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

ЛАНДИХОВСКАЯ АННА ВАЛЕНТИНОВНА

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОБОСНОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ МОЛОЧНОГО МОРОЖЕНОГО С ФРУКТОЗОЙ И ТРЕГАЛОЗОЙ

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,
Творогова Антонина Анатольевна

Москва - 2022

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ 5

ГЛАВА 1. ОБЗОР НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ ЛИТЕРАТУРЫ 10

1.1 Анализ законодательных и нормативных документов в области здорового питания в России и за рубежом 10

1.2 Особенности мороженого, как замороженного аэрированного сладкого молочного составного продукта 17

1.2.1 Роль жира в мороженом и ингредиенты для выполнения его функциональной роли 18

1.2.2 Роль сахаров в мороженом и ингредиентов для замены сахарозы по сладости и сухому веществу 22

1.2.3 Особенности кристаллообразования воды и рекристаллизации льда в мороженом с низким содержанием жира и сухих веществ 34

1.2.4 Компоненты, влияющие на состояние структуры мороженого 36

1.3 Выводы по обзору научно-технической литературы 41

ГЛАВА 2. МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ, СХЕМА ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ, ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ 43

2.1 Организация экспериментальных работ 43

2.2 Объекты исследований 43

2.3 Методы исследований 45

2.3.1 Микроскопические исследования 45

2.3.1.1 Определение состояния и дисперсности воздушной фазы 45

2.3.1.2 Определение состояния и дисперсности кристаллов льда 45

2.3.2 Структурно-механические исследования 46

2.3.2.1 Определение динамической вязкости смесей для мороженого 46

2.3.2.2 Определение твердости мороженого 47

2.3.3 Исследования устойчивости мороженого к воздействиям температуры..... 47

2.3.3.1 Определение устойчивости к таянию 47

2.3.3.2 Определение формоустойчивости..... 48

2.3.4 Определение теплофизических характеристик (ТФХ) мороженого 49

2.3.4.1 Определение криоскопической температуры на осмометре-криоскопе..... 49

2.3.4.2 Определение криоскопической температуры и доли вымороженной влаги расчётным способом 50

2.3.4.3 Определение температуры стеклования методом дифференциально-сканирующей калориметрии..... 51

2.3.5 Математическая обработка данных 52

ГЛАВА 3. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ 53

3.1 Разработка композиционного состава стабилизационной системы для мороженого с низким содержанием жира 53

3.1.1 Экспериментальное обоснование состава гидроколлоидов и эмульгаторов комплексной стабилизационной системы 53

3.1.2 Экспериментальное обоснование использования разработанной комплексной стабилизационной системы..... 58

3.2 Обоснование композиционного состава молочного мороженого без сахарозы 61

3.2.1 Исследование композиционного состава мороженого промышленного производства 61

3.2.2 Исследование характера кристаллообразования в модельных растворах углеводов и пищевых волокон..... 65

3.2.3 Экспериментальное обоснование компонентов для восполнения сухих веществ в мороженом с низкой массовой долей жира..... 68

3.2.4 Обоснование композиционного состава мороженого с низким содержанием жира с фруктозой и трегалозой 78

3.2.5 Определение криоскопической температуры и температуры стеклования сахаров в мороженом без сахарозы 88

3.2.6 Изучение влияния температуры выгрузки из фризера на дисперсность структурных элементов мороженого с фруктозой и трегалозой 90

3.3 Исследование влияния колебаний температуры на показатели качества мороженого с низким содержанием жира 93

3.3.1 Изучение влияния композиции фруктозы, трегалозы и пищевых волокон на дисперсность кристаллов льда в процессе хранения при колебаниях температуры 93

3.3.2 Изучение воздействия цикличных колебаний на показатели качества мороженого 101

3.4 Определение возможности производства мороженого с фруктозой и трегалозой с массовой долей жира не выше 1% 110

3.5 Разработка технологии молочного мороженого с фруктозой и трегалозой и расчёт себестоимости продукции 115

ЗАКЛЮЧЕНИЕ 118

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ 120

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ 121

ПРИЛОЖЕНИЯ 134

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования.

Стратегия повышения качества пищевой продукции в Российской Федерации до 2030 года предусматривает меры по повышению качества жизни населения за счет питания, способствующего профилактике заболеваний и увеличению продолжительности жизни. К таким мерам относятся ограничения калорийности дневного рациона питания и потребления продуктов с высоким гликемическим индексом, в том числе содержащих сахарозу, для лиц, поддерживающих здоровый образ жизни, или с диабетом второго типа и ожирением.

В настоящее время наибольшей популярностью пользуется мороженое с массовыми долями жира 12-15 % и сахарозы не менее 14 %, поскольку имеющиеся разновидности продукта с низкой массовой долей жира и без сахарозы характеризуются неудовлетворительными потребительскими свойствами – плотной консистенцией и органолептически ощутимыми кристаллами льда. Это вызвано тем, что замена сахарозы, составляющей около 50 % сухих веществ продукта, производится в основном полиолами и интенсивными подсластителями. Низкий спрос на такую продукцию вызван также и тем, что в соответствии с ТР ТС 033/2013 из-за отсутствия сахаров (за исключением лактозы) в количестве не менее 14,5 % она не маркируется как «молочное мороженое». Кроме того, в соответствии с ТР ТС 022/2011 при использовании полиолов существует необходимость информировать потребителей об их слабительном действии соответствующей записью на упаковке.

Учитывая недостатки имеющегося мороженого с низкой массовой долей жира и без сахарозы, существует необходимость разработки такого продукта с измененным нутриентным составом для достижения высоких органолептических показателей.

Таким образом, разработка технологии молочного мороженого с массовой долей жира не выше 3% с фруктозой и трегалозой является актуальной и перспективной задачей.

Степень разработанности темы. Большой вклад в развитие основ технологии мороженого и замороженных десертов внесли отечественные и зарубежные ученые: Оленев Ю. А., Творогова А. А., Фильчакова Н. Н., Arbuckle W. S., Goff H. D., Hartel R. W., Sommer H. H.

Цель и задачи исследований.

Целью исследования является аргументирование и разработка нутриентного состава и принципов формирования структуры молочного мороженого без сахарозы для создания научно обоснованной технологии.

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

1. Проведение аналитического обзора законодательной и нормативной базы, научной и специализированной технической литературы по вопросам производства пищевых продуктов функциональной направленности, мороженого, в частности, для обоснования цели и задач исследования.
2. Экспериментальное обоснование качественного и количественного состава гидроколлоидов и эмульгаторов для создания комплексной стабилизационной системы для мороженого с низким содержанием жира.
3. Обоснование массовой доли сухих веществ в молочном мороженом с фруктозой и трегалозой без органолептически ощутимых кристаллов льда.
4. Разработка композиции фруктозы и трегалозы для замены сахарозы по сладости и по сухому веществу.
5. Определение влияния колебаний температуры на дисперсность структурных элементов молочного мороженого.
6. Обоснование стадий и параметров процесса производства молочного мороженого с фруктозой и трегалозой.

7. Разработка технологии и технической документации по производству молочного мороженого с фруктозой и трегалозой для внедрения их на действующих предприятиях отрасли.

Научная новизна. Теоретически обоснован и экспериментально подтвержден нутриентный и ингредиентный состав мороженого с низким содержанием жира без сахарозы, включающий: композицию сахаров (фруктозы и трегалозы) и пищевых волокон с синергетическими криопротекторными свойствами, эффективных стабилизаторов и эмульгаторов с высокой поверхностной активностью на границе раздела воздушной фазы.

Экспериментально обоснованы принципы стабилизации структуры низкожирного молочного мороженого с фруктозой и трегалозой, базирующиеся на требованиях к химическим, реологическим и микроструктурным показателям исходной смеси и готового продукта.

Теоретическая и практическая значимость работы.

Теоретически и экспериментально обоснованы состав и принципы стабилизации структуры молочного мороженого с низкой массовой долей жира с фруктозой и трегалозой.

Разработаны технология и техническая документация по производству мороженого:

– ТУ и ТИ ТУ 10.52.10-016-19811926-2019 «Мороженое молочное без сахарозы. Технические условия».

– ТУ и ТИ ТУ 10.52.10-023-19811926-2021 «Мороженое молочное, сливочное и пломбир без сахарозы. Технические условия».

Подана заявка на патент (№ 2020134223).

Технология молочного мороженого с фруктозой и трегалозой освоена на 2 предприятиях отрасли: АО «Новокузнецкий хладокомбинат» и ИП «Пашин» (Фабрика мороженого «Давайс»).

Методология и методы исследования. Основу методологии составляют общепринятые и специальные методы исследования показателей качества мороженого и замороженных десертов.

