМ	11,0/5,0
18 с ПВ	8,0/3,0
20 с ПВ	7,0/3,0

Созревание смеси. Использование ПВ в качестве стабилизаторов без дополнительного использования эмульгаторов позволяет перерабатывать охлажденную смесь без выдержки для созревания. Это позволяет увеличить объем производства мороженого в летнее время, когда спрос на него значительно повышается.

С целью получения мороженого пломбир с ПВ высокого качества при проведении процесса фризерования рекомендуется:

- подавать смесь во фризер при температуре не выше 6 ºС;

- выгружать мороженое пломбир из фризера при температуре, при которой доля вымороженной воды составит не менее 50 % и взбитость не более 100 %.

Рекомендуемые температуры выгрузки мороженого с МС из фризера представлены в таблице 21.

Таблица 21 - Рекомендуемые температуры выгрузки мороженого с МС из фризера

Массовая доля жира в смеси, %	Криоскопическая температура, °С (расчетная)	Температура мороженого после выгрузки из фризера не выше, °С
12 с ПВ	- 2,21	- 4,42
15 с ПВ, КФМ	- 2,31 - 2,36	- 4,62 - 4,72
18 с ПВ	- 2,43	- 4,86
20 с ПВ	-2,52	- 5,04

После фризерования проводят фасование мороженого. При отсутствии эмульгатора мороженое пломбир с МС рекомендуется фасовать непосредственно

в упаковку: вафельные изделия (стаканчики, рожки и пр.), тару из полимерных материалов (стаканчики, контейнеры, лотки и пр.).

Нормы внесения ПВ должны соответствовать ниже приведённым значениям (таблица 22).

Таблица 22 - Нормы внесения ПВ

Массовая доля жира в мороженом, %	Рекомендуемая норма внесения пищевых волокон, %
12	0,45-0,6
15	0,3-0,35
18	0,2-0,25
20	0,15-0,2

Эффективность применения ПВ в производстве мороженого пломбир с массовой долей жира 12 % может быть повышена при использовании эмульгатора моно - и диглицеридов жирных кислот в количестве 0,2 %.

Технология производства мороженого пломбир с КФМ включает процессы, что и производство мороженого с традиционным стабилизатором-эмульгатором.

КФМ вносят в смесь при температуре не выше 40 °С на стадии смешивания одновременно с другими сухими компонентами, если сырьё вносят непосредственно в смесительную ёмкость. При использовании системы интенсивного перемешивания (схема емкость-насос-емкость) температура смеси при внесении крахмала может достигать 70 °С.

Для лучшего диспергирования и сокращения потерь КФМ рекомендуется:

- предварительно смешивать с сахаром-песком в соотношении 1:5;

- постепенно вводить их в смесительную ёмкость при интенсивном перемешивании;

- проводить перемешивание смеси до максимально возможного диспергирования составных частей;

- не проводить фильтрование смеси прежде, чем ее температура достигнет 75 °С;

- в случае необходимости фильтрования смеси при температуре 35 °С–40 °С следует использовать фильтры с размером ячеек 2 – 3 мм.

После смешивания компонентов при температуре 35 °С – 40°С с целью перевода крахмала в активное состояние и сокращения его потерь при следующем фильтровании рекомендуется проводить стадию технологического процесса «подогрев смеси до температуры 75 °С». После фильтрования смесь подают на пастеризацию или гомогенизацию в зависимости от последовательности технологического процесса.

Для выявления особенностей технологии мороженого пломбир с МС физической модификации проведена ее сравнительная характеристика с традиционными технологиями: с применением МС химической модификации (СХМ) и с КСЭ (таблица 23).

Таблица 23 - Особенности технологий мороженого пломбир различного периода

Параметры технологического процесса	С применением СХМ (советского периода)	С применением КСЭ	С применением МС (разрабатываемая технология)
Подготовка и смешивание сырья	Стабилизаторы (желатин, пшеничная мука, агар, пектин) перед внесением подвергают специальной подготовке (ТИ по производству мороженого, 1988 г.), Тс 35-40 °С	КСЭ предварительно смешивают с сахаром-песком в соотношении 1:5, вносят вместе с сухими компонентами, Тс 40-45 °С	При использовании емкостного оборудования ПВ вносят в смесь перед внесением сухих компонентов, Тс 40 °С. Перемешивание смеси не менее 20 мин; При использовании поточного способа смешивания (такой способ бывает при использовании смесевых и интегрированных КСЭ) ПВ вносят вместе с сухими компонентами при увеличении времени циркулирования смеси, Тс 40-45 °С; КФМ предварительно смешивают с сахаром-песком в соотношении 1:5, вносят с сухими комп, Тс 40-45 °С

Фильтрование смеси	При использовании пастеризаторов непрерывного действия смесь фильтруют после смешивания компонентов; в случае аппаратов периодического действия только после пастеризации	Рекомендуется проводить после нагрева смеси до Т 63±2 °С	Рекомендуется проводить после нагрева смеси на ПОУ, Тс 75±2 °С, Ø ячеек фильтра: с ПВ 4-5 мм, с КФМ 2-3 мм
Гомогенизация смеси	Проводят при температуре, близкой к температуре пастеризации; при одноступенчатой гомогенизации давление от 7,0 до 9,0 МПа; при двухступенчатой: 1 ступень – 7,0-9,0 МПа, 2 ступень - 4,5-5,0 МПа	Проводят при Т 63±2 °С; при одноступенчатой гомогенизации давление от 7,0 до 9,0 МПа; двухступенчатой: 1 ст. – 9,0-11 МПа, 2 ст. – 4,0-5,0 МПа.	Для достижения более высокой степени дисперсности жировых шариков рекомендуется двухступенчатая гомогенизация. Давление гомогенизации для смесей с ПВ (1ст/2ст) с м.д.ж.: 12% 14МПа/5МПа; 15% 11МПа/5МПа; 18% 8МПа/3МПа; 20 % 7МПа/3МПа. С КФМ с м.д.ж. 15 % - 11МПа/5МПа
Пастеризация смеси	Непрерывный режим пастеризации: Тс от 80 до 85 °С, продолжительность выдержки 50-60 с; Тс 92- 95 °С без выдержки. Периодический режим: Тс 68-72 °С выдержка 25-30 мин; Тс 73-77 °С выдержка 15-20 мин; Тс 78-82 °С выдержка 8-10 мин.; Тс 83-87 °С выдержка 3-5 мин.	Непрерывный режим пастеризации: Тс 80-85 °С продолжительность выдержки15-20 с, 50-60 с. Периодический режим (см. пастеризация смеси с СХМ).	Тс 85 °С, продолжительность выдержки 50 с
Охлаждение смеси	Тс 2-6 °С	Тс 4±2 °С. Рекомендуется охлаждать смесь до указанной температуры в течение времени не более 2 ч после окончания процесса пастеризации или гомогенизации в зависимости от схемы производства	
Созревание и хранение смеси	Созревание не было обязательной стадией (кроме	Созревание проводят, выдерживая смесь	Допускается использование смесей с ПВ и КФМ без

	желатина) Тс 4-6 °С - не более 24 ч, Тс 0-4 С° - не более 48 ч. Смеси с использованием желатина требуется выдерживать при Т не выше 6 °С в течение от 4 до 12 ч.	при Т 4±2 °С не менее 4 ч. Продолжительность хранения смеси, включая созревание, при Т 4±2 °С не более 24 ч, при Т 0-2 °С не более 48 ч	предварительной выдержки (созревания)
Гидролиз лактозы	-	-	Во избежание вероятности нежелательных изменений структурно-механических и органолептических характеристик мороженого за счет кристаллизации лактозы рекомендуется при необходимости проводить при факторе лактозы более 0,9, продолжительность не менее 4 ч
Фризерование смеси	Во фризер смесь должна поступать с Т 2-6 °С		
	Т мороженого при выходе из фризера не выше минус 3,5 °С Взбитость мороженого не менее 60%	Т мороженого при выходе из фризера минус 4,0 °С- минус 5 °С. Взбитость мороженого 60-100 %	Т мороженого при выходе из фризера должна быть не выше 5 °С. Взбитость не более 100 %
Фасование и закаливание мороженого	Фасование: Т мороженого не выше минус 3,5 °С; закаливание: при Т минус 25 °С – 37 °С 24-36 ч, Т мороженого после закаливания не выше минус 12 °С	Фасование: Т мороженого не выше минус 4,0 °С; закаливание: при Т минус 25 °С – 37 °С 24-36 ч, при Т минус 30 °С – минус 40 °С, Т мороженого после закаливания не выше минус 18 °С	Фасование: Т мороженого не выше минус 5,0 °С; закаливание в скороморозильных аппаратах при Т не выше минус 25 °С, не более 2 ч
Упаковка и маркировка	Упаковка, упаковочные материалы и способы упаковывания должны обеспечивать сохранение качества и безопасность мороженого при его хранении, транспортировании и реализации.		

			При отсутствии эмульгатора мороженое пломбир с МС рекомендуется фасовать непосредственно в упаковку: вафельные изделия (стаканчики, рожки и пр.); из полимерных материалов (стаканчики, контейнеры, лотки и пр.).
Хранение мороженого	При Т минус 20±2 °С 1,5 – 3 месяца, при Т минус 24±2 °С не более 3,5 месяцев	При Т минус 20±2 °С 12 месяцев, при Т минус 24±2 °С 12-18 месяцев	Рекомендуется хранить мороженое при Т не выше минус 24 С не более 6 месяцев

Характеристика мороженого пломбир с ПВ и КФМ приведены в табл. 24.

Таблица 24 – Характеристика готового продукта

С ПВ				
Массовая доля сухих веществ, %, не менее	36,4	39,3	42,2	44,1
В том числе: СОМО, %, не менее молочного жира, %, не менее сахарозы, %, не менее ПВ, % не менее	 10 12 14 0,38	 10 15 14 0,29	 10 18 14 0,19	 10 20 14 0,143
	С КСЭ		С КФМ	
Массовая доля сухих веществ, %, не менее	39,4		40,4	
В том числе молочного жира, %, не менее СОМО, %, не менее сахарозы, не менее сухих веществ стабилизатора, %, не менее	 15,0 10,0 14,0 0,38		 15,0 10,0 14,0 1,4	

Пищевую ценность мороженого определяют расчетным путем с учетом пищевой ценности его составных частей и их долей.

К составным частям мороженого относят молочную часть, компоненты немолочного происхождения и пищевые добавки.

Пищевую ценность (массу белка $М_б$, г, массу жира $М_ж$, г, массу углеводов $М_у$, г, и энергетическую ценность К, ккал/кДж) 100 г мороженого вычисляют по формулам:

$$М_б = \sum М_{бсч} \cdot Д_{сч}, \quad (17)$$

$$М_ж = \sum М_{жсч} \cdot Д_{сч}, \quad (18)$$

$$М_у = \sum М_{усч} \cdot Д_{сч}, \quad (19)$$

$$К = \frac{4}{16,8} \cdot М_б + \frac{9}{37,8} \cdot М_ж + \frac{4}{16,8} \cdot М_у, \quad (20)$$

где $М_{бсч}, М_{жсч}, М_{усч}$ - масса соответственно белка, жира и углеводов в 100 г составной части, г;

$Д_{сч}$ - доля составной части в 100 г мороженого;

К - энергетическая ценность 100 г мороженого,

ккал/кДж;

4/16,8; 9/37,8; 4/16,8 – энергетическая ценность 1 г соответственно белка, жира и углеводов, ккал/кДж.

Доли составных частей в 100 г мороженого $Д_{сч}$ вычисляют по формуле

$$Д_{сч} = \frac{М_{сч}}{100}, \quad (21)$$

где $М_{сч}$ – масса составной части в 100 г мороженого, г.

Пищевая ценность 100 г мороженого пломбир, рассчитанная по методике ТТИ ГОСТ 31457 – 2012 (приложение В), представлена в таблице 25.

Таблица 25

Наименование продукта	Белок, г, не менее	Жир, г, не менее	Углеводы, г, не менее	Энергетическая ценность, ккал/кДж, не менее
Мороженое пломбир с ПВ (с массовой долей молочного жира 12,0 %)	3,7	12,2	19,5	202/850
Мороженое пломбир с ПВ, КФМ, КСЭ (с	3,7	15,2	19,5	229/964

массовой долей молочного жира 15,0 %)				
Мороженое пломбир с ПВ (с массовой долей молочного жира 18,0 %)	3,7	18,2	19,5	256/1077
Мороженое пломбир с ПВ (с массовой долей молочного жира 20,0 %)	3,7	20,2	19,5	274/1153

3.3.2 Гидролиз лактозы в смесях для мороженого

Данные рисунков 48 и 49 п 3.2.2 свидетельствуют о возможной кристаллизации лактозы с м.д.ж. более 15% в процессе хранения.

Во избежание вероятности нежелательных изменений структурно-механических и органолептических характеристик мороженого за счет кристаллизации лактозы предложено при необходимости включить в технологический процесс производства мороженого пломбир стадию гидролиза лактозы.

Гидролиз лактозы наряду с решением технологических задач, позволяет создавать разновидности низколактозного мороженого.

В соответствии с ТР ТС 033/2013 «О безопасности молока и молочной продукции» к низколактозным продуктам переработки молока относятся продукты , в которых лактоза частично гидролизована или частично удалена.

В пищевом продукте целесообразно проводить ферментативный гидролиз лактозы, так как при его осуществлении не происходит повреждения белков, определяющих его пищевую ценность, в том числе за счет ферментации.

В молочной отрасли чаще всего используют β-галактозидазы дрожжевого происхождения устойчивые к изменениям pH среды. Оптимальный диапазон pHдля дрожжевыхβ-галактозидаз – от 6 до 7,2, что соответствует pH мороженого.

Апробирован ферментативный гидролиз лактозы в мороженом посредством ферментного препарата "Lactozime 6500L". При этом исследовалась возможность

осуществления гидролиза на стадии хранения (созревания) смесей для мороженого, которая проводится при температуре плюс 4°С.

При использовании ферментного препарата "Lactozime 6500L" учитывались рекомендации его изготовителя, а именно, оптимальные условия работы данного препарата: температура 30–45 °С; pH 6,0 - 7,5 и время гидролиза в среднем 4 часа.