Положения, выносимые на защиту:

- теоретическое и экспериментальное обоснование нутриентного состава молочного мороженого с фруктозой и трегалозой;
- результаты экспериментальных исследований синергетических криопротекторных свойств композиции сахаров и пищевых волокон, подтверждающие их положительное влияние на нуклеацию и дисперсность кристаллов льда в мороженом в процессе производства, хранения и колебаний температуры.

Степень достоверности и апробация результатов. Достоверность полученных данных подтверждается проведением экспериментов в трех-пятикратной повторности. Использовалось современное оборудование, применялась статистическая обработка результатов исследований с доверительной вероятностью 0,95.

Основные результаты работы были представлены и обсуждены на российских и международных конференциях: «Развитие пищевой и перерабатывающей промышленности России: кадры и наука», г. Москва, 2017; «Пищевые системы: теория, методология, практика», г. Москва, 2017; «Новые подходы к разработке технологий производства и переработки сельскохозяйственной продукции», г. Волгоград, 2018; «Интенсификация пищевых производств: от идеи к практике». Красково, 2018; «Фундаментальные и прикладные аспекты нутрициологии и диетологии. Лечебное, профилактическое и спортивное питание», г. Москва, 2018; «Инновационные технологии обработки и хранения сельскохозяйственного сырья и пищевых продуктов», г. Москва, 2020; «Актуальные задачи производства мороженого в современных условиях», г. Москва, 2020; «Современные пищевые тенденции глазами молодых ученых: перспективы, инновации и прогрессивные технологии», г. Санкт-Петербург, 2021.

Публикации. По материалам выполненных исследований опубликовано 16 печатных работ, в том числе 6 статей в журналах, рекомендуемых ВАК РФ, 2 – в журналах, индексируемых международными базами Scopus и Web of Science.

Структура и объём диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, обзора научно-технической литературы, описания методов и объектов исследований, представления и обсуждения полученных результатов, заключения, списка литературы и приложений. Работа изложена на 133 страницах, содержит 43 рисунка, 29 таблиц и 5 приложений. Список цитируемой литературы включает 129 наименований работ российских и зарубежных исследователей.

ГЛАВА 1. ОБЗОР НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1.1 Анализ законодательных и нормативных документов в области здорового питания в России и за рубежом

Состояние здоровья человека в значительной степени зависит от его питания. Здоровое питание – один из важнейших факторов, оказывающих влияние на самочувствие и продолжительность жизни человека.

Ожирение – хроническое заболевание, которое является одной из основных проблем здравоохранения в большинстве промышленно развитых странах. Ожирение признано ВОЗ неинфекционной эпидемией нашего времени. Всего с диагнозом «ожирение» в России зарегистрировано 1,6 млн человек, но реальные показатели распространения ожирения и избыточной массы тела выше [1]. Распространенность ожирения в США за последние 10 лет возросла на 56%. В европейских странах доля лиц с ожирением различается, наименьшие показатели зафиксированы во Франции и Швейцарии. Однако около 50% всех жителей западного мира имеют избыточную массу тела или ожирение [2, 3]. В Индии городское население, а именно 49% женщин и 36% мужчин имеют проблемы со здоровьем, связанные с ожирением [4].

Чрезмерное употребление сахара может способствовать развитию таких болезней, как гипертония, диабет 2 типа, сердечно-сосудистые заболевания, а также быть причиной развития кариеса. Ежедневная калорийность потребляемых сахаров во всем мире находится на уровне 500 ккал/день, однако, при рекомендуемой суточной норме употребления сахара 25 грамм, должна составлять не более 96 ккал/день [5]. ВОЗ отмечает, что к 2025 году рост случаев диабета может увеличиться на 57,2 млн по сравнению с 19,4 млн случаев на 2018 год [4].

На повышение качества пищевой продукции направлена политика правительства Российской Федерации. Разработаны и внедрены различные

нормативные и законодательные акты, регулирующие требования безопасности продуктов питания [6, 7, 8, 9].

Стратегия повышения качества пищевой продукции в Российской Федерации до 2030 г. ориентирована на обеспечение полноценного питания, профилактику заболеваний, а также стимулирование развития производства и обращения на рынке пищевой продукции надлежащего качества. Целями Стратегии являются: обеспечение качества пищевой продукции как важнейшей составляющей укрепления здоровья, увеличение продолжительности и повышение качества жизни населения. Продвижение принципов здорового питания – задача, позволяющая достигнуть указанных целей [6].

В соответствии с ТР ТС 022/2011 вся информация о продукте должна выноситься на этикетку [7]. В регламенте установлены правила маркировки пищевой продукции, содержащей отличительные признаки (приложение 5), в частности, содержание белка, жира, сахаров и пищевых волокон (таблица 1.1).

Таблица 1.1 – Условия при использовании в маркировке пищевой продукции информации об отличительных признаках пищевой продукции

Показатель пищевой ценности или компонент	Информация об отличительных признаках пищевой продукции	Условие, соблюдение которого является обязательным при использовании в маркировке пищевой продукции информации об отличительных признаках пищевой продукции
1	2	3
Энергетическая ценность (калорийность)	Пониженная	Энергетическая ценность (калорийность) снижена не менее чем на 30% относительно энергетической ценности (калорийности) аналогичной пищевой продукции
Белок	Источник	Белок обеспечивает не менее 12% энергетической ценности (калорийности) пищевой продукции при условии, что количество белка на 100 г для твердых продуктов составляет не менее 5% суточной потребности в белке
Белок	Высокое содержание	Белок обеспечивает не менее 20 % энергетической ценности (калорийности) пищевой продукции

Окончание таблицы 1.1

Жир	Низкое содержание	Жир составляет не более 3 г на 100 г для твердой пищевой продукции
Сахара (сумма моно- и дисахаридов)	Низкое содержание	Сахара составляют не более 5 г на 100 г для твердой пищевой продукции
Пищевые волокна	Источник	Содержание пищевых волокон составляет не менее 3 г на 100 г для твёрдой пищевой продукции
Пищевые волокна	Высокое содержание	Содержание пищевых волокон составляет не менее 6 г на 100 г для твердой пищевой продукции

В соответствии с приложением 2 ТР ТС 022/2011 «рекомендуемый уровень суточного потребления белков составляет 75 г, жиров – 83 г, из них должно быть 11 г – полиненасыщенных жирных кислот, углеводов – 365 г, в т. ч. сахаров (сахарозы) – 65 г, пищевых волокон не менее 30 г».

В Европе представление потребителям информации о продуктах питания происходит в соответствии с регламентом ЕС [10].

Особое место среди продуктов для здорового питания занимают обогащенные пищевые продукты. В соответствии с ТР ТС 021/2011, обогащенная пищевая продукция – пищевая продукция, в которую добавлены одно или более пищевые и (или) биологически активные вещества и (или) пробиотические микроорганизмы, не присутствующие в ней изначально, либо присутствующие в недостаточном количестве или утерянные в процессе производства (изготовления); при этом гарантированное изготовителем содержание каждого пищевого или биологически активного вещества, использованного для обогащения, доведено до уровня, соответствующего критериям для пищевой продукции – источника пищевого вещества или других отличительных признаков пищевой продукции, а максимальный уровень содержания пищевых и (или) биологически активных веществ в такой продукции не должен превышать верхний безопасный уровень потребления таких веществ при поступлении из всех возможных источников (при наличии таких уровней) [11].

Использование пищевых добавок при производстве пищевой продукции требуемого качества должно соответствовать техническому регламенту ТР ТС 029/2012 «Требования безопасности пищевых добавок, ароматизаторов и технологических вспомогательных средств» [8]. В Европе эмульгаторы, стабилизаторы, загустители и гелеобразующие агенты классифицируются как пищевые добавки, использовать их необходимо в соответствии с регламентом (ЕС) 1333/2008 [12, 13].

В других странах, так же, как и в Российской Федерации, здоровое питание находится под контролем государства. В США контроль над производством продуктов питания осуществляют многочисленные государственные органы, среди которых можно выделить два основных федеральных ведомства: Департамент сельского хозяйства США (USDA) и Управление контролем качества пищевых продуктов и медикаментов (Food and Drug Administration, or FDA) Департамента здравоохранения и социальных служб США. Первая организация занимается контролем безопасности мяса, мяса птицы и продуктов переработки яиц, на её долю приходится контроль 10-20% продовольствия страны, на долю FDA – оставшаяся часть. 29 марта 2018 года комиссар FDA Scott Gottlieb объявил о стратегии инноваций в области питания FDA для предотвращения смертности, вызванной некачественным питанием. В частности, ведется работа о вынесении информации о «здоровом» продукте на этикетку. Данная организация уделяет огромное внимание этикетке продукта, которая позволила бы покупателю получать более обширную информацию о продуктах для здорового питания. Кроме того, FDA объявило о проведении обучения потребителей новой информации о питании.

Деятельность FDA регулируется Федеральным законом о пищевых продуктах, лекарственных препаратах и косметике» — «Federal Food, Drug and Cosmetic Act» [14].

В соответствии с FDA белок рекомендуется употреблять в количестве 50 г/сутки при рационе питания 2000 ккал. Данная организация устанавливает

следующие понятия о белоксодержащих продуктах: «высокое содержание белка» - 20% от суточной нормы, «источник белка» – от 15 до 19% от суточной нормы [13, 15].

В отличие от США в Японии узаконены маркировки для 4 категорий продуктов питания: «богатый», «источник», «низкий» и «действительно не содержат». Все пищевые продукты, соответствующие требованиям, обозначаются как «пищевые продукты с заявленной пользой о здоровье» и «пищевые продукты с заявленной пищевой ценностью». Последнее утверждение должно быть основано на данных проведенных исследований и доказана польза для здоровья [16].

Всемирной организацией здравоохранения на 64 сессии европейского регионального комитета, проводимой в Копенгагене с 15-18 сентября 2014 года, был рассмотрен план действий в области пищевых продуктов и питания на 2015 – 2020 годы. Данный план выстроен на принципах европейской политики «Здоровье – 2020». Главная задача этого плана – снижение заболеваний среди населения, связанных с ожирением, избыточной массой тела и другими формами нарушения питания. Для решения этой задачи были сформулированы следующие цели:

- создание среды, благоприятствующей потреблению продуктов и напитков для здорового питания;

- содействие сбалансированному рациону питания на всех этапах жизни потребителей;

- укрепление системы здравоохранения, способствующей формированию здорового рациона питания [17].

Деятельность правительства Российской Федерации, а также общемировые тенденции в сторону увеличения производства продуктов для здорового питания, диктуют условия для производителей продуктов различных отраслей промышленности: мясной, молочной, кондитерской и других.

В пищевых рационах у трети населения превышено потребление жира, причем соотношение животных и растительных жиров не сбалансировано, наблюдается высокий уровень потребления насыщенных жирных кислот и холестерина и недостаток ненасыщенных, особенно незаменимых (полиненасыщенных) [18].

Приблизительно у 60% взрослых россиян уровень холестерина выше рекомендуемого, причём у 20% населения он настолько высок, что требует медицинского вмешательства. Повышение уровня холестерина в основном обуславливается нарушением принципов здорового питания [1].

В целях удовлетворения возросшего спроса среди населения на продукты для здорового питания необходимо расширять имеющийся ассортимент продукции и в отрасли производства мороженого. Мороженое и замороженные десерты производятся согласно требованиям Технического регламента ТР ТС 033/2013 [9], а также при этом учитываются требования других регламентов и нормативных документов [7, 8, 11, 19].

В соответствии с требованиями ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии» значительная часть составных частей мороженого позволяет относить его к продукту с удовлетворительной пищевой ценностью (таблица 1.2) [20].

Таблица 1.2 – Содержание пищевых веществ в 100 г молочного и сливочного мороженого

Пищевые вещества	Содержание пищевых веществ в 100 г продукта		
	Удовлетворительное по рекомендациям ФИЦ питания	Молочное мороженое	Сливочное мороженое
Белок, г	1,5 – 7,5	3,7	3,7
Жиры, г	1,7 – 8,3	3,9	10,3
Насыщенные жирные кислоты, г	0,5 – 2,5	2,2	6,3

Окончание таблицы 1.2.

Полиненасыщенные жирные кислоты, г	5,0 – 17,0	0,9-1,6	2,5-4,5
Холестерин, г	6 – 30	10	29
Углеводы, г	7,4 – 37	21	19,5
Натрий, мг	48 – 240	51	50
Калий, мг	70 – 350	148	156
Кальций, мг	50 – 100	136	148
Магний, мг	8 - 40	17	22

Из таблицы 1.2 следует, что в соответствии с рекомендациями ФИЦ питания удовлетворительным считается продукт с массовой долей жира, не превышающей 8,3%, в данную категорию входит молочное мороженое, что даёт предпосылки к созданию на его основе маложирных разновидностей этого продукта, а также замороженных десертов функциональной направленности.

В странах Северной Америки определены особые требования к маркировке мороженого с пониженным содержанием жира. В частности, в Канаде разновидности с низким содержанием жира определяются как легкое мороженое (5–7,5% молочного жира), молочный лёд (3–5% молочного жира) или замороженный молочный десерт. Большинство стран ЕС разрешают продажу молочного льда, содержащего не менее 2,5–5% жира [21, 22].

Управление безопасности пищевых продуктов и стандартов в Индии (FSSAI) установило, что общее содержание жира в нежирном мороженом должно быть не более 2,5%, содержание белка – не менее 3%, содержание сухих веществ – 30,44/100г продукта [4].

Известно, что мороженое с низким содержанием жира быстро тает, характеризуется органолептически ощутимыми кристаллами льда и излишне твердой консистенцией [23]. Основной задачей при изготовлении мороженого и замороженных десертов с пониженным содержанием жира является создание структуры без органолептически ощутимых кристаллов льда в процессе хранения

и повышение формо- и термоустойчивости продукта. Для обеспечения требуемых физических и органолептических свойств необходимы новые технологии и пищевые ингредиенты, внесение которых улучшит показатели качества мороженого и замороженных десертов.

1.2 Особенности мороженого, как замороженного аэрированного сладкого молочного составного продукта

Мороженое – продукт, получаемый с использованием холода и сохраняемый под его воздействием. Структура мороженого формируется в процессе ряда последовательных технологических операций, параметры которых строго регламентируются с целью получения продукта с определенными физико-химическими и органолептическими показателями.

Замороженные десерты могут изготавливаться полностью из компонентов, не содержащих молока и молочной продукции: фруктовые сорбеты или десерты на основе растительных белков (соя). Мороженое содержит в своём составе сухие вещества молока, являющиеся источником таких нутриентов, как жир, белок и сахар (лактоза) [19]. Молочный жир может быть частично или полностью заменен на растительный. Основным источником белка является сухое обезжиренное молоко. Возможна замена молочного белка на растительный в производстве замороженного десерта. В производстве мороженого используют также в качестве сырьевых компонентов пищевкусовые продукты, стабилизаторы, эмульгаторы, воду и ароматические вещества (натурального или искусственного происхождения) [21, 24].

Основной компонент смеси – вода. Часть воды находится в связанном состоянии. Она не участвует в растворении компонентов и не вымораживается. Чем выше содержание сухих веществ в продукте, тем меньше воды он содержит, тем самым образуется меньше кристаллов льда и поэтому в процессе хранения вероятность образования грубой текстуры ниже.

Сахар образует в воде истинные растворы. Размер частиц в истинных растворах не превышает 1 мкм. В виде истинных растворов в смеси находятся и соли, вносимые в мороженое в составе СОМО.

Белки, СОМО, гидроколлоиды в воде образуют коллоидные растворы. Размер частиц в коллоидных растворах в 10 раз выше размера частиц в истинных растворах. Такие частицы можно увидеть с помощью электронного микроскопа [25].

1.2.1 Роль жира в мороженом и ингредиенты для выполнения его функциональной роли

Молочный жир в значительной степени способствует созданию в мороженом кремообразной консистенции, влияет на вкус продукта и сказывается на состоянии его структуры.

Стремление к потреблению здоровой и диетической пищи вызвало спрос на продукты с низким содержанием жира [26]. Уменьшение массовой доли жира в мороженом – возможность не только понизить калорийность продукта, но и уменьшить стоимость продукта [27]. Снижение массовой доли или исключение жира из рецептуры усложняет проектирование нутриентного состава продуктов, поскольку жир выполняет не только важную роль в формировании эмульсии, но и влияет на физико-химические и органолептические их показатели [28, 29]. Задача производителей мороженого с низким содержанием жира - заменить жир ингредиентами, которые помогут заменить его свойства, в частности имитировать свойственные жиру вкусовые ощущения [30, 31].

Авторами статьи [32] отмечено, что в мороженом с низким содержанием жира добиться желаемой консистенции сложнее, поскольку количество агломерированного жира, образующегося при фризеровании, низкое.