В процессе установления возможности гидролиза лактозы в мороженом было выработано и исследовано 4 вида перечисленных ниже экспериментальных образцов:

Образец № 1 –с использованием ферментного препарата "Lactozime 6500L" и проведением гидролиза лактозы при температуре 40 °С без последующего созревания смеси;

Образец № 2 – (с использованием ферментного препарата "Lactozime 6500L" и проведением гидролиза лактозы при температуре 40 °С с последующим созреванием смеси при температуре 4 °С);

Образец № 3 - (с использованием ферментного препарата "Lactozime 6500L" и проведением гидролиза лактозы при температуре созревания смеси 4 °С);

Образец № 4 – контроль (без гидролиза лактозы);

В процессе исследований определяли: степень гидролиза лактозы. Результаты определения количества расщепленной в процессе гидролиза лактозы методом ВЭЖХ приведены в табл. 26.

Таблица 26

Номер образца	Характеристика образца	Содержание лактозы, %	Степень гидролиза лактозы, %
1	С использованием с ферментного препарата и проведением гидролиза лактозы при температуре 40°С без последующего созревания смеси	менее 0,1	97,8
2	С использованием ферментного препарата и проведением гидролиза лактозы при	0,22	95,2

	температуре 40 °С с последующим созреванием смеси при температуре 4°С		
3	С использованием ферментного препарата и проведением гидролиза лактозы при температуре созревания смеси 4 °С	0,31	93,2
4	Контроль (без гидролиза лактозы)	4,50	0,0

В результате исследований установлено:

− содержание лактозы в мороженом в результате ее гидролиза снизилось до 0,1% в обр.№1; до 0,22% в обр.№2; до 0,3% в обр. №3.

− степень гидролиза составила 97,8%, 95,2%, 93,2%, соответственно.

При использовании указанного фермента в количестве 0,08 % оптимальными условиями для гидролиза лактозы являются температура смеси 40 °С и исключение этапа созревания смеси.

Однако, проведение гидролиза лактозы при температуре 4 °С на этапе хранения смеси (созревания) для снижения риска кристаллизации лактозы в мороженом пломбир с МС является возможным, степень гидролиза при этом составил 93,2 %.

Из изложенного следует, что технология гидролиза лактозы в мороженом позволит:

− производить мороженое с различной массовой долей лактозы, что позволит расширить ассортиментный перечень мороженого и контингент его потребителей, за счет категорий не имеющих возможность употреблять лактозосодержащие продукты;

− исключить вероятность кристаллизации лактозы при хранении мороженого.

3.3.3 Управление нуклеацией при частичном замораживании смеси

Процессы, протекающие при фризеровании, являются определяющими для формирования кристаллов льда. Первый этап формирования льда – зарождение центров кристаллизации, когда формируются ядра (центры кристаллизации). Образование льда начинается обычно тогда, когда продукт охлаждают до начальной точки замерзания. Чем больше центров кристаллизации образуется в процессе фризерования, тем более мелкими будут кристаллы льда в готовом продукте.

Большое количество центров кристаллизации и соответственно множество мелких ледяных кристаллов может быть сформировано путем влияния на процесс нуклеации следующими способами:

- использование для приготовления смеси компонентов, которые могут выступать в роли инициаторов нуклеации;
- использование иммерсионного способа замораживания смесей, повышающего теплопередачу и скорость замораживания.

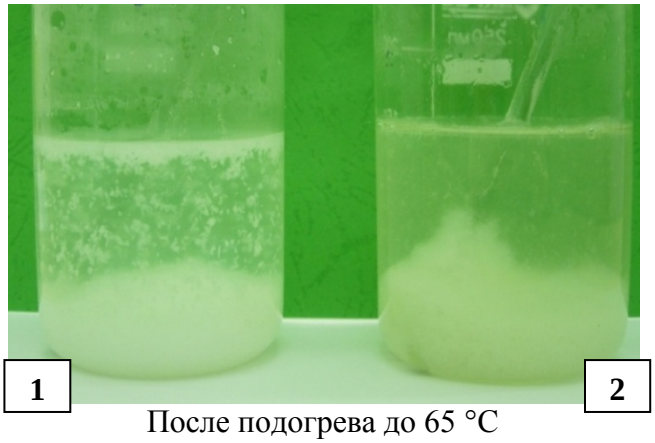
3.3.3.1 Исследование влияния растворимости пищевых волокон на структуру мороженого

В разделе 3.1.1 показана способность ПВ повышать вязкость смесей для мороженого. Вместе с тем представляет интерес проведение сравнительной оценки состояния водных растворов ПВ и нерастворимых волокон. Для сравнения взяты экстремальные варианты.

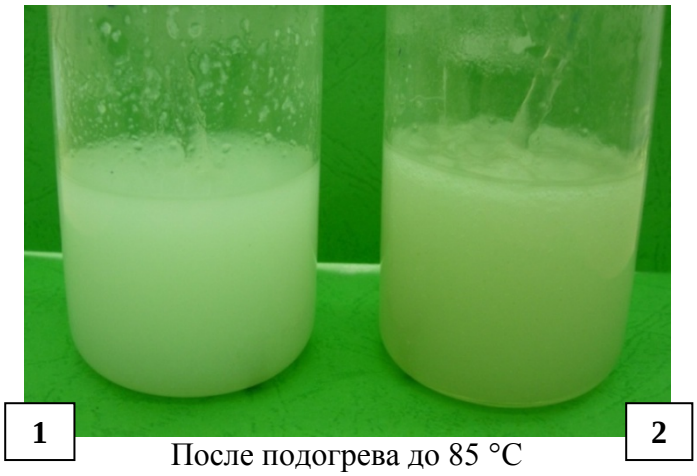
Исследовано состояние водных растворов ПВ и нерастворимых волокон картофельной клетчатки (НПВ). Выбор нерастворимых пищевых волокон в качестве контроля состояния волокон в воде обусловлен целесообразностью выявления различий влияния суспендированного и нерастворимого состояния волокон на формирование структуры мороженого.

ПВ в количестве 0,5 % вносили в воду, перемешивали и нагревали до температуры пастеризации смесей для мороженого – 85 °С, далее растворы охлаждали до 4±0,5 °С

С целью исследования растворимости пищевых волокон, состояния и стабильности их растворов исследовали их водные растворы: 1- порошковой целлюлозы (ПВ) и 2 – растительной картофельной клетчатки (рисунки 54-55).

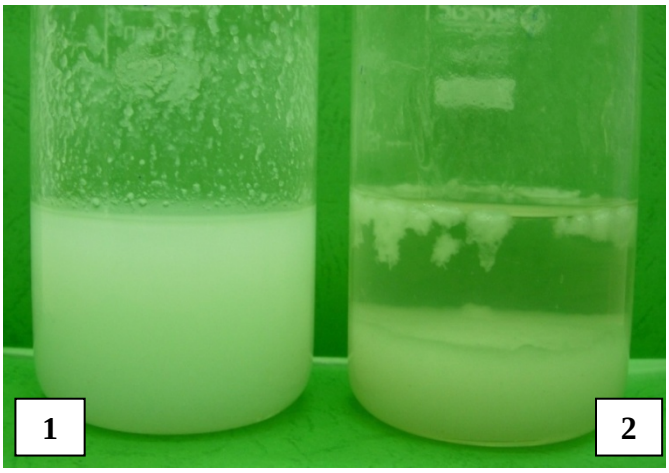


После подогрева до 65 °С

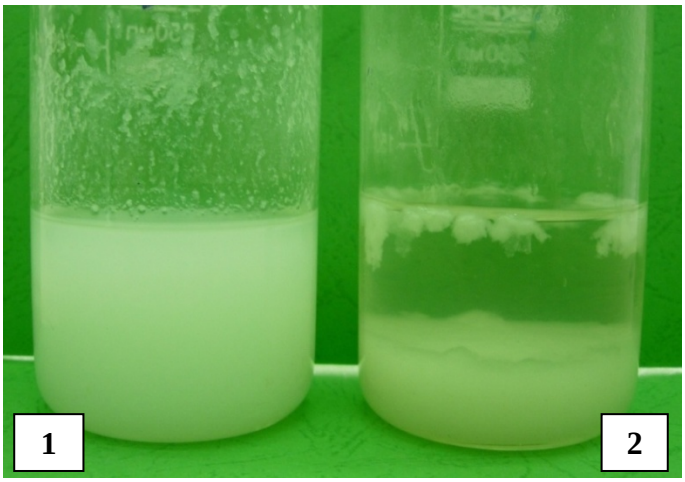


После подогрева до 85 °С

Рисунок 54 - Состояние волокон в воде после нагревания



Через 18 ч.



Через 2 дня хранения

Рисунок 55 - Состояние волокон в воде в процессе хранения

На рис. 54-55 видно, что при нагревании растворов до температуры 85 °С происходит образование суспендированных гелей, о чем свидетельствует вязкая консистенция и непрозрачный внешний вид раствора. На следующий день в образце № 2 произошло расслоение раствора, что свидетельствует о нерастворимости растительной картофельной клетчатки в воде.

По результатам, представленным на рис. 54-55 видно, что ПВ по сравнению с НПВ, связывает большое количество воды, находясь в суспендированном состоянии, прочно удерживает воду в структуре продукта.

Гидроколлоиды оказывают влияние на консистенцию, текстуру, профиль таяния и стабильность мороженого при хранении.

С целью установления влияния на качественные показатели продукта пищевых волокон с разной растворимостью в условиях экспериментального стенда были выработаны образцы мороженого.

Процесс изготовления смесей для производства мороженого с пищевыми волокнами осуществлялся в следующей последовательности:

1.Подготовка компонентов.

2.Составление смеси по рецептуре. Пищевые волокна предварительно смешивали с сахаром в соотношении 1:5. Компоненты вносили в следующей последовательности: вода, сухое молоко, сахар-песок и пищевое волокно. Смесь тщательно перемешивали.

3.Подогрев смеси до температуры 60 – 65 °С для внесения молочного жира.

4.Пастеризация смеси при температуре 85 °С.

5.Двухступенчатая гомогенизация смеси при температуре 85 °С и давлении на первой ступени – 16,0 МПа, на второй ступени 4,0 МПА.

6.Охлаждение до температуры не выше 4°С.

7.Созревание смеси при температуре не выше 4°С в течение 18 ч.

После созревания смеси фильтровали (рисунок 56).

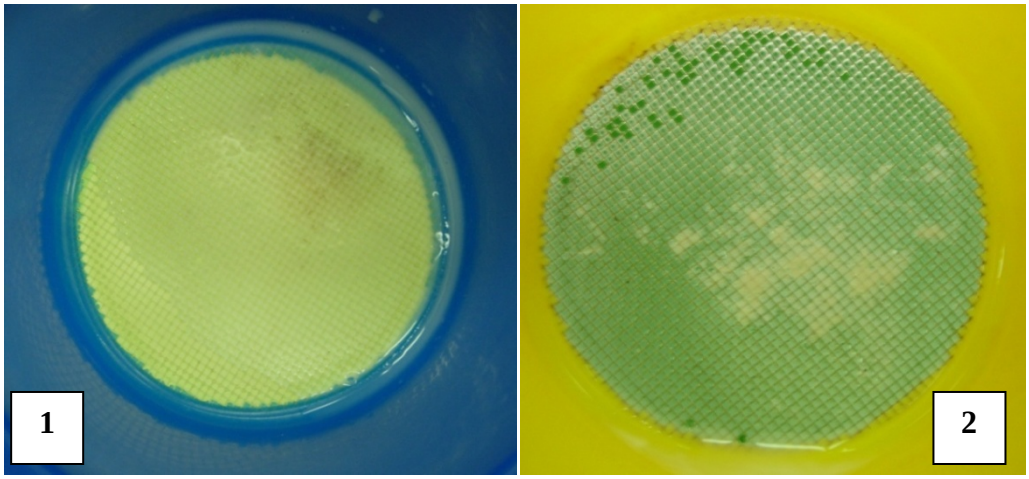


Рисунок 56– Состояние фильтров после пропускания смесей: 1- с ПВ, 2- с растительной клетчаткой

Неполный переход волокон в коллоидную степень дисперсности отразился и на вязкости смесей для мороженого. Исследования вязкости смесей проводили при температуре (4±0,5) °С при градиенте скорости сдвига 0,83 с $^{-1}$ (рисунок 57).

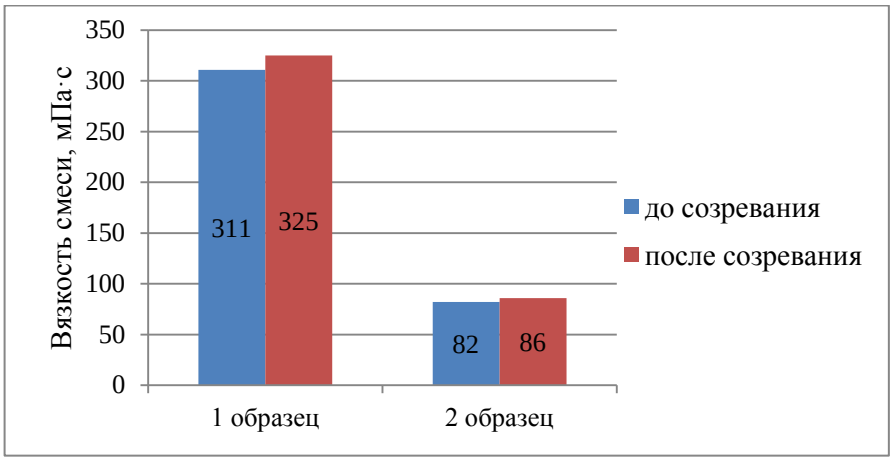


Рисунок 57 - Эффективная вязкость образцов смеси для мороженого

Из диаграммы, представленной на рис. 57, видно, что применение ПВ (образец 1) обеспечивает оптимальную для смесей мороженого вязкость смесей

(200 – 400 мПа·с) и составляет 311 мПа·с. Этот показатель у образца № 2 ниже в 3,7 раза.

Значение взбитости 60% без принудительной подачи воздуха во фризер характеризует высокую способность смеси к насыщению воздухом. Отсутствие эмульгатора в мороженом могло бы отрицательно сказаться на способности смеси к насыщению воздухом, однако в указанных условиях взбитость образца №1 составила 74%, образца № 2 – 83%.