Для компенсации отсутствия жира, получения маслянистой текстуры и высоких органолептических показателей в качестве имитаторов и заменителей

жира частично используются различные биополимеры. Эти вещества создают базовую структуру во многих традиционных твердых и полутвердых пищевых продуктах. Рассматривая роль биополимеров в конструировании основы продукта, необходимо сосредоточить внимание на возможности управления процессом создания структуры с особыми свойствами водной фазы, межфазных областей и общим поведением многофазных систем. К таким полимерам относятся различные виды целлюлозы и крахмалов, альгинаты, казеинаты, желатины и декстраны. Зачастую для обеспечения хорошего органолептического восприятия продукта требуется сочетание сразу нескольких биополимеров [33].

При производстве разновидностей мороженого с низкой массовой долей жира, с целью достижения сенсорного присутствия жира, актуально применение инулина [34]. С его помощью можно получать продукты с типичными для жиросодержащих продуктов свойствами. Это происходит благодаря гель-частицам, образуемым молекулами инулина при взаимодействии с водой, в связи с этим замещение жира инулином возможно только при его использовании во влагосодержащих системах, преимущественно в тех, где вода является непрерывной фазой. Гель-частицы характеризуются размером 1-3 мкм, что и глобулы жира после гомогенизации, поэтому при потреблении продуктов с инулином возникает ощущение присутствия жира. Для замещения жира в пищевых продуктах используют меньшие дозировки инулина, чем при формировании геля, так как это свойство определяется количеством частиц инулина в пищевом матриксе. Чем больше инулина, тем более выражено ощущение, так называемого сливочного вкуса. Чем больше частиц инулина, тем более выражен вкус продукта. Очень важно учитывать растворимость инулина. Полностью гидратированная молекула инулина не создает эффект присутствия в продукте частиц жира. Высокомолекулярный инулин менее растворим, чем обычный. Это значит, что в процессе гелеобразования может принять участие большее число молекул инулина и, следовательно, такой инулин будет более эффективным заменителем жира. Важным фактором для проявления указанных

свойств инулином является также механическое воздействие: гомогенизированный продукт будет характеризоваться наиболее выраженным сливочным вкусом, чем подвергнутый обработке миксером с высокой скоростью сдвига [35].

В зависимости от длины цепи (DP) фруктаны инулинового типа можно разделить на длинноцепочечный инулин (DP > 10) и короткоцепочечную олигофруктозу (DP < 10). Инулин, полученный из цикория, представляет собой белый порошок за счет длинноцепочечных и короткоцепочечных фракций. Наибольшее содержание инулина в корне цикория (15-20%) и клубнях топинамбура (14-20,5 %), в листьях одуванчика – 12-15%. Кроме того, следует отметить, что фруктаны инулинового типа «не гидролизуются ферментами верхних отделов пищеварительного тракта, поскольку они обладают способностью гидролизовать связи только в α-конфигурации, поэтому фруктаны инулинового типа достигают толстой кишки в неизменном виде», что позволяет относить их к категории пребиотиков [36].

Использование инулина в количестве более 5% увеличивает инструментальную и органолептически ощутимую твердость, кроме того, уменьшает количество образовавшегося плава [37].

Помимо инулина в маложирных продуктах можно использовать полидекстрозу. По своей природе полидекстроза – полисахарид. Молекула полидекстрозы образуется в результате конденсации глюкозы с очень высокой степенью разветвления, обусловленной наличием в молекуле всех видов гликозидных связей с преобладанием 1,6 - связей. Именно такое строение молекулы обуславливает многие уникальные свойства полидекстрозы, как технологического характера, так и физиологического. Полидекстроза уже длительное время используется за рубежом при производстве низкокалорийных продуктов питания. Она признана в 16 странах мира в качестве пребиотического вещества. Имея низкий гликемический индекс, полидекстроза входит в рацион питания людей, страдающих сахарным диабетом. По технологическим

характеристикам полидекстроза заметно не отличается от сахарозы и успешно заменяет ее в рецептурах. Второй особенностью полидекстрозы является ее способность создавать ощущение жирности продукта, что позволяет применять ее в низкожирных продуктах, получая при этом характерный для жиросодержащих продуктов вкус [38, 39].

В производстве мороженого с низким содержанием жира и с пониженным содержанием сухих веществ в качестве источников сухого вещества могут использоваться мальтодекстрины. Способность формировать полимерные сети позволяет мальтодекстринам выступать в роли заменителей жира, имитирующих ряд его свойств, а также придавать маложирному мороженому сливочный вкус [38].

Мальтодекстрины представляют собой продукты гидролиза крахмала с эквивалентом декстрозы (ДЭ) менее 20. Способность мальтодекстрина создавать повышенное ощущение жирности связывают с образованием им геля [40]. Мальтодекстрины с одинаковым ДЭ могут иметь различные свойства, в зависимости от источника крахмала (кукуруза, пшеница и др.). Мальтодекстрины с более низким ДЭ более склонны к образованию гелей за счет длинных олигосахаридных цепочек [41].

Помимо перечисленных компонентов в качестве заменителя жира в молочных продуктах, включая мороженое, широко используются сывороточные белки [42, 43, 44, 45]. Они могут имитировать жир при создании текстуры и вкуса мороженого. Данное свойство обусловлено их способностью взаимодействовать с водой, белками и ароматическими компонентами [43]. Сывороточные белки, благодаря их влагоудерживающим свойствам, могут предотвращать рост кристаллов льда в мороженом и тем самым улучшать текстуру [46]. Влагоудерживающая способность сухого сывороточного белка составляет от 70 до 147 г воды / 100 г порошка или от 33 до 180 г воды / 100 г белка [47].

Поэтому использование сывороточных белков в составе продукта, особенно в денатурированной форме снижает количество свободной для замораживания

воды, тем самым уменьшая объем кристаллов льда [48]. В денатурированном состоянии сывороточные белки взаимодействуют с другими белками и мицеллами казеина, которые формируют белковую сеть, благодаря этому увеличивается вязкость смеси для мороженого [49].

Авторами работы [50] в качестве замены жировой составляющей предложено использование модифицированного горохового крахмала. Дегустаторами оценивались выработанные образцы мороженого, в результате было определено, что данный компонент можно использовать с целью улучшения консистенции продукта.

1.2.2 Роль сахаров в мороженом и ингредиентов для замены сахарозы по сладости и сухому веществу

К сахарам, применяемым в пищевой промышленности или содержащимся в сырьевых компонентах изначально, относят моно- и дисахара: сахарозу, лактозу, мальтозу, глюкозу, фруктозу, галактозу. Самая главная роль сахаров при производстве продуктов питания – формирование сладкого вкуса, однако сахара вносят также свой вклад во вкусовые и текстурные профили, влияют на температуру замерзания. ВОЗ указывает, что доля добавленных в продукты сахаров в калорийности суточного рациона не должна составлять более 10% [51].

При производстве мороженого и замороженных десертов в качестве добавленных сахаров могут использоваться сахароза, фруктоза и глюкоза, непосредственно вносимые в продукт, или в виде содержащих фруктозу и глюкозу глюкозно – фруктозных сиропов, получаемых из кукурузы, пшеницы и сиропа топинамбура. Лактоза, входящая в состав молочных продуктов, фруктоза, присутствующая во фруктах и фруктовых соках, к добавленным сахарам не относятся [52].

Сахароза, как и ряд других сахаров, улучшает консистенцию и вкусовые качества мороженого, придает ему сладкий вкус и усиливает аромат

изготовляемых продуктов и вносимых в них пищевкусовых ингредиентов. Другие сахара также снижают точку замерзания смеси (криоскопическую температуру), значение которой учитывают при программировании параметров технологического процесса. Но все же самым распространённым подсластителем является сахароза. Как правило, эквивалент, соответствующий сладости продукта при массовой доле сахарозы 15%, считается оптимальным по сладости [53].

Сахара используются для контроля или предотвращения образования кристаллов льда в мороженом и замороженных десертах. Чем ниже точка замерзания, тем сложнее происходит формирования кристаллов льда во фризере. Точка замерзания связана с количеством молекул в растворителе (моляльной концентрацией) [54]. Чем больше присутствует растворенных молекул в растворителе, тем выше депрессия точки замерзания. Поэтому моносахариды являются более эффективными нутриентами, чем сахароза (дисахарид) для снижения точки замерзания. Тем не менее, любое изменение состава сахаров будет влиять на стабильность продукта при отеплении и замораживании-оттаивании [55].

На современном этапе основные тенденции развития пищевой промышленности во многих зарубежных странах – увеличение производства низкокалорийных пищевых продуктов для людей, страдающих такими заболеваниями как сахарный диабет, ожирение, связанное с нарушениями обмена веществ и др. С учётом этого со стороны производителей растёт спрос на сахарозаменители. Существует несколько способов классификации углеводов. С учетом химического состава их подразделяют на сахара, олигосахариды и полисахариды [56]. Классификация заменителей сахаров представлена на рисунке 1.1 [57].