Образцы мороженого существенно отличались и по показателю «устойчивость к таянию» (рисунок 58). Устойчивость образцов к таянию характеризуется массовой долей плава при выдержке образцов при температуре (20±1) ºС в течение 120 минут.

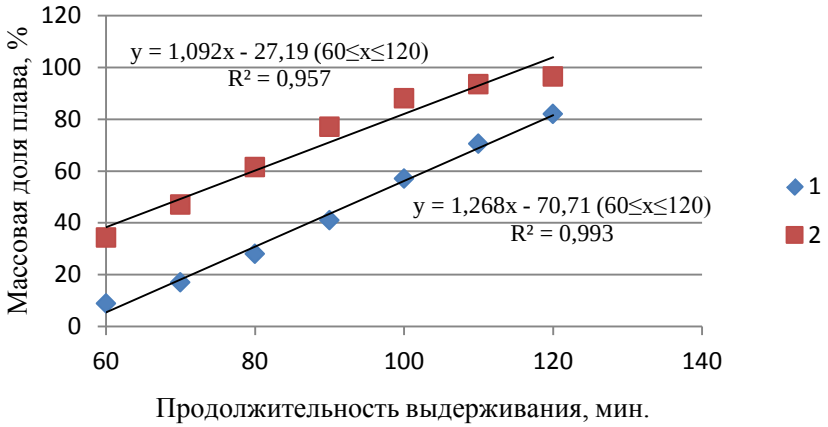


Рисунок 58 – Зависимость массовой доли плава от продолжительности выдерживания образцов мороженого

Как следует из данных, приведенных на рис. 58, большей устойчивостью к таянию обладает образец 1, массовая доля плава через 60 минут составила менее 10%, во 2 образце за такое же время – около 35 %.

Наряду с показателем «термоустойчивость» определяли взаимосвязанный показатель «формоустойчивость» (рисунок 59). Различия по этому показателю были менее заметны.

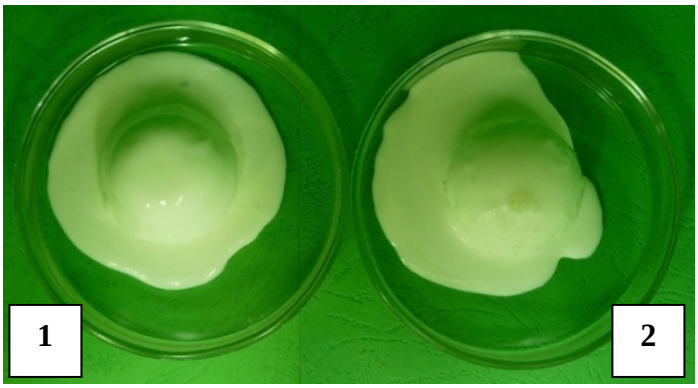
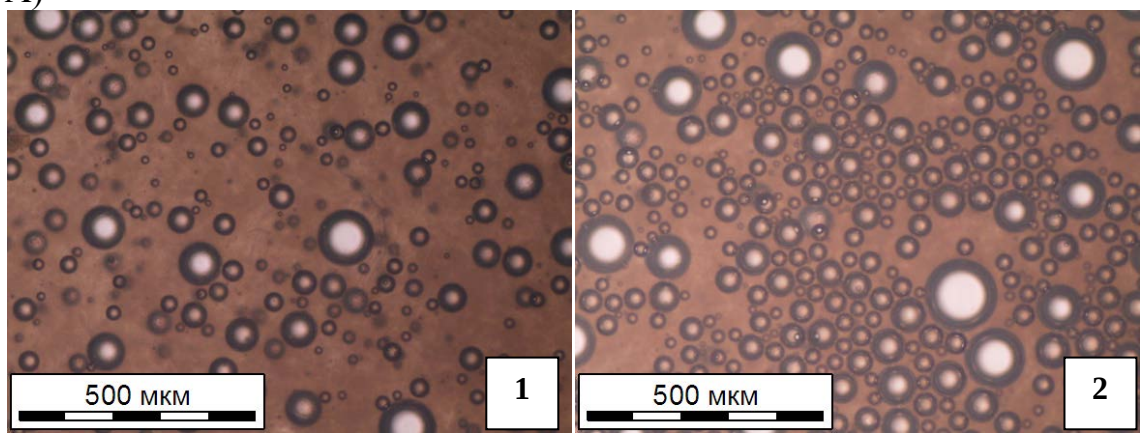


Рисунок 59– Формоустойчивость образцов мороженого через 30 мин выдерживания при температуре 20 ºС

Для оценки влияния пищевых волокон на состояние структуры определяли дисперсность воздушной фазы и кристаллов льда. Фотоизображения, характеризующие состояние воздушной фазы и кристаллов льда, представлены на рис. 60-61, данные распределения по размерам воздушных пузырьков и кристаллов льда в табл. 27.

А)



Б)

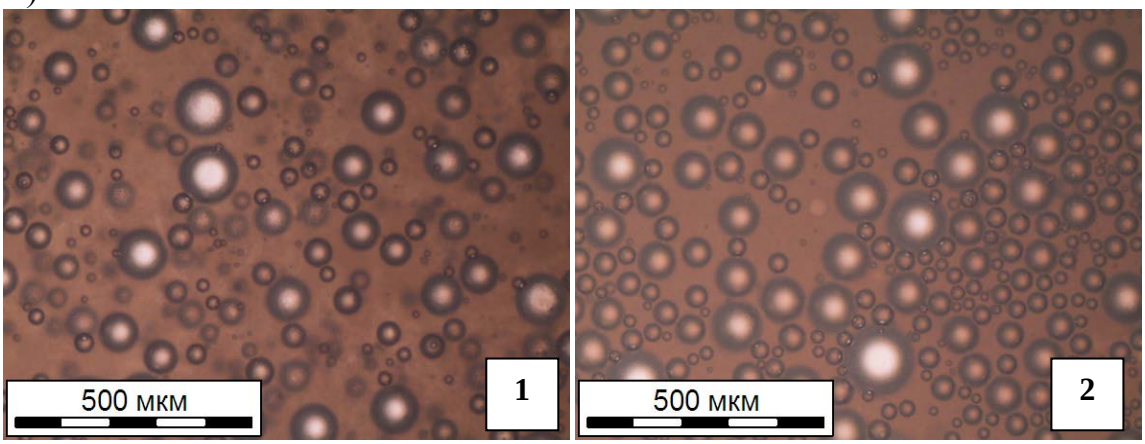
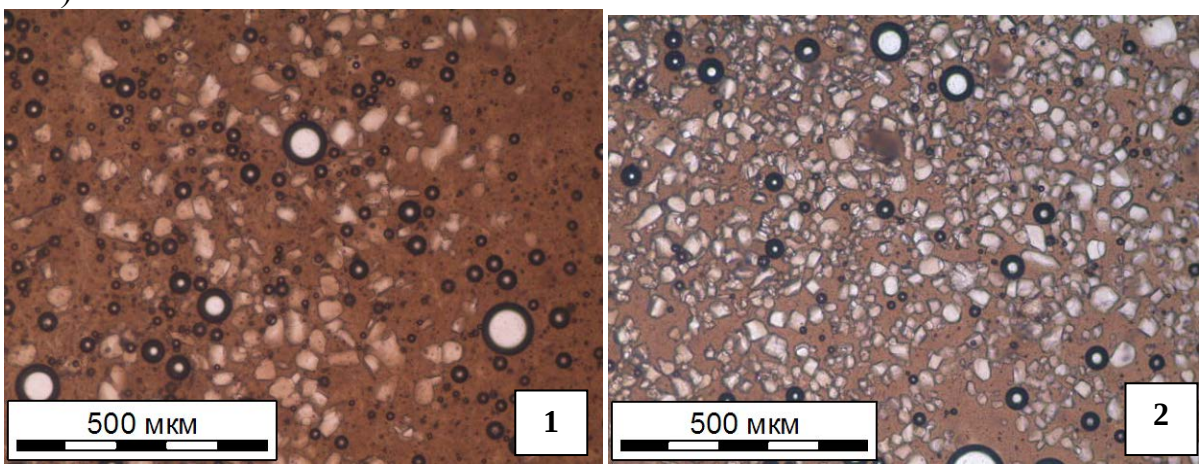


Рисунок 60 – Состояние воздушной фазы в мороженом: А) после закаливания; Б) через1 месяц хранения: 1 – с ПВ; 2 – с растительной клетчаткой

А)



Б)

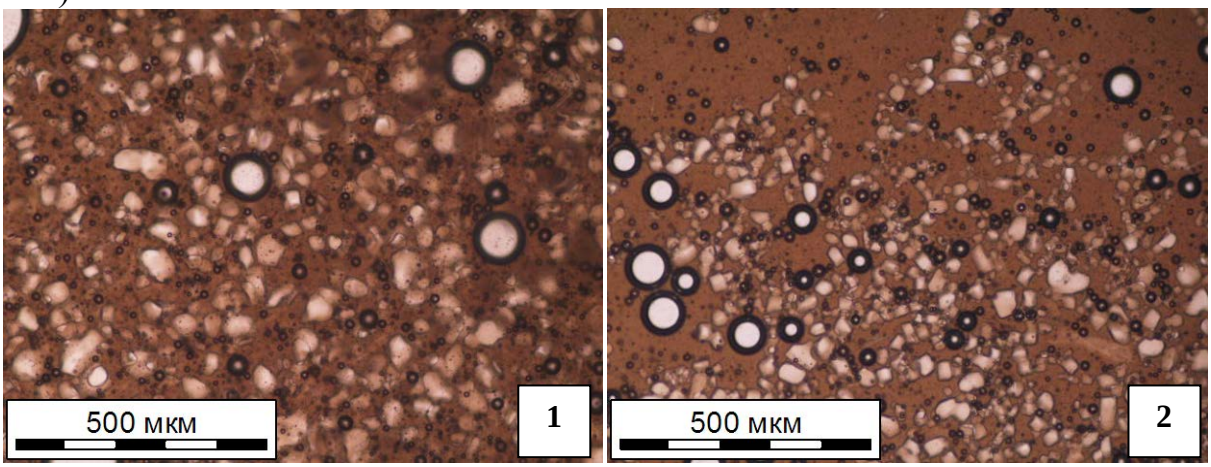


Рисунок 61 - Фотоизображения кристаллов льда в мороженом: А) после закаливания; Б) через 1 месяц хранения: 1- с ПВ, 2- с растительной клетчаткой

Таблица 27 - Дисперсность структурных элементов мороженом с пищевыми волокнами

Образец №, п/п	Срок хранения	Кристаллы льда			Воздушная фаза		
		Ср. диаметр, мкм	До 50 мкм, %	До 70 мкм, %	Ср. диаметр, мкм	До 50 мкм, %	До 70 мкм, %
1	После закаливания	37	86	97	32	88	94
	1 месяц	38	85	98	36±4	84	92
2	После закаливания	32	95	99	33	89	96
	1 месяц	33	93	99	42±3	73	89

В соответствии с вышеприведенными данными, в мороженом с пищевыми волокнами размер воздушных пузырьков после закаливания не превышал 33 мкм.

При непродолжительном хранении мороженого – 1 месяц в образце с картофельной клетчаткой размер воздушных пузырьков увеличился в 1,3 раза и составил 42±3 мкм.

Из данных, приведенных в табл.27 и на рис. 61, следует, что в образцах формируются мелкие кристаллы льда, размер которых через 1 месяц хранения, не превышает 40 мкм. Содержание кристаллов, размером, не превышающим 50 мкм, у образца № 1 составляет 86 %, что на 10 % ниже, чем у образца № 2.

Таким образом, исследования, изложенные выше, свидетельствуют о том, что пищевые волокна инициируют образование кристаллов льда, оказывают положительное влияние на дисперсность структурных элементов. При этом у нерастворимых пищевых волокон (картофельной клетчатки) способность инициировать образование кристаллов льда выше. Однако применение ПВ предпочтительнее в связи с их положительным влиянием на вязкость смеси, термоустойчивость и стабильность структурных элементов в процессе хранения. Применение нерастворимых пищевых волокон возможно при условии непродолжительного хранения продукции до реализации.

3.3.3.2 Исследование влияния иммерсионного замораживания смеси на дисперсность кристаллов льда

Иммерсионное замораживание – метод, который позволяет получить высокую интенсивность теплопередачи, мелкокристаллическую структуру льда в замороженных продуктах. При этом способе замораживания хладагент непосредственно контактирует с пищевым продуктом, соответственно создаются лучшие условия для теплообмена между поверхностью продукта и хладагентом. Иммерсионный способ обеспечивает более высокую скорость замораживания.

С учетом химического состава мороженого пломбир было предположено, что при повышении скорости замораживания смесей при интенсивном перемешивании, можно сформировать структуру продукта с высокой дисперсностью структурных элементов.

При этом исходили из следующего. В производстве мороженого важной стадией технологического процесса является замораживание, его параметры оказывают влияние на формирование микроструктурных элементов (воздушных пузырьков и кристаллов льда), и, следовательно, на состояние структуры и других органолептических показателей продукта [63]. Замораживание проводится в два этапа. Первый этап – это сопровождаемое насыщением воздухом быстрое замораживание во фризере до температуры минус 4-5 °С. При этом меняется плотность продукта со значения 1050-1100 кг/м^3 (смесь) до 500- 650 кг/м^3 (мягкое мороженое). Второй этап – статическое замораживание продукта в виде порций различной конфигурации и массы в специальных камерах или туннелях в условиях быстрого отвода теплоты - низкой (минус 35 -45°С) температурой и высокой скоростью движения воздуха. В ходе закаливания и дальнейшего хранения новые структурные элементы не образуются, а уже образовавшиеся кристаллы льда и воздушные пузырьки увеличиваются в размерах [47].

Форма и размер кристаллов льда и воздушных пузырьков в значительной степени зависят от скорости замораживания и степени механического воздействия на продукт. Значительно увеличивается скорость замораживания при получении мороженого с использованием жидкого азота, температура кипения которого при атмосферном давлении - минус 196 °С. Такой способ замораживания применяется при изготовлении мороженого гранулированного промышленного производства и мягкого в сети общественного питания [28].

В рамках выполнения работы с учетом особенностей состава смесей для мороженого пломбир исследован процесс формирования структуры продукта с использованием криогенного вещества – жидкого азота. Высокая скорость замораживания достигается вследствие очень низких температур криогенного вещества. При этом иммерсионное замораживание использовалось вместо фризерования на начальной стадии замораживания (период интенсивной нуклеации) до температуры продукта минус 4-5 °С и доли вымороженной воды 40-50 %. Такое состояние характерно для мягкого мороженого, реализуемого в сети общественного питания. Для получения закаленного мороженого

использовали типичный для предприятий способ – замораживание в низкотемпературных камерах при температурах минус 18, 30 и 40°С.

Взбивание и замораживание смеси для мороженого пломбир жидким азотом проводили следующим образом: в чашу миксера (рисунок 62) заливали готовую смесь для десерта и включали мешалку. По достижении продуктом необходимого объема в чашу миксера при работающей мешалке миксера вводили жидкий азот из трубопровода, соединенного с сосудом Дьюара. Количество подаваемого азота регулировалось специальным краном на трубопроводе (рисунок 63).

Рисунок 62 – Миксер KitchenAid

Рисунок 63 – Сосуд Дьюара с трубопроводом

Замораживание смеси жидким азотом при температуре минус 196°С происходило в несколько раз быстрее. Экспериментально установлено, что такой

способ изготовления способствует формированию мелких кристаллов льда (рисунок 64).

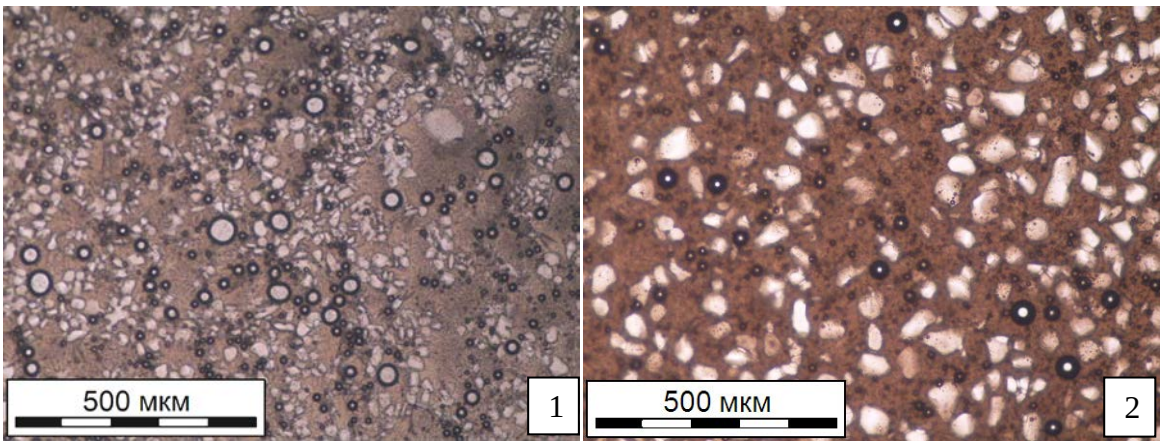


Рисунок 64-Микрофотографиикристаллов льда в десерте: 1-образец, полученный при замораживании жидким азотом; 2- традиционное мороженое из фризера

Благодаря перемешиванию при замораживании в среде жидкого азота формируется воздушная фаза, но ее дисперсность ниже, чем при замораживании и взбивании во фризере (рисунок 65) [29].

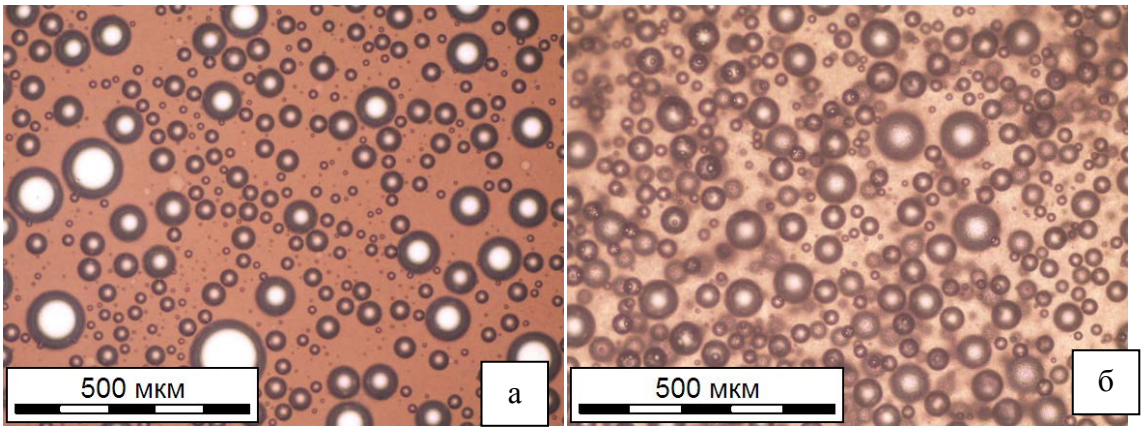


Рисунок 65 - Состояние воздушной фазы в мороженом, полученном при замораживании: а) жидким азотом; б) во фризере

Особое внимание было уделено возможности получения продукта с необходимой консистенцией путем замораживания жидким азотом смесей для мороженого пломбир без пищевых добавок - стабилизаторов структуры, исходя из того, что у способа получения мороженого с использованием жидкого азота есть преимущества перед обычным замораживанием. Замораживание в жидком азоте происходит очень быстро. Скорее всего, положительное влияние быстрого

замораживания жидким азотом на консистенцию и структуру продукта, в частности высокую дисперсность кристаллов льда, происходит в связи с образованием большого числа центров кристаллизации вследствие значительного повышения вязкости среды при понижении температуры, снижении подвижности молекул воды. А в смесях для мороженого пломбир дополнительными центрами кристаллизации могут стать многочисленные суспендированные при охлаждении и замораживании частички жира, поэтому вероятность получения высокой дисперсности кристаллов льда без дополнительного введения стабилизаторов велика.

Для обоснования возможности производства мороженого пломбир с применением жидкого азота на экспериментальном стенде была изготовлена смесь для мороженого пломбир с массовой долей жира 12% (обр. №1), 15 % (обр. №2) и 20 % (обр. №3) (таблица 28).

Таблица 28 - Характеристика смесей для мороженого пломбир

Наименование показателей	Образец №1	Образец №2	Образец №3
Массовая доля сухих веществ, %, не менее,	36,0	39,0	44,0
в том числе: молочного жира, %, не менее	12,0	15,0	20,0
СОМО, %, не менее	10	10,0	10,0
общего сахара, %, не менее	14	14	14

После проведения первой стадии замораживания азотом закаливание образцов продолжили в холодильных камерах при температуре -18, -30, -40°С с целью установления влияния температуры на дисперсность структурных элементов (таблица 29). Отмечено, что дисперсность структурных элементов в десертах, полученных из смесей для мороженого пломбир, значительно снизилась в процессе закаливания, а в дальнейшем при хранении изменения были менее

заметны (таблица 29). В частности, средний диаметр кристаллов льда в процессе закаливания возрос практически в 1,5 раза, что и следовало ожидать в связи с домораживаниемпри закаливании 50 % воды и ее кристаллизации на полученных в жидком азоте центрах.

Таблица 29 - Дисперсность воздушной фазы и кристаллов льда в мороженом пломбир при температуре хранения -18 °С и -40 °С.

Образец	t хран, °С	Срок хранения	Кристаллы льда			Воздушная фаза		
			Средний размер, мкм	До 50 мкм, %	До 70 мкм,%	$d_{ср}$, мкм	До 50 мкм, %	До 70 мкм,%
1	t= -18	6 мес.	35±2	85±3	96±1	38±1	77±3	91±2
	t= -40		33±2	87±3	97,0	40±1	78±2	92±2
2	t= -18	6 мес.	35±2	85±3	96±1	32±5	86±3	92±2
	t= -40		33±2	87±3	97,0	33±3	87±3	95±1
3	t= -18	6мес.	35±2	85±3	96±1	34±2	83±4	94±2
	t= -40		33±2	87±3	97,0	39±3	81±4	89±3
Пломбир промыш-ленного произ-водства	t= -18	1 мес.	38	81	94	20	99	100

Данные по дисперсности структурных элементов, приведенные в табл. 29, свидетельствуют о довольно высокой дисперсности кристаллов льда. Дисперсность воздушной фазы, как и следовало предположить, была заметно ниже дисперсности воздушной фазы мороженого, полученного в промышленных условиях при использовании эффективных эмульгаторов в составе стабилизационных систем и замораживаемых традиционным способом.

Во всех образцах, полученных при иммерсионном замораживании, дисперсность кристаллов льда даже через 6 месяцев хранения была выше пломбира промышленного производства 1 месяца хранения. Средний размер

кристаллов льда не превышал 37 мкм, количественная доля их с размером до 50 мкм выше на 1 - 9 %.

Установлено, что при температурах минус 30°С и минус 40°С дисперсность кристаллов льда в процессе хранения практически не менялась. При температуре минус 18°С изменения в дисперсности кристаллов льда были более заметны (рисунок 66).

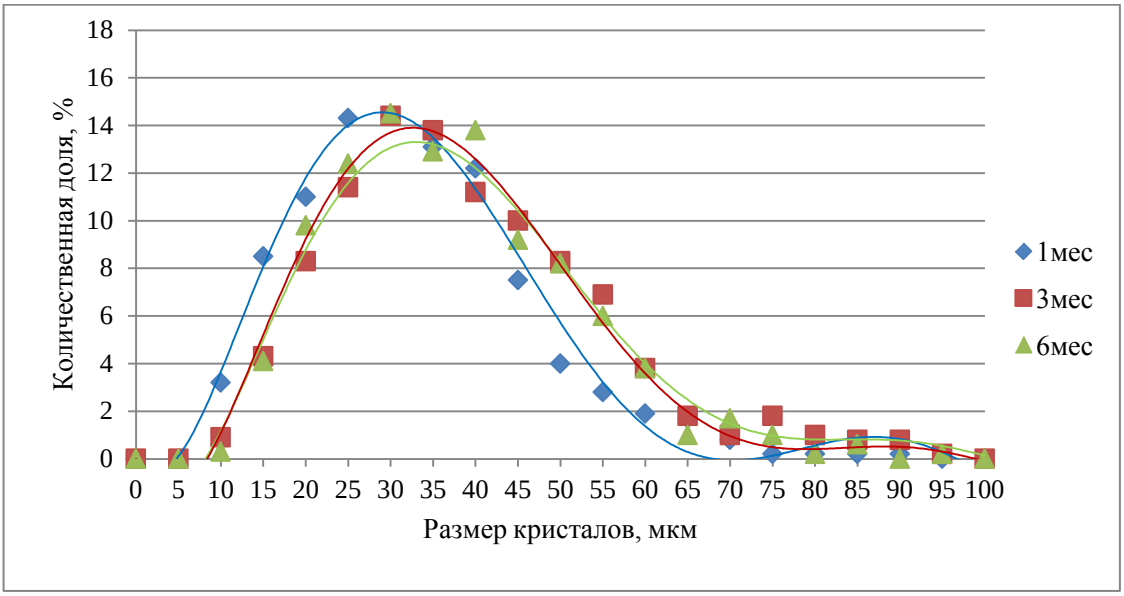


Рисунок 66 - Распределение кристаллов льда по размерам в мороженом пломбир с м.д.ж.12% в процессе хранения при температуре минус 18°С

Срок хранения, мес	Зависимость	Коэффициент достоверности аппроксимации, R^2
Мороженое пломбир с м.д.ж. 12%		
1	$y = -8E\text{-}07x^5 + 0{,}000x^4 - 0{,}006x^3 + 0{,}143x^2 - 0{,}555x$	0,978
3	$y = -6E\text{-}07x^5 + 9E\text{-}05x^4 - 0{,}005x^3 + 0{,}151x^2 - 0{,}923x$	0,981
6	$y = -6E\text{-}07x^5 + 8E\text{-}05x^4 - 0{,}005x^3 + 0{,}138x^2 - 0{,}828x$	0,984

В ходе проведенных исследований выявлено положительное влияние замораживания жидким азотом на формирование и дисперсность структурных элементов замороженных десертов, что позволяет использовать этот хладагент на начальной стадии замораживания и исключить процесс фризерования.

Фотоизображения кристаллов льда в мороженом после закаливания и в процессе хранения при температуре -18 ºС, -30 ºС, -40 ºС приведены на рис. 67-69.