Рисунок 1.1 - Классификация заменителей сахара

Казаковой Н.В. была разработана научно обоснованная технология мороженого пониженной калорийности [58]. В рамках работы были «установлены закономерности формирования физических показателей мороженого пониженной калорийности, а также разработаны рецептуры, позволяющие снизить калорийность мороженого на 30-80 % по сравнению с традиционным продуктом». В качестве компонентов для снижения калорийности использовались полидекстроза и инулин в сочетании с полиолами (сорбит, мальтит).

Все интенсивные подсластители рассматриваются как пищевые добавки, они имеют высокую подслащивающую способность по сравнению с сахарозой, используются в малых дозах. Чаще всего в пищевой промышленности используются ацесульфам К (Е 950), аспартам (Е 951), сукралоза (Е 955) [59, 60].

При замене сахарозы в мороженом на другие подсластители следует учитывать факторы, которые оказывают влияние на качество продукта: сладость, снижение температуры замерзания и влияние на общее содержание сухих веществ. Использование полиолов в составе продуктов ограничено их слабительным эффектом. Подсластители полиолы, такие как сорбит, ксилит и маннит (моносахариды) по сравнению с сахарозой понижают криоскопическую температуру более заметно, а влияние мальтита или лактита (дисахарида)

аналогично влиянию сахарозы. Для восполнения сладости используют высокоэффективные подсластители, но их добавление в продукт из-за незначительного количества не оказывает влияние на криоскопическую температуру и общее содержание сухих веществ в продукте. Общее содержание сухих веществ и показатель «вязкость» могут быть повышены путем добавления полидекстрозы, но при этом она не оказывает влияние на сладость продукта. Таким образом, необходимо тщательно подбирать альтернативные ингредиенты для замены сахарозы в мороженом, учитывая их совместное воздействие на показатели качества продукта [21].

Большинство полиолов имеют природное происхождение. Эритритол, сорбит, ксилит и маннит обнаружены в растениях. Также они встречаются в сливах, грушах и винограде, могут содержаться в некоторых овощах. Лактилол, изомальт – синтетические вещества, которые в природе не встречаются. Полиолы не участвуют в реакции Майяра, что затрудняет их применение в продуктах, где она необходима. Эритрит получают из крахмала с помощью биохимических процессов, это относительно новый полиол, коммерческое производство которого началось недавно. Помимо него из крахмала получают сорбит, мальтит и их сиропы, маннит. Ксилит получают путем гидролиза древесины, скорлупы миндаля, соломы, сахарного жмыха и других материалов, богатых ксиланом. Изомальт получают ферментным способом из свекольного или тростникового сахара. Лактилол получают путем гидрирования лактозы из сыворотки. Полиолы могут придавать охлаждающий эффект продуктам, помимо сладкого вкуса [61]. Мальтит по молекулярной массе, вязкости водных растворов не отличается от сахарозы, его сладость составляет 90 % от её сладости. Взрослые могут употреблять до 40 г мальтита в день, дети – не более 15 г [62]. Полиолы, как и фруктоза, проявляют метаболизм, который не зависит от инсулина [59].

В таблице 1.3 приведены сводные данные по свойствам полиолов по сравнению с сахарозой.

Таблица 1.3 - Свойства сахарозы и полиолов

Наименование вещества	Молекулярная масса, г/моль	Т пл, °С	Растворимость, г/100 г H_2O при 20 °С	Сладость	Источник
Эритритол	122	121,5	40	0,53-0,7	[59, 61]
Ксилит	152	92-96	63	0,87	
Сорбитол	182	101	75	0,5-0,6	
Маннитол	182	166-168	20	0,5	
Изомальт	344	145	24,5	0,45-0,6	
Лактилол	344	121-123	56	0,3-0,4	
Мальтитол	344	150	63	0,85-0,9	[59, 61, 62]
Сахароза	342	160-186	66,7	1,0	[61]

Существуют различные стратегии, которые применяются для снижения уровня сахара: частичная или полная замена сахарозы или просто уменьшение её количества. Замена сахарозы требует использования альтернативных подсластителей с учетом её сладости и сухого вещества. Заменители сухого вещества сахарозы являются источниками энергии, количество их при использовании зависит от рецептуры продукта и технологических аспектов производства, законодательных ограничений и предпочтений потребителей. Совместное использование альтернативных подсластителей и заменителей сухого вещества по-прежнему является одним из наиболее часто используемых подходов к снижению содержания сахара в пищевых продуктах [51].

В качестве полной или частичной замены сахарозы интерес представляет трегалоза, которая имеет практически одинаковую с ней молекулярную массу – 342,31 г/моль [63]. Впервые трегалоза была открыта Виггерсом в 1832 году при изучении растворов спорыньи ржи. [64]. Больше всего трегалоза была изучена на дрожжевых клетках, её содержание в них может достигать до 20% от их веса.

Трегалоза является одним из наиболее химически инертных и стабильных сахаров в природе [65].

Трегалоза (α-D-глюкопиранозил α-D-глюкопиранозид) – дисахарид, состоящий из двух молекул глюкозы, не расщепляется гликозидазой, представляет собой невосставливающийся димер глюкозы [65, 66]. Сахароза и трегалоза представляют собой молекулы дисахаридов с одинаковой химической формулой $C_{12}H_{22}O_{11}$, но при этом имеют разную геометрическую структуру (рисунок 1.2). Молекула сахарозы состоит из одного кольца глюкозы и одного кольца фруктозы, соединенных между собой одной гликозидной связью, а трегалоза состоит из двух гликозидно-связанных глюкозных колец. [67].

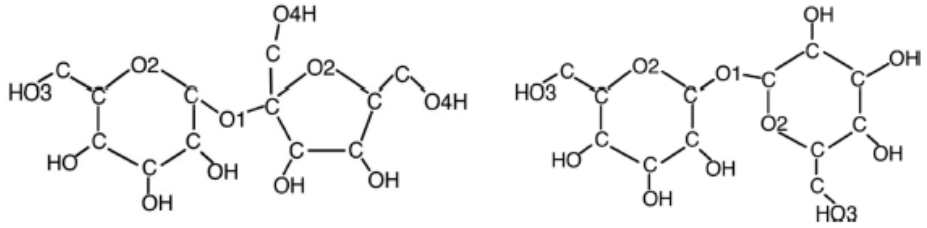


Рисунок 1.2 - Химическая структура сахарозы (слева) и трегалозы (справа)

Трегалоза может находиться в двух различных кристаллических состояниях, в одном из которых участвуют две молекулы воды на дисахаридную единицу (дигидрат трегалозы TRE-h). Кроме того, трегалоза может кристаллизоваться в безводной форме (TRE-b). Могут происходить переходы трегалозы из одной формы в другую [64]. Трегалоза обычно находится в дигидратной форме и характеризуется своей низкой гигроскопичностью. Устойчивость трегалозы к гидролизу можно объяснить низкой энергией её гликозидной связи (<1 ккал/моль), гликозидная связь сахарозы выше (27 ккал/моль). Ее растворы обладают высокой вязкостью по сравнению с сахарозой, в присутствии белков увеличивается. Трегалоза способствует увеличению стабильности белков. Отмечено взаимодействие трегалозы с линолевой кислотой. Стабилизация ненасыщенных жирных кислот с использованием трегалозы подавляет реакции окисления и образования свободных радикалов и альдегидов, образующих неприятные запахи [66, 68].

Трегалоза – нередуцирующий сахар, поэтому она не принимает участие в реакции Майяра [69].

Растворимость трегалозы ниже, чем сахарозы. 34 г трегалозы растворяются в 100 г воды при температуре 5 °C и 40,6 – 69 г в 100 г воды при температуре 20 °C [70, 71]. Трегалоза имеет более высокую температуру стеклования (Tg). Crowe отмечает, что «это необычно тем, что небольшое количество добавленной воды не снижает температуру стеклования, как у других сахаров. Вместо этого образуется дигидратная кристаллическая трегалоза, тем самым защищая оставшуюся стекловидную трегалозу от воздействия добавленной воды. Таким образом, при высокой влажности и температуре, трегалоза обладает особыми свойствами, которые могут объяснить стабильность и долговечность ангидробиотов, которые её содержат» [72].

Трегалозу изначально получали путем химического синтеза, микробной ферментацией, экстракцией из дрожжей, ферментативным превращением мальтозы, трансгенными технологиями. Все эти методы очень дорогостоящие и не давали возможности широкого применения трегалозы. Чуть позже лаборатория Хаясибара объявила о новом методе синтеза трегалозы, что в разы снизило её стоимость. Исходным материалом для синтеза стал крахмал, полученный из кукурузы и тапиоки, оба из которых имеют низкую стоимость. С помощью этого синтеза получают в среднем около 30 тыс. тонн трегалозы в год [66].

В Японии трегалоза употребляется в больших количествах и применяется в широком ассортименте продуктов. Её использование в пищевых целях началось в этой стране с 1995 года. Количество производимой трегалозы ежегодно увеличивается [73]. Трегалоза получила одобрение законодательных органов во многих странах, начиная с Великобритании, в качестве криопротектора для лиофилизированного пищевого продукта при концентрациях до 5% [74]. Затем в качестве пищевого ингредиента в 1998 году в Корее и Тайване без ограничения использования и в 2000 году она была признана безопасной (GRAS) US Food и FDA. В Европе этот продукт утвержден как пищевой ингредиент с 2001 года [66].

Трегалоза используется в трех отраслях промышленности: фармацевтической (биотехнология), пищевой и косметической [75].

Благодаря распространенности трегалозы у человека развились специфические кишечные ферменты для переваривания трегалозы аналогично другим дисахаридам. При приеме внутрь трегалоза ферментативно гидролизуется в тонком кишечнике с помощью специфической дисахаридазы (трегалазы) на две молекулы D-глюкозы, которые затем поглощаются и метаболизируются [66, 76]. Изучено, что потребление трегалозы в количестве 50 граммов в сутки безопасно для здоровья человека [77]. Применение трегалозы оказывает влияние на снижение уровня сахара в крови и более медленный рост по сравнению с глюкозой [78, 79, 80]. Эти наблюдения позволяют предположить, что трегалоза может быть использована в качестве заменителя сахара во многих сахаросодержащих продуктах, в том числе для диабетиков. Также она подходит для производства продуктов для спортсменов, благодаря способности поддержания сахара в крови на определенном уровне. Эти особенности и пониженная сладость по сравнению с сахарозой позволяют применять трегалозу в нутрицевтике для ряда пищевых продуктов [66].

Популярность трегалозы может быть обусловлена её меньшей сладостью по сравнению с сахарозой, но при этом вкус сладости более устойчив. При проведении группового исследования 85% испытуемых предпочли вкус трегалозы по сравнению со вкусом сахарозы, а также отметили, что сладость воспринимается отчётливее и быстрее проявляется [74].

Добавление трегалозы предотвращает ожоги при замораживании и улучшает качество замороженных продуктов, модифицируя образование кристаллов льда [81]. Замороженные креветки обрабатывают трегалозой для подавления роста кристаллов льда при колебаниях температуры [82]. Содержание трегалозы в сухих веществах может варьировать от 10 до 23% для грибов и от 7 до 11% для пекарских дрожжей [74].

В исследовании [83] оценивали кристаллы льда, растущие в растворах сахарозы и трегалозы. Авторами установлено, что трегалоза в 2 раза эффективнее сахарозы в подавлении роста кристаллов льда. Объяснением данного явления может быть то, что молекула трегалозы связывает больше молекул воды, чем молекула сахарозы.

В работе [84] исследовали возможность применения трегалозы в сравнении с сахарозой при производстве мороженого в качестве компонента, препятствующего рекристаллизации льда. В качестве опытных образцов было использовано мороженое с массовой долей жира 10 %. Содержание сахарозы и трегалозы менялось в зависимости от образцов от 0 до 15 %. Авторы данной работы обратили внимание на более высокую температуру стеклования в смесях мороженого с использованием трегалозы. Однако существенных различий в подавлении роста кристаллов льда в образцах с трегалозой авторами отмечено не было.

В качестве компонента для использования в производстве мороженого представляет интерес фруктоза. Фруктоза, как и сахароза, считается общепризнанной и безопасной (GRAS). Кодекс пищевых химикатов (FCC), Директива совета 2001/111/EEC, Европейская фармакопея (E.P.4.05), Фармакопея США (U.S.P.XXVI) определяют стандарты чистоты для кристаллической фруктозы. Только кристаллическая фруктоза обозначается термином «фруктоза». При растворении в воде образует «раствор фруктозы». Продукт содержит не менее 98 % по массе фруктозы, а содержание глюкозы не более 0,5 % по массе. Если содержание фруктозы не более 95% от общего количества сухих веществ, то этот продукт называется «фруктозный сироп». Фруктоза считается пищевым ингредиентом, а не добавкой. В некоторых странах фруктоза имеет статус заменителя сахара и разрешена для подслащивания продуктов для диабетиков. США являются основным поставщиком кристаллической фруктозы, на втором месте Япония и страны ЕС [85].

Фруктоза – моносахарид, содержащийся во многих фруктах и овощах. Это самый сладкий из сахаров, встречающихся в природе. Растворимость фруктозы 4 г на 1 г воды при температуре 25 °C, молекулярная масса составляет 180 г/моль [85]. Относительная сладость фруктозы в кристаллической форме составляет примерно 1,2–1,8, что означает, что в продуктах можно использовать фруктозу в меньшем количестве, чем сахарозу, чтобы получить эквивалентную сладость [86]. Сладость фруктозы воспринимается быстрее, но при этом сладкий вкус пропадает раньше, чем у сахарозы. Фруктоза усиливает аромат фруктовых ароматизаторов, в частности, цитрусовых [87], также восприятие сладости фруктозы усиливается при понижении температуры [85].

Кроме того, фруктоза может быть в жидкой форме в виде кукурузного сиропа (так называют в Америке глюкозно-фруктозный сироп из кукурузы) с высоким содержанием фруктозы. Кукурузный сироп с высоким содержанием фруктозы содержит примерно одинаковое соотношение фруктозы и глюкозы, сладость сиропа эквивалентна сладости сахарозы. Стоит отметить, что в сахарозе молекулы глюкозы и фруктозы связаны между собой гликозидной связью, а в высокофруктозном сиропе они представлены в виде свободных моносахаридов. Сироп более стабильный при использовании в среде с низким уровнем pH [55].

Сироп с высоким содержанием фруктозы получают путем гидролиза кукурузного крахмала с использованием ферментов α-амилазы и глюкоамилазы. Дальнейшее воздействие глюкозоизомеразой приводит к образованию смеси глюкозы и фруктозы. Полученный раствор содержит 42 % фруктозы, 50 % глюкозы и 8 % других сахаров. Путем концентрирования сиропа получают сироп с содержанием фруктозы 90 %. Глюкозный сироп с содержанием фруктозы 55 % получают смешиванием сиропов с концентрацией фруктозы 42 % и 90 % [88].

Снижение потребления сахара может сыграть значительную роль в снижении уровня ожирения населения планеты. Установлено, что продукты с высоким гликемическим индексом и богатые рафинированными углеводами отрицательно сказываются на здоровье [89]. При выборе сахаров и

подслащивающих веществ оценивают их влияние на здоровье человека, принимая во внимание аспекты:

- снижение риска кариеса,
- понижение энергетической ценности продукта;
- снижение гликемического индекса [69].

Гликемический индекс (ГИ) – это способность углеводов поднимать уровень сахара в крови (глюкозы) после их употребления. Продукты с низким ГИ медленно высвобождают глюкозу в кровь, производя небольшое повышение уровня инсулина.

Продукты с низким ГИ играют важную роль в питании людей с диабетом и при решении проблемы снижения веса, кроме того их употребляют с целью уменьшения рисков у больных сердечно-сосудистыми заболеваниями и гипертонией [90, 91]. В таблице 1.4 приведены данные о гликемическом индексе и калорийности углеводов, применяемых при производстве мороженого.

Таблица 1.4 - Основные свойства углеводов

Наименование	Гликемический индекс	Калорийность, ккал/г	Источник
Моно- и дисахариды			
Сахароза	68	4,0	[90]
Лактоза	46	4,0	90
Глюкоза	100	4,0	[69, 90]
Фруктоза	19±7	3,7	[90]
Трегалоза	72	3,62	[69]
Сахароспирты			
Эритритол	0	0,2	[90, 92]
Изомальт	17±15	2,0	[90]
Лактилол	2±2	2,0	
Маннитол	0	1,6	
Мальтитол	55±16	3,0	
Сорбитол	7±2	2,6	
Ксилит	7±1	2,4	
Неусваиваемые полисахариды			
Полидекстроза	6±2	1,0	[90]
Фруктоолигосахариды (инулин)	0	2,0	[90]

Окончание таблицы 1.4

Продукты переработки крахмала Мальтодекстрин	91	-	[69]

В работе [91] приведен пример расчета гликемического индекса продукта, состоящего из трех углеводов.

$$ГИ = ГИ_1 \times \omega_1 + ГИ_2 \times \omega_2 + ГИ_3 \times \omega_3 \qquad (1.1)$$

где $ГИ_1, ГИ_2$ и $ГИ_3$ – гликемический индекс для каждого углеводсодержащего продукта;

ω_1, ω_2 и ω_3 – доля каждого углевода в общей массе углеводов.