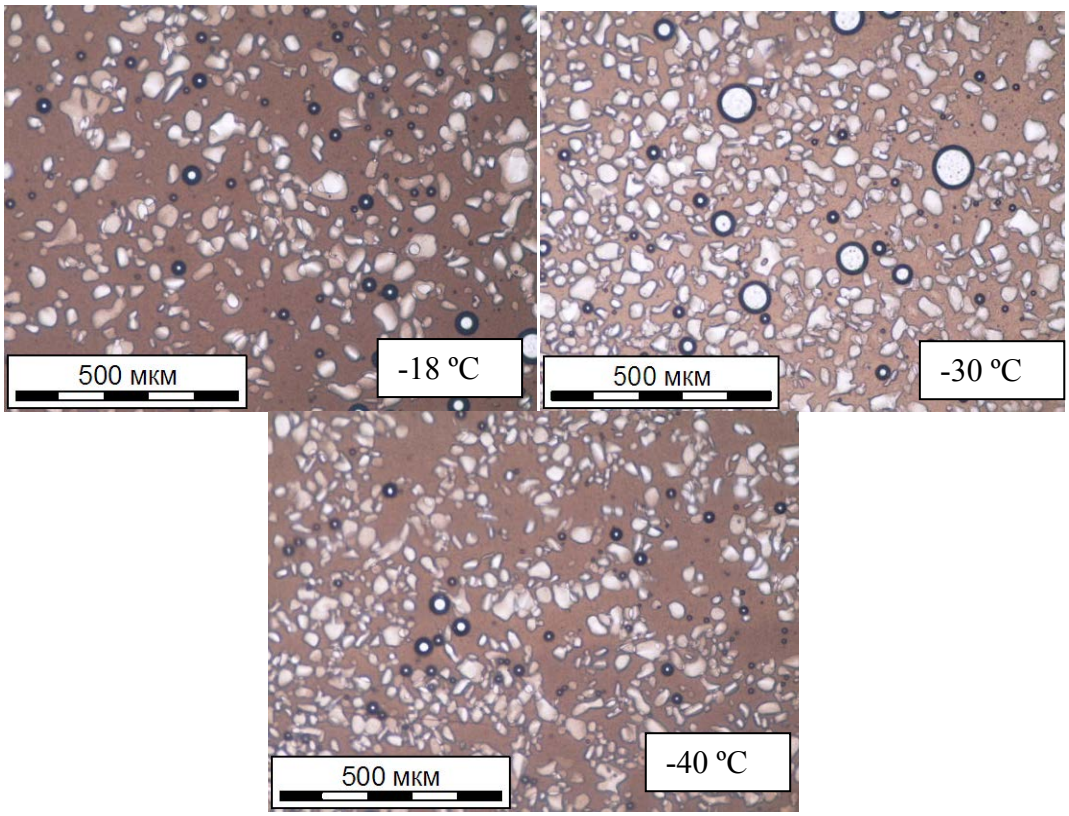


Рисунок 67 - Кристаллы льда в мороженом с м.д.ж. 12 % в процессе хранения

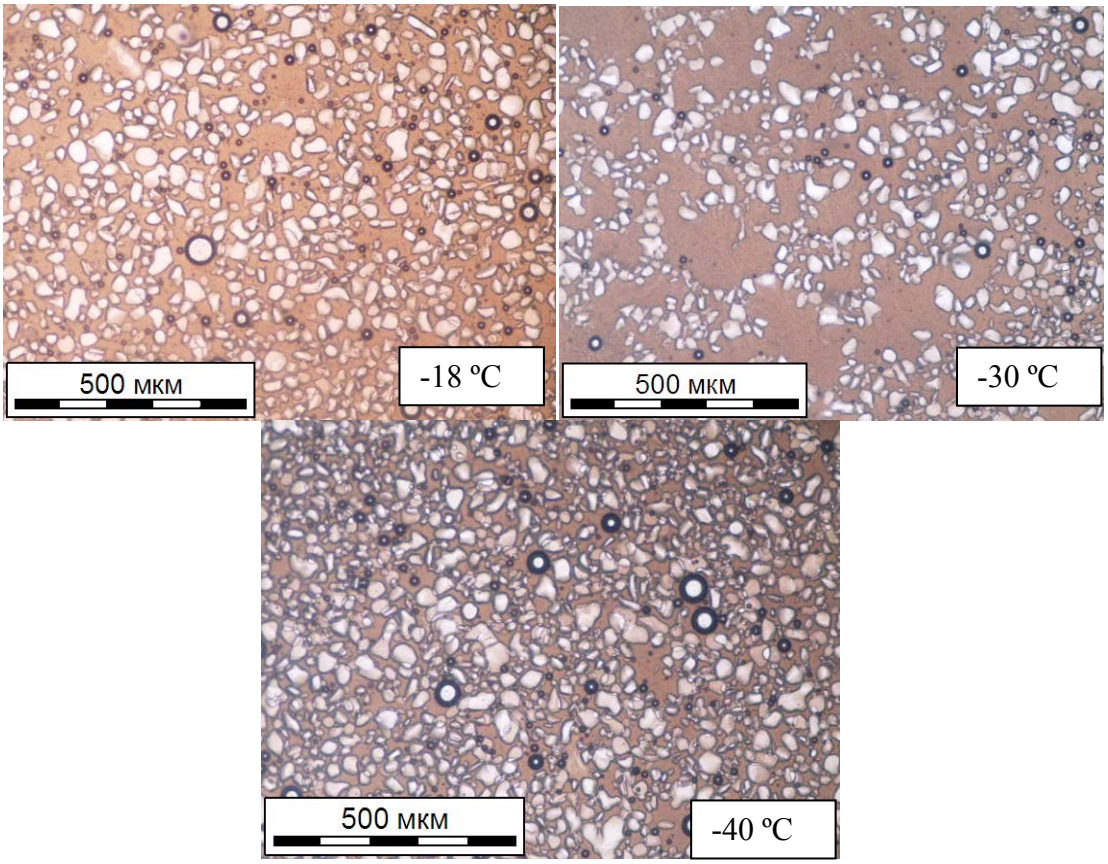


Рисунок 68 - Кристаллы льда в мороженом с м.д.ж. 15 % в процессе хранения

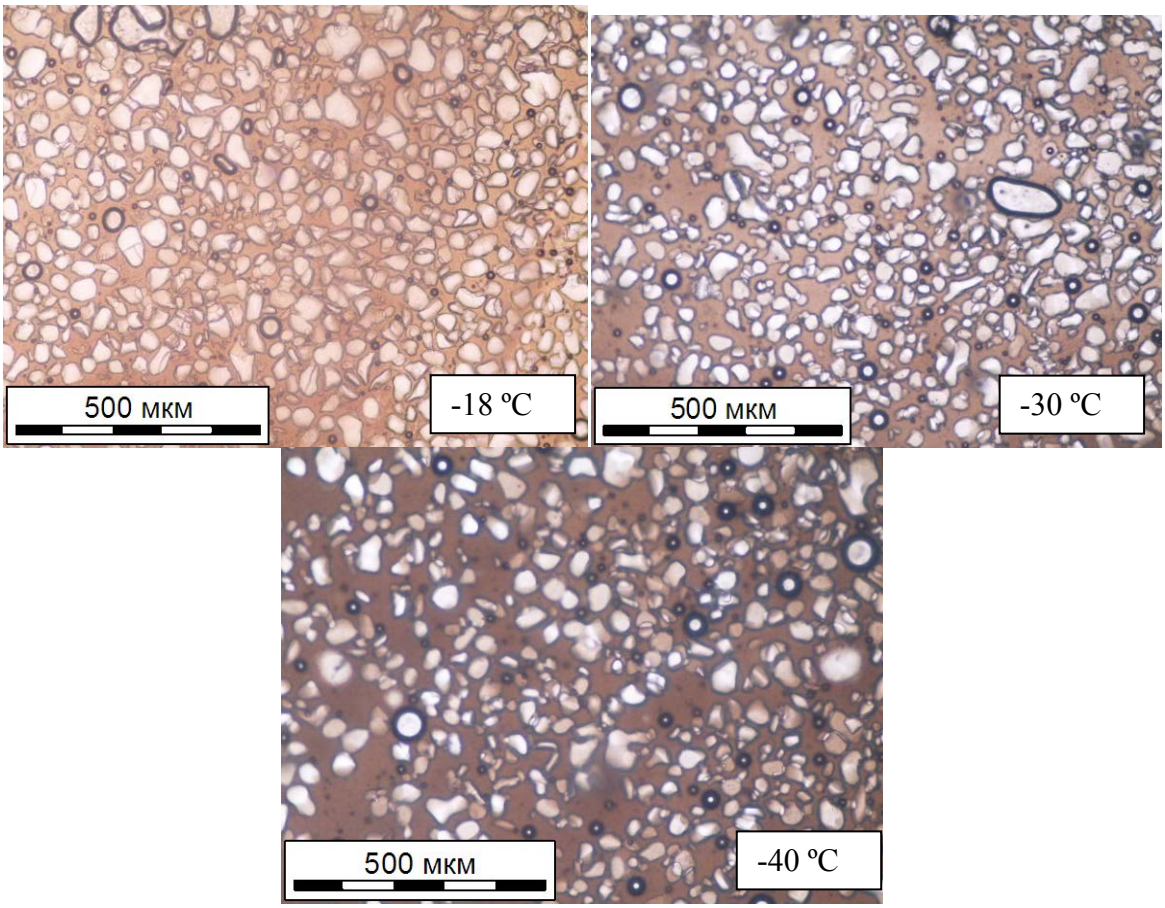


Рисунок 69 - Кристаллы льда в мороженом с м.д.ж. 20 % в процессе хранения

Из микрофотографий, приведенных на рис. 67-69, следует, что кристаллы льда в образцах, полученные с использованием жидкого азота, характеризуются большим наличием острых углов, чем кристаллы, полученные обычным способом (при фризеровании и дальнейшем закаливании).

По данным рис. 70 видно, что температура закаливания изначально не оказывает значительного влияния на дисперсность кристаллов льда в десертах, полученных в среде жидкого азота. Кривые распределения имеют незначительные различия.

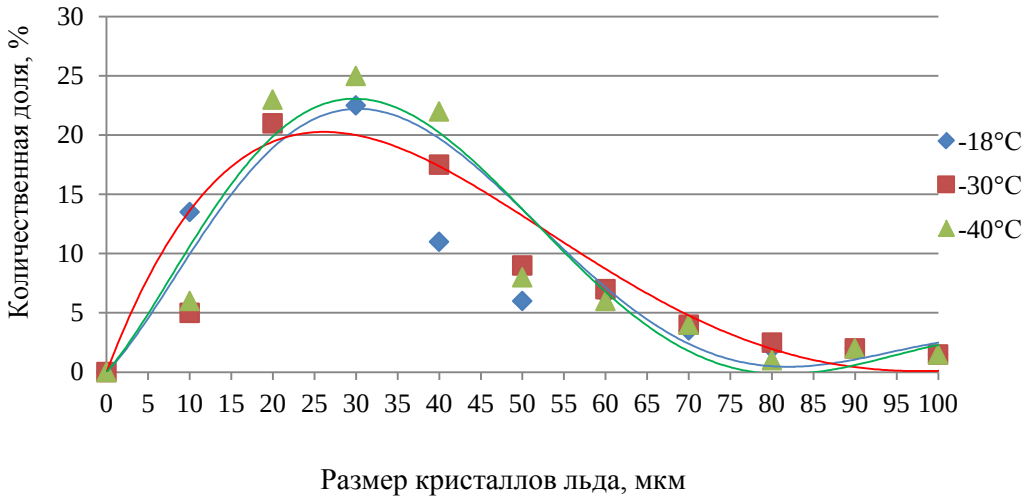


Рисунок 70 - Распределение кристаллов льда по размерам в мороженом с м.д.ж. 12% после закаливания при температуре минус 18 °С, минус 30 °С и минус 40 °С.

Температура хранения, ºС	Зависимость	Коэффициент достоверности аппроксимации, R^2
Мороженое пломбир с м.д.ж. 12%		
-18	$y = -3E\text{-}07x^5 + 4E\text{-}05x^4 - 0{,}002x^3 + 0{,}051x^2 + 0{,}717x$	0,893
-30	$y = -2E\text{-}06x^4 + 0{,}000x^3 - 0{,}053x^2 + 1{,}848x$	0,834
-40	$y = -3E\text{-}07x^5 + 5E\text{-}05x^4 - 0{,}002x^3 + 0{,}05x^2 + 0{,}799x$	0,915

Таким образом, на основании проведенных исследований установлено, что мороженое с массовой долей жира 12 %, 15 % и 20 % без использования стабилизаторов структуры с высокой дисперсностью структурных элементов в течение всего срока хранения может быть получено путем взбивания и последующего замораживания жидким азотом.

Положительное влияние иммерсионного замораживания на консистенцию и структуру продукта, в частности высокую дисперсность структурных элементов пломбира, происходит, вероятно, в связи с образованием большого числа центров кристаллизации вследствие значительного резкого повышения вязкости среды и снижения подвижности молекул воды. Кроме того, в смесях для мороженого пломбир дополнительными центрами кристаллизации могут стать многочисленные суспендированные при охлаждении и замораживании частички жира, поэтому вероятность получения высокой дисперсности кристаллов льда без дополнительного введения стабилизаторов велика.

Установлено, что при получении мороженого с жидким азотом инициирование нуклеации происходит в результате быстрого отвода теплоты и наличия суспендированных частичек жира. Это позволило разработать технологию получения мороженого пломбир с использованием жидкого азота без использования пищевых добавок – стабилизаторов структуры.

В результате полученных данных установлены параметры технологического процесса производства мороженого пломбир с ограниченным числом пищевых добавок. На рис. 71 представлена схема технологического процесса производства мороженого с МС и КСЭ в условиях технически оснащенных предприятий.

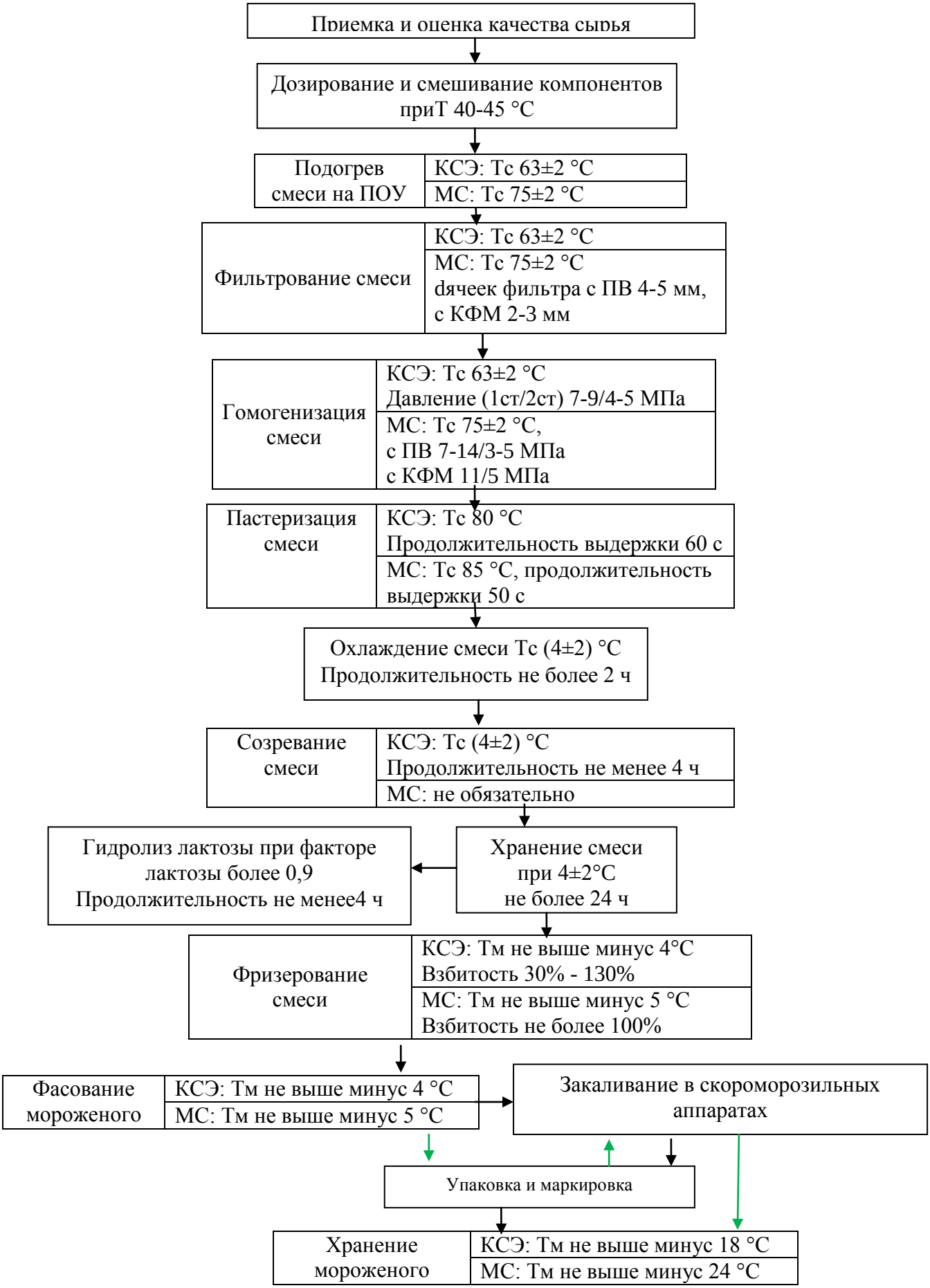


Рисунок 71 – Технологическая схема производства мороженого пломбир в условиях технически оснащенных предприятий

3.4 РАСЧЕТ СЕБЕСТОИМОСТИ МОРОЖЕНОГО ПЛОМБИР С МС

Внедрение технологий мороженого пломбир с МС не потребует капитальных затрат и затрат на приобретение оборудования, поскольку продукт будет вырабатываться на действующем оборудовании предприятий.

Полная себестоимость изготовляемой продукции предприятия равна денежному выражению совокупных затрат:

$$С_п = З_с + \sum З_{пр} (3,4.1),$$

где $С_п$ – полная себестоимость продукта, руб;

$З_с$ – затраты на сырье, руб;

$З_{пр}$ - прочие затраты предприятия, руб.

Прочие затраты предприятия включают в себя: затраты на оплату труда, общепроизводственные затраты, общехозяйственные и прочие материальные затраты.

Экономический эффект ($Э_{эф}$) от производства 1 т мороженого пломбир с МС равен:

$$Э_{эф.} = С_{п(КСЭ)} - С_{п(МС)}, \quad (3.4.2)$$

где $С_{п(КСЭ)}$ и $С_{п(МС)}$– полная себестоимость мороженого пломбир с КСЭ и МС соответственно, руб.;

$$Э_{эф} = (З_{с(КСЭ)} + \sum З_{пр(КСЭ)}) - (З_{с(МС)} + \sum З_{пр(МС)}), \quad (3.4.3)$$

Учитывая, что $\sum З_{пр(КСЭ)} = \sum З_{пр(МС)}$, $Э_{эф} = З_{с(КСЭ)} - З_{с(МС)}$

где $З_{с(КСЭ)}$ $З_{с(МС)}$ – затраты на сырье для мороженого пломбир с КСЭ и с МС, руб.;

$З_{пр(КСЭ)}$ и $З_{пр(МС)}$– прочие затраты предприятия при производстве мороженого пломбир с КСЭ и с МС, руб.;

Расчет стоимости сырья на 1 т мороженого пломбир с м.д.ж. 12%, 15 %, 18% 20% с КСЭ, КФМ и ПВ представлен в табл. 3.4.1., 3.4.2 и 3.4.3.

Таблица 3.4.1

Расчет затрат сырья на 1 тонну мороженого пломбир с м.д.ж. 12% (1), 15 % (2), 18% (3), 20 % (4) с КСЭ

Наименование сырья	Норма кг на 1000 кг				Цена за 1 кг, руб.	Сумма, руб.			
	1	2	2	4		1	2	3	4
Молоко коровье обезжиренное сухое (СОМО 95%)	88,6	84,5	80,0	77,9	224*	19846,4	18928	17920	17449,6
Сливки пастеризованные замороженные (м.д.ж. 38%, СОМО 5%)	315,7	394,7	473,7	526,3	170	53669	67099	80529	89471
Сахар-песок	140				36	5040			
КСЭ	4,5	4,0	3,0	2,5	350	1575	1400	1050	875
Итого						80130,4	92467	104539	107795,6

* - в соответствии с приказом Министерства сельского хозяйства РФ от 19 апреля 2018 г. № 167 "Об определении предельных уровней минимальных цен на молоко сухое и масло сливочное в целях проведения государственных закупочных интервенций в 2018 году".

Таблица 3.4.2

Расчет затрат сырья на 1 тонну мороженого пломбир с м.д.ж. 12% (1), 15 % (2), 18% (3), 20% (4) с КФМ

Наименование сырья	Норма кг на 1000 кг				Цена за 1 кг, руб.	Сумма, руб.			
	1	2	2	4		1	2	3	4
Молоко коровье обезжиренное сухое (СОМО 95%)	88,6	84,5	80,0	77,9	224	19846,4	18928	17920	17449,6
Сливки пастеризованные замороженные (м.д.ж. 38%, СОМО 5%)	315,7	394,7	473,7	526,3	170	53669	67099	80529	89471
Сахар-песок	140				36	5040			
КФМ	15	15	12	10	241,2	3618	3618	2894,2	2412
Итого						82173,4	94685	106383,2	114372,6
Увеличение затрат на производство 1т/1п*, руб.						2043/0,14	2218/0,16	1844,2/0,13	6577/0,46

* - Для расчета увеличения стоимости 1 порции принимаем массу порции – 70 г. В 1 т мороженого 14285 порций мороженого по 70 г.

Таблица 3.4.3

Расчет затрат сырья на 1 тонну мороженого пломбир с м.д.ж. 12% (1), 15 % (2), 18% (3), 20 % (4) с ПВ

Наименование сырья	Норма кг на 1000 кг				Цена за 1 кг, руб.	Сумма, руб.			
	1	2	2	4		1	2	3	4
Молоко коровье обезжиренное сухое (СОМО 95%)	88,6	84,5	80,0	77,9	224	19846,4	18928	17920	17449,6
Сливки пастеризованные замороженные (м.д.ж. 38%, СОМО 5%)	315,7	394,7	473,7	526,3	170	53669	67099	80529	89471
Сахар-песок	140				36	5040			
ПВ	4,0	3,0	2,0	1,5	929	3716	2787	1858	1393,5
Итого						82271,4	93854	105347	113354,1
Увеличение затрат на производство 1т/1п						2141/0,15	1387/0,1	808/0,06	5558,5/0,39

Как показали расчетные данные, использование КФМ и ПВ приводит к незначительному повышению затрат. В частности, затраты на производство мороженого пломбир с м.д.ж. 15% с применением ПВ и КФМ увеличиваются на 1,5% и 2,4 %, а стоимость 1 порции на 10 и 15 копеек, соответственно, что несущественно.

3.5 ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

Разработаны технологии мороженого пломбир с использованием эффективных МС (пищевых волокон и крахмалов) - продуктов физической модификации с органолептическими показателями традиционного продукта и стабильной в течение 6 мес. дисперсностью структурных элементов. В результате проведенных исследований сделаны следующие выводы:

1. Экспериментально обоснована функциональная роль МС в производстве мороженого пломбир: способность обеспечивать динамическую вязкость 400 – 600 мПа·с при градиенте сдвига на срез 0,83 $с^{-1}$, прочно удерживать воду в структуре продукта и образовывать в воде суспендированные субстанции, интенсифицирующие нуклеацию.

Установлена взаимосвязь показателей «вязкость растворов МС после размораживания» и «дисперсность кристаллов льда в мороженом при температурных колебаниях».

2. Аргументировано использование показателя «содержание структурирующего жира» ($С_{сж}$) для количественной оценки жира, участвующего в формировании структуры мороженого в деэмульгированном и суспендированном состояниях и разработана методика его определения. Экспериментально установлено, что $С_{сж}$ в мороженом пломбир с м.д.ж. 12-20 % составляет 25 – 90 %.

3. Проведен сравнительный анализ дисперсности структурных элементов в мороженом пломбир с КСЭ и МС. Установлено:

- мороженое пломбир с МС по дисперсности кристаллов льда не уступает продукту с КСЭ, в частности при использовании КФМ средний размер кристаллов льда даже через 6 мес. хранения и после 3-х колебаний температуры (со значения минус 18°С до минус 12 °С) не превышал 42 мкм (при пороге органолептической ощутимости 50 мкм);

- при использовании КФМ, ПВ и КСЭ средний диаметр воздушных пузырьков не превышает значений 25, 36 и 32 мкм, соответственно, однако, через 6 месяцев хранения отмечено снижение количества мелких пузырьков (до 50 мкм)

в образцах с КСЭ на 8 %, с ПВ – на 19%, с КФМ – на 22%, что необходимо учитывать при обосновании срока годности продукции.

4. Обоснованы требования к химическому составу мороженого пломбир с МС с учетом технологически значимых показателей $С_{сж}$ не менее 50 % и показателя «фактор лактозы» не более 0,09.

5.Определены направления повышения эффективности технологического процесса производства мороженого пломбир с МС, базирующиеся на интенсификации нуклеации. В частности, установлено, что увеличение скорости замораживания в условиях быстрого отвода теплоты при иммерсионном замораживании способствует повышению дисперсности кристаллов льда в 1,5 – 1,6 раза по сравнению с полученной при бесконтактном замораживании во фризере.

6. Разработаны технологии и техническая документация по производству мороженого с МС с научно обоснованным качественным и количественным составом, позволяющие:

- производить мороженое пломбир с эффективными МС, без пищевых добавок или с ограниченным их применением;

- управлять процессом производства мороженого пломбир путем создания условий для перехода МС в активное состояние, интенсификации нуклеации и достижения высокой дисперсности структурных элементов (жировых частиц, кристаллов лактозы и льда);

- исключить из технологического процесса стадию созревания, что позволяет увеличить объем производства мороженого в период повышенного спроса;

- снизить содержание лактозы при риске ее кристаллизации в процессе хранения путем проведения гидролиза лактозы при температуре 4±2 °С при резервировании смеси.

Технология мороженого пломбир с МС апробирована и внедрена на предприятиях: ООО «Лагуна Койл» (Группа компаний «Русский Холодъ»), ООО «Йошкар – Олинский Хладокомбинат».

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

ГОСТ – государственный стандарт

КСЭ – комплексные стабилизаторы-эмульгаторы

КФМ – крахмал физической модификации

М.д. – массовая доля

М.д.ж. – массовая доля жира

МС - моностабилизатор

Обр. - образец

ПВ – пищевое волокно

СОМО – сухой обезжиренный молочный остаток

ТИ – технологическая инструкция

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аникина, В.И. Основы кристаллографии и дефекты кристаллического строения: Курс лекций – Красноярск, 2007. – 236 с.

2. Арсеньева, Т.П. Справочник технолога молочного производства. Технология и рецептуры. Т. 4. Мороженое – СПб: ГИОРД, 2002. – 184 с.

3. Айменсон, А. Пищевые загустители, стабилизаторы, и гелеобразователи, А. Айменсон, перевод с англ. яз. д-ра хим. наук С.В. Макарова, СПб.: Профессия. - 2012. – 408 с.

4. Барей, Ф. Стабилизация фазы кристаллов льда в мороженом [Текст] / Ф. Барей // Переработка молока. - 2007. - №2 . - С. 27-29.

5. Блинова, Н.П. и др. Влияние поверхностно-активных примесей на устойчивость пересыщенных растворов и размер получаемых кристаллов // Теор. осн. хим. техн., 1972. – Т. VI. №2. – С. 169-175.

6. Булдаков, А.С. Пищевые добавки. Справочник. – Санкт-Петербург, «Ut», 1996. – 240 с.

7. Вальстра, П. Роль молочного жира и белка в мороженом / П. Вальстра, М. Джонкшен // Молочная промышленность. – 1999. - №10. – С.31-33.

8. Голубев, В.Н. Зарождение и рост кристаллов льда в атмосфере Лед и снег, 2013 г. – 53(1). – С. 53-56.

9. ГОСТ 31457-2012 Мороженое молочное, сливочное и пломбир. Технические условия.

10. Мороженое, Г. Дуглас Гофф, Ричард У. Гартел, СПб.: – Профессия, 2016.

11. Жаринов А.И. Основы современных технологий переработки мяса. Ч.1.- М., 1994.

12. Модифицированные крахмалы, А.И. Жушман, Москва Пищепромиздат, 2007.

13. Зельдович Я.Б. К теории образования новой фазы. Кавитация // Журнал эксперим. и теор. физики, 1942. – Т. XIIвып. 11-12. – С. 525-538.

14. Зоммер, Гуго Г. Теория и практика производства мороженого [Текст]: Пер. со 2 амер. изд. / Гуго Г. Зоммер, проф.; Под общ. ред. Г. М. Дезента. - Москва: Главхладопром Наркомпищепрома СССР, 1937. - XII. 576 с.

15. Игольникова, Л.И. Пищевые добавки в продуктах питания отечественного и импортного производства (значение, применение, расшифровка). – Саранск. – 1998. – С. 22-29.

16. Измайлова, В.Н. Структурообразование в белковых системах / В.Н. Измайлова, П.А. Ребиндер. – М.: Наука, 1974. – 576 с.

17. Ильясов В.С. и др. Холодильная технология продуктов в мясной и молочной промышленности. – М.: Легкая и пищевая пром-сть, 1983. – 216 с.