По полученным значениям гликемического индекса (по сравнению с глюкозой) продукты можно классифицировать следующим образом:

ГИ ≥ 70 – высокий;

ГИ = 56-69 – средний;

ГИ ≤ 55 – низкий [93].

Тенденции на рынке мороженого диктуют условия для перехода к производству низкокалорийного мороженого с низким содержанием жира. Pon совместно с соавторами изучали свойства мороженого, где в качестве замены сахарозы в количестве 14 % использовался экстракт стевии (порошок-ребаудиозид А (98 %), производство Малайзия) в количествах 0,5%, 1,0% и 1,5%. Содержание сухих веществ в опытных образцах составляло 20-22%, в контроле – 33%. Авторами исследования отмечено, что внесение стевии оказало положительное влияние на физические свойства мороженого: опытные образцы были более вязкими, они медленнее таяли, твердость в них увеличилась [94].

Ученые из Италии в своей работе [95] изучали, как трегалоза, мед и эритрит при замене сахарозы (на 50 и 100%) влияют на показатели качества мороженого. В качестве контрольного образца служило молочное мороженое с массовой долей жира 6% и содержанием сахарозы 20%. Авторами рекомендовано использовать трегалозу и эритритол в сочетании с другими подсластителями с целью

регулирования твердости мороженого и скорости плавления. Мед, по мнению авторов, оказывает незначительное влияние на вязкость смеси и время экструзии, но может использоваться для создания мороженого с низким гликемическим индексом.

1.2.3 Особенности кристаллообразования воды и рекристаллизации льда в мороженом с низким содержанием жира и сухих веществ

Размер ледяных кристаллов – важная характеристика структуры мороженого [96]. Крупные кристаллы льда размером более 50 мкм придают мороженому зернистость структуры, в то время как мелкие (размером от 10 до 20 мкм) создают кремообразную консистенцию [97].

Обычно для замораживания смеси для мороженого используют два типа фризеров: периодического и непрерывного действия, устройство которых аналогично. Однако, фризер периодического действия охлаждает определенное количество продукта, аэрирует его при атмосферном давлении. Охлаждение продолжается до тех пор, пока 30-35% воды не замерзнет. Во фризере непрерывного действия воздух врабатывается под давлением 3,5 – 5 атм., охлаждение продукта происходит до 35-55 % замороженной воды [98].

Механизм кристаллизации во фризере заключается в том, что на стенках фризера образуются кристаллы (из-за низкой температуры в этой зоне), которые срезаются со стенок цилиндра ножами мешалки и с ее помощью затем попадают в общую массу мороженого. В центре фризера часть кристаллов плавится, а другие кристаллы растут. На выходе из фризера мелкие кристаллы льда в форме диска распределены по всему объему продукта [97]. После выхода из фризера дальнейшая нуклеация не происходит. При хранении мороженого рост кристаллов происходит за счёт уже ранее сформировавшегося льда [98].

Температура замерзания смеси для мороженого зависит от наличия компонентов, влияющих на точку замерзания смеси: сахара, минеральные соли,

подсластители и другие низкомолекулярные нутриенты. 10 – 15% воды остаётся незамерзшей даже на стадии закаливания [98].

На размер и форму кристаллов льда в процессе производства мороженого могут влиять следующие параметры: скорость охлаждения, температура, давление. Процесс кристаллизации воды во фризере происходит в четыре этапа:

- переохлаждение – на данном этапе температура смеси опускается ниже точки замерзания;

- зародышеобразование – образование стабильных зародышей кристаллов льда, которые являются их первоначальными точками кристаллизации. Первичная нуклеация происходит в растворе, в котором еще нет образовавшихся кристаллов, если рост происходит в присутствии уже имеющихся кристаллов, то это уже вторичное зародышеобразование;

- стадия роста – движущей силой для данного процесса является переохлаждение [99];

- перекристаллизация - процесс изменения размера и формы кристаллов в процессе хранения [23].

Существует несколько механизмов рекристаллизации. Во время хранения мороженого незамёрзшая вода диффундирует из плазмы на поверхность кристаллов, вызывая перекристаллизацию. Скорость роста кристаллов зависит от вязкости незамерзшей фазы [98].

В работе [100] отмечено, что острые поверхности кристаллов льда менее устойчивы, чем округлые и сглаживаются с течением времени. Так называемое созревание Оствальда кристаллов происходит за счет температурного шока, в результате чего мелкие кристаллы расплавляются, расплавленная жидкость перемещается к существующим кристаллам, обеспечивая их рост после повторного замораживания [100]. Данный процесс называется также миграционной перекристаллизацией: рост крупных кристаллов льда происходит за счет мелких [101]. Второй механизм рекристаллизации – аккреация или коалесценция. Происходит слияние двух близкорасположенных кристаллов, сами

кристаллы при этом не подвижны. К третьему процессу перекристаллизации относится изменение поверхности (формы) кристаллов или изменение внутренней структуры отдельного кристалла [99].

Чтобы лучше понять роль кристаллов льда в микроструктуре продукта при получении высококачественных пищевых продуктов важно достоверно контролировать их дисперсность и ее динамику в процессе хранения. В работе [102] приведены сведения о существующих в настоящее время методах определения размеров и морфологии кристаллов льда. К ним относятся методы оптической и электронной микроскопии, дифференциальной сканирующей калориметрии (ДСК). Следует отметить, что ДСК является признанным методом измерения точки замерзания, то есть времени начала превращения воды в лед [103].

Д. Гофф отмечает, что мороженое с высоким содержанием водной фазы более подвержено росту кристаллов льда и их рекристаллизации [104].

Существуют природные криопротекторы, которые применяются при производстве замороженных пищевых продуктов с целью снижения размеров кристаллов льда. К традиционным криопротекторам относят сахара, полиолы, полисахариды и фосфаты, многие из них применяют при сублимационной сушке с целью сохранения белков [104, 106, 107].

В статье [63] приводится обзор о механизмах взаимодействия трегалозы с водой, как криопротектора, на основании исследований разных авторов. Несмотря на различные гипотезы, единого механизма не выявлено, что требует дальнейших изысканий в данной области.

1.2.4 Компоненты, влияющие на состояние структуры мороженого

В сохранении структуры мороженого важную роль играют стабилизаторы и эмульгаторы, вносимые в смесь в небольших количествах. Большая часть стабилизаторов - полисахариды, извлекаемые из растений и водорослей.

Некоторые из них используются в натуральном виде, другая часть модифицируется для усиления их технологических свойств [13]. Стабилизаторы имеют высокую молекулярную массу, активно взаимодействуют с водой, за счёт этого выполняют свою функциональную роль в продукте при использовании их в количествах менее 2% [108, 109].

В смесь для мороженого стабилизаторы-гидроколлоиды добавляют по ряду причин: для увеличения вязкости смеси, предотвращения отделения сыворотки при расплавлении, замедления роста кристаллов льда и лактозы при хранении, повышения устойчивости продукта к колебаниям температуры и предотвращения усадки мороженого при хранении [110].

Большинство используемых полисахаридов принадлежат к группе галактоманнов. Галактоманнаны – запасные углеводы растений, которые в большом количестве присутствуют в эндосперме семян многих бобовых: камедь рожкового дерева (Е 410), гуаровая камедь (Е 412) и камедь тары (Е 417). Камедь рожкового дерева (КРД) способна образовывать очень вязкие растворы при небольших концентрациях, на них практически не оказывают влияние pH, соли и температура. На растворимость КРД влияет соотношение в молекуле звеньев гидрофобных маннозы и гидрофильных галактозы. КРД проявляет синергизм с другими полисахаридами за счет многочисленных гидроксильных групп. Самый большой синергизм у КРД с ксантановой камедью и каррагинаном. При ее взаимодействии с гуаровой камедью увеличивается вязкость [111].