18. Ипатова Л.Г., Кочеткова А.А., Шубина О.Г., Духу Т.А., Левачева М.А. Физиологические и технологические аспекты применения пищевых волокон // Пищевые ингредиенты. – 2004.- №1. – С.14-16.

19. Исупов, В.П. Пищевые добавки и пряности. История, состав и применение. – СПб: ГИОРД, 2000. – 176 с.

20. Казакова, Н.В. Влияние продолжительности созревания и некоторых компонентов смесей для мороженого на их вязкость / Н.В. Казакова, О.С. Борисова // Научные и практические аспекты переработки молока: материалы науч.-практ. конф. – Углич, 2003.

21. Казакова, Н.В. Влияние сахаридосодержащих продуктов на структуру мороженого [Текст] / Н.В. Казакова // Современные холодильные технологии и техника для отраслей АПК, торговли и транспорта: материалы науч.-практ. конф. – Москва, 2000. – С. 40-42.

22. Казакова, Н.В. Крахмалопаточные продукты в производстве мороженого [Текст]/Н.В. Казакова // Производство и реализация мороженого и быстрозамороженных продуктов. – 1999. - №3. – С. 12-13.

23. Казакова Н.В. Научные и практические аспекты применения в производстве мороженого сахаридосодержащих продуктов различной

молекулярной массы / Н.В. Казакова, И.А. Лагуткина, И.А. Турбина, Н.В. Ермишина // К 75-летию ГНУ ВНИХИ: сб. тр. – М.: 2005. – С.153-158.

24. Казакова, Н.В. Сахаридосодержащие продукты / Н.В. Казакова, А.А. Творогова // Мороженщик России. – 2003. - №1. – С.18.

25. Клубович В.В., Толочко Н.К., Кондрашев В.М. Образование вторичных кристаллических зародышей в растворах. // Кристаллография, 1991. – Т. 36. вып. 4.- С. 1039-1040.

26. Комарова, Н.А. Влияние технологических параметров на формирование воздушной дисперсной фазы и взбитость мороженого /Н.А. Комарова, И.А. Короткий, В.М. Столетов// сборник научных работ «Продукты питания и рациональное использования сырьевых ресурсов». Кемерово. – 2001. – Выпуск 2. – С.35.

27. Коновалова, Т.В. Исследование влияния давления гомогенизации на вязкость смесей для мороженого / Т.В.Коновалова, А.А. Творогова // X Международная научно-практическая конференция молодых ученых и специалистов отделения сельскохозяйственных наук РАН.- Москва.- 2016.- №1. – С.158-162.

28. Коновалова, Т.В. Исследование особенностей формирования структуры мороженого в среде жидкого азота/ Т.В. Коновалова, А.А. Творогова. – Холодильная техника. – 2017. - №1. – С.58-64.

29. Коновалова, Т.В. Особенности замораживания смесей мороженого в среде жидкого азота/ Т.В. Коновалова, Е.А. Крюковских, А.А. Творогова. - В сборнике: Повышение качества, безопасности и конкурентоспособности продукции агропромышленного комплекса в современных условиях IX Международная конференция молодых ученых и специалистов. - 2015. - С. 119-123.

30. Коновалова, Т.В. Совершенствование технологии мороженого премиум-класса / Т.В. Коновалова, А.А. Творогова // В сборнике: Экологические, генетические, биотехнологические проблемы и их решение при производстве и переработке продукции животноводства материалы Международной научно-

практической конференции (посвященная памяти академика РАН Сизенко Е.И.). – Волгоград. - 2017. – С.120-125.

31. Коновалова, Т.В. Что использовать вместо пищевых добавок? Особенности производства мороженого пломбир без пищевых добавок и с ограниченным их применением. – Империя холода. – 2017. - № 2. – С.75-76.

32. Кочеткова, А.А. Пищевые волокна в продуктах питания / А.А Кочеткова, Л.Г. Ипатова, А.П. Нечаев, В.В. Тарасова // Пищевая промышленность.-2007.- №5.- С. 8-10.

33. Краснобрыжев В.Г. Исследование зарождения кристаллов на межфазной границе в растворах солей. Автореф. дис. к.х.н. – М.:1981.-21 с

34. Кричман, Е.С. Пищевые волокна и их роль в создании продуктов здорового питания / Е. С. Кричман // Пищевая промышленность. - 2007.-№8. - С.62-63.

35. Кудинова В.М, Назимова Г.И. Разработка мучных кондитерских изделий, обогащенных пищевыми волокнами // переработка сельскохозяйственного сырья, Кемерово,1999.

36. Кэмпбелл, И. Дж. Влияние стабильности эмульсии на свойства мороженого / И. Дж. Кэмпбелл, Б.М. Пелан //Молочная промышленность. – 1999. - №9. – С.30-32.

37. Латышев, В.П. Расчет удельной теплоемкости, энтальпии и доли вымороженной воды смесей и мороженого по их составу /В.П. Латышев, Ю.А. Оленев, Н.Ф. Цирюльникова // Холодильная техника. – 1982. - №4. – С.41-43.

38. МакКенн Б.М., Структура и текстура пищевых продуктов. Продукты эмульсионной природы/ Б.М. Маккенн; пер.с англ. яз. под научной редакцией Ю.Г. Базарновой // СПб.: издательство «Профессия». – 2008. – 471 с.

39. Маршалл, Р.Т. Мороженое и замороженные десерты. // Р.Т. Маршалл, Г.Д. Гофф, Р.У. Гартел, перевод с англ. яз. под редакцией В.И. Василевского. – СПб.: «Профессия». – 2005. – 273 с.

40. Матусевич Л.Н. Общие закономерности массовой кристаллизации из растворов и разработка новых конструкций кристаллизаторов. Автореф. дис. д.т.н. – Свердловск, 1968. – 23 с.

41. Нечаев А.П., Кочеткова А.А., Зайцев А.Н. Пищевые добавки. - М.: Колос, 2001.

42. Оленев, Ю.А. Модифицированные желирующие крахмалы – новые стабилизаторы для мороженого / Ю.А. Оленев, К.Е. Хмелева, Н.Н. Фильчакова // Холодильная техника. -. 1966.- №6.- С.31-34

43. Оленев, Ю.А. Мороженое / Ю.А. Оленев. – М.: Колос. – 1992. – 256 с.

44. Оленев, Ю.А. и др. Получение и применение модифицированного желирующего крахмала. Тезисы докладов 3 научно-технического совещания «Физикохимия и технология крахмала и крахмалопродуктов». – М., 1966. – С. 28.

45. Оленев Ю.А. и др. Производство и применение модифицированного желирующего картофельного крахмала при выработке мороженого. – М.: ЦНИИТЭИ пищепром. - 1970. – 48 с.

46. . Оленев, Ю.А. Основные структурные элементы и свойства смесей и мороженого / Ю.А. Оленев // Производство и реализация мороженого и быстрозамороженных продуктов. – 2002. - №4. – С.8-10.

47. Справочник по производству мороженого, Ю.А. Оленев, А.А. Творогова, Н.В. Казакова, Л.Н. Соловьева, Москва ДеЛипринт, 2004

48. Оленев, Ю.А. Структурные элементы смесей и мороженого /Ю.А. Оленев // Молочная промышленность. – 2003. - №3. – С.53-54.

49. Оленев, Ю.А. Технологическая инструкция по производству мороженого/ Ю.А. Оленев, Н.Н. Шпякина, А.А. Творогова, Л.Н. Соловьева, Н.В. Зиновкина// М.: ВО «АГРОПРОМИЗДАТ». – 1988. – 200 с.

50. . Оленев, Ю.А. Физические свойства смесей мороженого. // Молочная промышленность. – 2003. - №10. – С. 53-54.

51. Оленев, Ю.А. Комплекс показателей характеристик мороженого // Молочная промышленность. – 1993. - №5/6. – С. 19-21.

52. Оленев, Ю.А. Структурные элементы смесей и мороженого / Ю.А. Оленев // Молочная промышленность. – 2003. - № 3. – С. 53-54.

53. Оленев, Ю.А. Технология и оборудование для производства мороженого. – 2-е изд., перераб. И доп. – М.: ДеЛи, 2001. – 323 с.

54. ООО Фирма «Биокор». Пищевые волокна: новый взгляд на традиционные добавки // Бизнес пищевых ингредиентов. – 208. - №3.

55. Технология продукции общественного питания. В 2т. Т.1. Физико-химические процессы, протекающие в пищевых продуктах при их кулинарной обработке /А.С. Ратушный, В.И. Хлебников, Б.А. Баранов и др./ Под ред. А.С. Ратушного. - М.: Мир, 2003. - 351 с.

56. Рогов, И.А., Забашта А.Г., Гутник Б.Е. и др. Справочник технолога колбасного производства / Под ред. И.А. Рогова. – М.: «Колос», 1993.

57. Сарафанова, Л.А. Пищевые добавки: энциклопедия. – 2-е издание., испр. и доп. – СПб: ГИОРД. 2004. – 808 с.

58. Синельников Б.М. и др. Лактоза и ее производные. – СПб: Профессия, 2007.- 768 с.

59. Ситникова П.Б., А.А. Творогова. К вопросу объективной оценки состояния структуры мороженого и замороженных взбитых десертов. // Мир мороженого и быстрозамороженных продуктов, №3-2015. - С.13-16.

60. Технический регламент Таможенного союза ТР ТС 029/2012 «Требования безопасности пищевых добавок, ароматизаторов и технологических вспомогательных средств».

61. Творогова, А.А. Влияние СОМО на качество мороженого. - Переработка молока. - №6. - 2009. - С26-27.

62. Творогова, А.А. Использование полисорбатов в производстве мороженого / А.А. Творогова, Н.В. Казакова, И.А. Лагуткина // производство и реализация мороженого и быстрозамороженных продуктов. – 2003. - №1. С. 11-12.

63. Творогова, А.А. Научно-практические рекомендации по стабилизации структуры мороженого, Москва, 2003

64. Творогова, А.А. Теоретическое и экспериментальное обоснование формирования и стабилизации структуры мороженого: диссертация доктора технических наук. – Москва. - 2006. – 352 с.

65. Творогова, А.А. Стабилизация структуры мороженого / А.А. Творогова // Переработка молока. – 2004.- № 8. – С. 22-24

66. Творогова, А.А. Функциональная роль ингредиентов в производстве взбитых молочных продуктов / А.А. Творогова // Молочная река. – 2007. - №3(27). – С24-25.

67. Творогова, А.А. Применение вкусоароматических добавок компании «БаттерБадс» (США) в производстве мороженого [Текст] / А.А. Творогова, В.А. Коваль // Мороженое и замороженные продукты. – 2005. - №2. – С.36-37.

68. Творогова, А.А. Применение ингредиентов фирмы EsaromEssenzenfakGes. m.b.H (Австрия) в производстве мороженого с растительным жиром / А.А. Творогова, Н.В. Казакова, А.В. Чеснокова // Производство иреализация мороженого и быстрозамороженных продуктов. – 2006. - №5. – С. 29-31.

69. Творогова, А.А. Стабилизация структуры мороженого / А.А. Творогова // Переработка молока. – 2004. – №9 (59). – С.13-15.

70. Творогова, А.А. Обоснование технологической функциональности нативных крахмалов в производстве мороженого без пищевых добавок/ А. А. Творогова, Т.В. Коновалова// Холодильная техника. – 2015. - №6. – С.39-42.

71. Творогова, А.А. Обоснование функциональной роли пищевых волокон SenseFi в технологии мороженого / А.А. Творогова, П.Б. Ситникова, Т.В. Коновалова, В.Н. Базалий, В.П. Герасимчук // Пищевая промышленность. – 2014. - № 12. – С.46-48.

72. Творогова, А.А. Особенности применения ПВ «SenseFi» в производстве мороженого пломбир/ А.А. Творогова, Т.В. Коновалова, И.А. Гурский, В.Н. Базалий, С.В. Аврамова // Пищевая промышленность. – 2016. - №10. – С. 34-36.

73. Творогова, А.А. Современные аспекты применения ингредиентов в производстве мороженого, замороженных взбитых десертов и пищевых льдов. Научно-практическое обеспечение холодильной промышленности: сборник научных трудов к 85-летию ВНИХИ. под общей редакцией Белозерова Г. А. Москва, 2015.

74. ТТИ ГОСТ 31457-2012 Мороженое молочное, сливочное и пломбир. – 2014.

75. Федоренко, Г.М., Нечаюк И.И. К вопросу применения модифицированных крахмалов// Мясная индустрия.- 2001. - №3.

76. Фольмер М. Кинетика образования новой фазы. – М.: Наука, 1986.- 208 с.

77. Червяков, С.С. Основы холодильного дела. - М.: «Высшая школа», 1988 г.

78. Черкасов, О.В. Пищевые волокна и белковые препараты в технологиях продуктов питания функционального назначения / О.В. Черкасов, Д.А. Еделев, А.П. Нечаев. - Рязань, 2013.

79. Хамский, Е.В. и др. Кристаллизация и физико-химические свойства кристаллических веществ. – Л: Наука, 1969. – 135 с.

80. Шавра, В.М. Основы холодильной техники и технологии пищевых отраслей промышленности. – М.: ДеЛипринт, 2002.- 126 с.

81. Шидловская, В.П. Органолептические свойства молока и молочных продуктов [Текст]: справочник. – М.: Колос. – 2000. – 280 с.

82. Шобанова, Т.В. Влияние жировой фазы на технологически значимые показатели мороженого пломбир без эмульгаторов/ Т.В. Шобанова, А.А. Творогова. – Пищевые системы. – 2018. - №2(Т1). – С. 4-11.

83. Arbukle, W.S. Ice Cream (Secondedition). – Westport Connecticut: The Avi Publishing Company, Inc., 1972. – 474 p.

84. Bahramparvar M., Tehrani M.M. Application and function of stabilizers in ice cream // Food Rev. Int., 2011, 27, p. 389-407.

85. Belloperez, L.A/, Roger, P., Baud, B.,Colonna, P. Macromolecular features of starches determined by aqueous high-performance size exclusion chromatography // J. Cereal Sci., 1998, 27, 277-278.

86. Biasutti M., Venir E., Marchesini G., Innocente N. Rheological properties of model dairy emulsions as affected by high pressure homogenization // Innov.Food Sci. Emerg. Technol., 2010, 11, p. 580-586.

87. Bolliger, S. Relationships between ice cream mix viscoelasticity and ice crystal growth in ice cream/ S. Bolliger, H. Wildmoser, H.D. Goff, F.W. Tharp//International dairy journal. – 2000. - №10. – P. 791-797.

88. Budiaman, E.R. Linear Rate of water crystallization as influenced by temperature of hydrocolloid suspensions (a)/ E.R. Budiaman, O.R. Fennema// journal of Dairy science. – 1987. –№ 70. – P. 534 – 546.

89. Budiaman, E.R. Linear Rate of water crystallization as influenced by temperature of hydrocolloid suspensions (a)/ E.R. Budiaman, O.R. Fennema// journal of Dairy science. – 1987. –№ 70. – C. 534 – 546.

90. Caldwell, K.B. Alov temperature scahning electron microscopy study of ice cream. Influence of selected ingredients and processes / K.B. Caldwell, H.D. Goff // Food struc. – 1992. - № 36. – P 11-23.

91. Donhowe, D.P. Recrystallization of ice during bulk storage of ice cream (b)/ D.P. Donhowe, R.W. Hartel// International Dairy journal. – 1996. – № 6. – P. 1209 – 1221.

92. Donhowe, D.P. Recrystallization of ice in ice cream during controlled accelerated storage (a)/ D.P. Donhowe, R.W. Hartel// International Dairy journal. – 1996. – № 6. – P. 1191 – 1208.

93. Drewtt, E.M. Hartel R.W. Ice crystallization in a scraped surface freezer // J. Food Eng., 2007, 78, p. 1060-1066.

94. Escher, F. Acceptance of starch and proteins as food texturogens // Food Acceptance and Nutrition / Solms, J., Booth, D.A., Pangborn, R.M. Raunhardt, O., eds. – London: Academic Press, 1987. – P. 173-187.

95. Flores, A.A Recrystallization in ice cream after constant and cycling temperature storage conditions as affected by stabilizers (b)/ A.A. Flores, H.D. Goff// journal of Dairy science. – 1999. –№ 82. – P. 1408 – 1415.

96. Flores, A.A. Recrystallization in ice cream after constant and cycling temperature storage conditions as affected by stabilizers (b)/ A.A. Flores, H.D. Goff// journal of Dairy science. – 1999. - № 82. – C. 1408-1415.

97. Frandsend, I.H., Arbucle W.S. Ice cream and related products [Text] – New York, London: Westport Connecticut, 1961. – 372 p.

98. Funderberg A.C. Chokolate, strawberry and vanilla: a history of Amerikan ice cream. – Bowling Green, OH : Bowling Green State University Popular Press, 1995. – P.211.

99. Goff, H.D., Jordan, W.K. Action of emulsifiers in promoting fat destabilization during manufacture of ice cream // J. Dairy Sci., 1989, 72(1), 385-397.

100. Goff, H.D., Jordan, W.K. Action of emulsifiers in promoting fat destabilization during manufacture of ice cream // J. Dairy Sci., 2004, 72(1), 385-397.

101. Goff, H.D., Spagnulolo, P. Effect of stabilizers on fat destabilization measurements in ice cream // Milchwissenschaft, 2001, 56(8), 450-453.

102. Hartel, R.W. Crystallization in Foods. – NY: Aspen Publ., 2001.

103. Hayes M.G., Lefrancois A.C., Waldron D.S., Goff H.D., Kelly A.L. Influence of high pressure homogenization on some characteristics of ice cream // Milchwissenschaft, 2003, 58, S. 519-523.

104. Hindmarch J.P., Russell A.B., Chen X.D. Fundamentals of the spray freezing of foods – microstructure of frozen droplets //J. Food Eng., 2007, 78, p. 136-150.

105. Innocente N., Biasutti M., Venir E., Spaziani M., Marchesini G. Effect of high-pressure homogenization on droplet size distribution and rheological properties of ice cream mixes //J. Dairy Sci., 2008, 92, p. 1864-1875.

106. Krog, N. The use of emulsifiers in ice cream In W. Buchheim/ N. Krog// Ice cream. Brussels: International Dairy Federation Special Issue. – 1988. – № 9803. – С. 37 – 44.

107. McKenna, B.M. (ed) Texture in Food/ - Vol. 1: Semi-Solid Foods. – Cambridge: WoodheadPublisching, 2003.

108. Pelan, B.M.C. The Stability of a erated milk protein emulsions in the presence of small molecule surfactants / B.M.C. Pelan, K.M. Watts // J. Dairy Sci. – 1997. - № 80. – P. 2631-2638.

109. Prindiville, E.A. Effect of milk fat on the sensory properties of chocolate ice cream/ E.A. Prindiville, R.T. Marshall, H. Heymann// journal of Dairy science. – 1999. –№ 82. – С. 1425 – 1432.

110. Prosky, L. Inulin and oligofructose are part of the dietary fiber complex // J. of AOAC Intern., 1999, 82, p. 223-226.

111. .Regand, A. Structure and ice recrystallization in frozen stabilized ice cream model systems/ A. Regand, H.D. Goff// Food Hydrocolloids. – 2003. - № 17. – С. 95-102.

112. Regand, A. Effect of biopolimerson structure and ice recrystallization in dinamicalli – frozer ice cream moder systems/ A. Regand, H.D. Goff// journal of Dairy science. – 2002. – № 85. – P. 2722 – 2732.

113. Russell, A.B., Cheney P.E., Wantling S.D. Influence of freezing conditions on ice crystallization in ice cream // J. Food Eng., 1999, 39, p. 179-191.

114. Sair, L. Water sorption by starches / L. Sair, W.R. Fetzer // Lebensm. Wiss. Technol. – 1990. № 23. – P. 205-208.

115. Segal, K.I. Influence of absorbed milk protein type and surface concentration on the quiescent and shear stability of butteroil emulsions / K.I. Segal, H.D. Goff// International Dairy journal. – 1999. – № 9. – p. 683 – 691.

116. Sheu, T.Y. Microentrapment of lactobacilli in calcium alginate gels / T.Y. Sheu, R.T. Marshall // Food Sci. – 1993. - № 54. – P. 557-561.

117. Williams, P. A., Phillips, G.O., Norton, I.T, Foster T. J. (2002).Hydrocolloids in Real Food Systems. The proceedings of the Eleventh Gums and Stabilisers for the Food Industry Conference, Eds. - Royal Society of Chemistry Special Publication, (278), 187-200.

118. Zhang Z., Goff H.D. On fat destabilization and composition of the air interface in ice cream containing saturated and unsaturated monoglyceride // Int. Dairy., 2005, 15, p. 495-500.

119. Панов А.Н. Популярно о химии и технологии производства мороженого – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.dataved.ru/2010/09/ice-cream-chemistry.html#intro (19.04.2012).

Приложение 1

УТВЕРЖДАЮ
Директор ФГБНУ
ВНИХИ

_____ Г.А. Белозеров
«20» апреля 2015 г.

ИНСТРУКЦИЯ

по использованию крахмалов «Novation» компании «Ingredion » США в производстве мороженого без пищевых добавок или с ограниченным их использованием

Дата введения 1мая 2015 г.

Настоящая инструкция распространяется на использование в производстве мороженого без пищевых добавок функциональных нативных крахмалов серии «Novation» компании «Ingredion» (США) в качестве стабилизаторов.

1. ХАРАКТЕРИСТИКА И ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

1.1 В производстве мороженого и смесей для мороженого без пищевых добавок, или с ограниченным их использованием применяют функциональные нативные тапиоковые крахмалы (далее по тексту – крахмалы «Novation»).

Крахмалы «Novation» получают из отборного сырья (корней маниоки) с помощью специальной технологии Novation, предусматривающей применение термомеханических режимов обработки. Химическая модификация не используется, что позволяет классифицировать крахмалы «Novation» как пищевые ингредиенты, а не пищевые добавки. В производстве мороженого применяются крахмалы «Novation» следующих наименований:

-«Novation Indulge 3920»

-«Novation 3300»

Приложение 2

УТВЕРЖДАЮ
Директор ФГБНУ ВНИХИ
_____ Г.А. Белозеров
«___» апреля 2016 г.

ИНСТРУКЦИЯ

по применению пищевых волокон торговой марки «SenseFi» фирмы «BORREGAARD» (Норвегия) в производстве мороженого пломбир

Дата введения 1 мая 2016

Настоящая инструкция распространяется на использование в производстве мороженого пломбир в качестве стабилизатора структуры пищевых волокон торговой марки «SenseFi» фирмы «BORREGAARD» (Норвегия), поставляемых ООО «ПТК Ингредиенты».

1 Характеристика и общие сведения

1.1 Пищевые волокна торговой марки «SenseFi» (далее по тексту – пищевые волокна SenseFi) – порошкообразная натриевая соль карбоксиметилцеллюлозы – (Е466ii).

1.2 Пищевые волокна SenseFi – обладают функциями стабилизатора, загустителя и структурообразователя (инициируют образование кристаллов льда при замораживании водных растворов).

1.4 Пищевые волокна SenseFi сохраняют свои функциональные свойства в широком диапазоне температур, pH (2,5-10).

1.5 Технология применения пищевых волокон SenseFi должна соответствовать требованиям и рекомендациям настоящей инструкции.

2 Технические требования

2.1. По органолептическим показателям пищевые волокна SenseFi должны соответствовать требованиям, указанным в таблице 1.

Приложение3

Всероссийский научно-исследовательский институт (ВНИХИ)
филиал ФГБНУ «ФНЦ пищевых систем им. В.М. Горбатова» РАН

УТВЕРЖДАЮ
Директор ВНИХИ - филиал
ФГБНУ«ФНЦ пищевых систем
им. В.М. Горбатова» РАН
_____ Г.А. Белозеров
«17» октября 2018 г.

Методика определения в мороженом содержания структурирующего жира ($C_{СЖ}$)

РАЗРАБОТАНО

ВНИХИ - филиал ФГБНУ «ФНЦ пищевых систем им. В.М. Горбатова» РАН

Заместитель директора по научной работе
_____А.А. Творогова

Мл. научный сотр. лаборатории технологии мороженого
_____Т.В. Шобанова

Москва 2018

Приложение 4

Всероссийский научно-исследовательский институт (ВНИХИ)
филиал ФГБНУ «ФНЦ пищевых систем им. В.М. Горбатова» РАН

УТВЕРЖДАЮ
Директор ВНИХИ – филиала
ФГБНУ«ФНЦ пищевых систем
им. В.М. Горбатова» РАН
_____ Г.А. Белозеров
«9» января 2019 г.

Технологическая инструкция по производству мороженого пломбир с моностабилизаторами физической модификации

Дата введения 11.01.2019

РАЗРАБОТАНО
ВНИХИ - филиал ФГБНУ
«ФНЦ пищевых систем
им. В.М. Горбатова» РАН

Заместитель директора по научной работе
_____А.А. Творогова

Младший научный сотрудник лаборатории
технологии мороженого
_____Т.В. Шобанова

Москва 2019

Приложение 5

АКТ

внедрения результатов научных исследований в производство

г. Люберцы, Московская область,
ООО «Лагуна Койл»

Мы, нижеподписавшиеся, начальник производства Юрин В.И. и гл. технолог Писулькина Е.Ю. ООО «Лагуна Койл» (Группа компаний «Русский Холодъ») и мл. научный сотрудник ВНИХИ – филиала ФГБНУ «ФНЦ пищевых систем им. В.М. Горбатова» РАН составили настоящий акт о том, что внедрили технологию мороженого пломбир с пищевым волокном торговой марки «SenseFi» на ООО «Лагуна Койл». Указанная разновидность мороженого вырабатывается на предприятии с июня 2018 года. Мороженое производится в виде порций 450 г, характеризуется высокими органолептическими показателями, сохраняет кремообразную консистенцию без органолептически ощутимых кристаллов льда в процессе хранения в течение 12 месяцев, пользуется спросом у потребителей.

Начальник производства
ООО «Лагуна Койл» Юрин В.В.

Гл. технолог
ООО «Лагуна Койл» Писулькина Е.В.

Мл. научный сотрудник
ВНИХИ Шобанова Т.В.

ОБЩЕСТВО С ОГРАНИЧЕННОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТЬЮ "ЛАГУНА КОЙЛ" * МОСКВА * Г.Р.№1159690

Приложение 6

Акт

производственной апробации производства мороженого
пломбир с пищевым волокном торговой марки «SenseFi»
на ООО «Йошкар-Олинский хладокомбинат»

Мы, нижеподписавшиеся: зам. директора по производству ООО «Йошкар-Олинский хладокомбинат» Танерова Л.Н., сотрудники ООО «Йошкар-Олинский хладокомбинат технолог Вишнякова Л.Н и зав. лабораторией Иванова О.Г, мл. научный сотрудник ВНИХИ – филиала ФГБНУ «ФНЦ пищевых систем им. В.М. Горбатова» РАН Шобанова Т.В. о том, что 5.10.2018г в промышленных условиях ООО «Йошкар-Олинский хладокомбинат» проведена выработка промышленной партии мороженого пломбир с использованием в качестве стабилизатора структуры пищевого волокна торговой марки «SenseFi».

Мороженое вырабатывали в соответствии с ГОСТ 31457-2012 «Мороженое молочное, сливочное и пломбир. Технические условия».

В процессе производства установлено, что использование пищевого волокна торговой марки «SenseFi» в производстве мороженого пломбир не требует использования дополнительного оборудования; позволяет исключить стадию «созревание смеси», что особенно важно в период сезонного производства продукта. Мороженое с пищевым волокном по органолептическим показателям не уступало продукту с традиционно используемым комплексным стабилизатором-эмульгатором.

Зам. директора ООО «Йошкар-Олинский хладокомбинат» Танерова Л.Н.

Технолог ООО «Йошкар-Олинский хладокомбинат» Вишнякова Л.Н.

Зав. лабораторией ООО «Йошкар-Олинский хладокомбинат» Иванова О.Г.

Мл. научный сотрудник ВНИХИ – филиала ФГБНУ «ФНЦ пищевых систем им. В.М. Горбатова» Шобанова Т.В.