Полисахариды природного происхождения каррагинан, фурцеллан и агар содержатся в красных водорослях, произрастающих вокруг Филиппин, Индонезии и возле Дальнего Востока. Фурцеллан содержит 16-20% сульфатов, по структуре схож с каррагинаном, их классифицируют как одну и ту же пищевую добавку – Е 407. Агар имеет индекс Е 401. Каррагинан проявляет синергизм с молочными белками (образуются комплексы), в мороженом его можно использовать в количествах до 0,03 %. Каппа-каррагинан образует слабый гель в водной фазе и взаимодействует с аминокислотными радикалами белков на поверхности мицелл

каппа-казеина. Каппа-каррагинан проявляет синергетические свойства с камедью рожкового дерева, но не взаимодействует с крахмалом. Йота-каррагинан, напротив, хорошо взаимодействует с крахмалом, при этом в 4 раза увеличивается вязкость и улучшается консистенция. Любые комочки, образующиеся при неудовлетворительном диспергировании каррагинана в воде или молоке, значительно снижают скорость гидратации и могут ограничить достижение максимальной вязкости. Поэтому каррагинан до смешивания с жидкостью рекомендовано смешать с сахаром, мальтодекстрином или солью, чтобы лучше диспергировать его частицы [112].

Камеди гуаровая и рожкового дерева, а также карбоксиметилцеллюлоза добавляются в смесь в количествах от 0,15 до 0,25 %. Эти компоненты взаимодействуют с водной фазой и могут также взаимодействовать с белками в водной фазе [113]. Их использование позволяет получать продукты с более привлекательными для потребителя свойствами: увеличенным сроком годности продукта за счёт связывания воды и повышения стабильности системы в целом, улучшенной текстурой, мелкодисперсными и стабильными в процессе хранения кристаллами льда [35].

Камедь тары (КТ) получают путем измельчения дерева тары, произрастающего преимущественно в Перу и в некоторых провинциях Китая. По своим функциональным свойствам она аналогична камедям рожкового дерева и гуаровой. Отношение маннозы к галактозе в ее молекуле составляет 3:1, в то время как у гуаровой камеди оно 2:1, а у камеди рожкового дерева – 4:1. Камедь тары проявляет синергизм с агаром и ксантаном. Также она занимает промежуточное положение по растворимости в холодной воде по сравнению с другими камедями (КРД нерастворима в холодной воде, гуаровая камедь растворяется). Свойства камеди тары менее изучены, поскольку лишь недавно она стала доступна в промышленных масштабах [114, 115].

Микрокристаллическая целлюлоза (МКЦ) – это очищенная форма целлюлозы, которая является ключевым структурирующим агентом во всем

растительном материале. Это самый распространенный в природе полисахарид. Процесс очистки, используемый для производства МКЦ, превращает полимер в высокофункциональный ингредиент [116]. МКЦ синтезируют с помощью реактивной экструзии и ферментативным способом [117].

Коллоидная МКЦ была разработана для обеспечения специальных функциональных свойств: контроль кристаллов льда, модификация текстуры, стабилизация эмульсии. МКЦ уже много лет используется в производстве мороженого и замороженных десертов. Впервые она была использована в начале 1960-х годов при производстве обезжиренного мороженого с целью замещения утраченных свойств в результате удаления жира. Молочные белки и МКЦ взаимодействуют с образованием стабильных матриц, исключающих отделение сыворотки при таянии мороженого. МКЦ – единственная система стабилизации с нерастворимым гидроколлоидом, подавляющая рост кристаллов льда. МКЦ часто используют в рецептурах с низким содержанием жира, сухих веществ и сахара [116].

Помимо МКЦ также используют карбоксиметилцеллюлозу (КМЦ), широко применяемую при изготовлении мороженого, шербетов, льда и других замороженных десертов. Этот стабилизатор используют для предотвращения роста кристаллов льда, сохранения их размеров и достижения кремообразной консистенции [118].

Пищевые эмульгаторы – это поверхностно-активные вещества, в мороженом выполняют несколько функций: обеспечение стабильности на границе раздела двух фаз, снижение межфазного натяжения, сокращение времени взбивания, повышение устойчивости к таянию и усадки порции во время хранения [119].

Несмотря на то, что лецитины и моноглицериды встречаются «в природе», многие из них считаются синтетическими добавками. Эмульгаторы классифицируют по значению гидрофильно-липофильного баланса (ГЛБ). ГЛБ определяют на основании соотношений молекулярных масс гидрофильных и

липофильных групп [120]. По эмпирической шкале Гриффита эмульгаторы со значениями ГЛБ от 3 до 6 подходят для создания эмульсии «вода в масле», в диапазоне 10-18 – для приготовления эмульсий типа «масло в воде», а ГЛБ 7-9 не имеют предпочтений. Молекулы с ГЛБ на уровне ниже 3 – очень гидрофобные, а свыше 18 – слишком гидрофильные [120].

Моно- и диглицериды (Е 471) – эмульгаторы, чаще всего используемые в пищевой промышленности. Молекула диглицеридов имеет одну гидроксильную группу, а моноглицеридов – две, поэтому диглицериды более липофильны по сравнению с моноглицеридами и у них более низкое значение ГЛБ. Моноглицериды обладают большой поверхностной активностью, поэтому они более востребованы, но поскольку их очистка дорогостоящая, то они часто смешиваются с диглицеридами. К тому же смесь эмульгаторов с разным значением ГЛБ за счет синергизма более эффективна [122].

Диглицериды для коммерческого использования обычно создаются двумя путями: прямой реакцией этерификации между глицерином и жирными кислотами, либо путем проведения глицеролиза между глицерином и жиром или смесью жиров. Последний процесс более дорогостоящий. Количество глицерина в реакции будет определять соотношение моноглицеридов, диглицеридов и триглицеридов. Высокая концентрация глицерина приводит к увеличению концентрации моноглицеридов, низкая - увеличению содержания триглицеридов [122].

Chen отмечает, что «коагели, которые содержатся в моноглицеридах используются в качестве текстурирующих агентов в продуктах с низким содержанием жира из-за их способности связывать воду. Структура коагеля моноглицерида очень похожа на сеть кристаллов жира, образующихся в жирных продуктах» [120].

Эфиры полиглицерина (Е475) образуются в результате реакции жирных кислот с полимеризованным глицерином, в котором содержится от 2 до 10 молекул. Данный эмульгатор используется с целью эмульгирования,

стабилизации, загущения, влияния на кристаллообразование. Чаще всего он применяется в кондитерской отрасли, при изготовлении маргарина, при производстве глазури и начинок. При использовании его в производстве мороженого с заменителем молочного жира Е 475 «обеспечивает оптимальную сухость, гладкую текстуру продукта, а также высокую устойчивость пены, что необходимо для фасованного продукта» [123].

В производстве мороженого также могут использоваться полисорбаты, в частности, твин 80 (полисорбат 80, Е 433). Он способствует дестабилизации жировой фазы и частичному слипанию жировых шариков. Добавление его в мороженое на уровне 0,02 % и более оказывает влияние на устойчивость мороженого к таянию и сохранению формы [48]. Суточная норма потребления полисорбатов составляет 10 мг/кг веса [124].

1.3 Выводы по обзору научно-технической литературы

На основании анализа информации, полученной из законодательной и нормативно-технической документации и специализированной научно-технической литературы установлено, что в качестве основы для производства мороженого функциональной направленности целесообразно использовать мороженое с массовой долей жира не более 3%. Это позволит наносить на упаковку информацию об отличительном признаке такой продукции - «низкое содержание» жира.

Замена сахарозы другими разновидностями сахаров с более низким гликемическим индексом позволит употреблять продукт людям, которые придерживаются здорового образа жизни, а также имеющим такие заболевания, как диабет и ожирение.

Снижение массовой доли жира оказывает отрицательное влияние на состояние структуры мороженого и другие органолептические показатели такого продукта. Таким образом, при производстве мороженого с низкой массовой долей

жира рационально использовать ингредиенты для увеличения общего содержания сухих веществ и имитирующие присутствие более высокой массовой доли жира.

Основными компонентами для замены сахарозы в мороженом являются полиолы, пищевые волокна и интенсивные подсластители. Мороженое без сахарозы с использованием полиолов характеризуется излишне плотной консистенцией, органолептически ощутимыми кристаллами льда и нетрадиционным профилем сладости. Кроме того, использование полиолов в составе мороженого не позволяет относить такой продукт к категории «молочное мороженое» на основании требований ТР ТС 033/2013 об обязательном использовании не менее 14,5% сахаров. На основании этого определена перспектива использования фруктозы и трегалозы для замены сахарозы по сладости и сухому веществу.

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

2.1 Организация экспериментальных работ

Выполнение диссертационной работы проводилось на базе лаборатории технологии мороженого Всероссийского научно-исследовательского института холодильной промышленности – филиал ФГБНУ «ФНЦ пищевых систем им. В. М. Горбатова» РАН.

Организация проведения экспериментальных работ приведена на схеме (рисунок 2.1).

2.2 Объекты исследований

В соответствии с целями и задачами объектами исследования являлись:

- молочное мороженое с массовой долей сухих веществ не менее 29 %, 30,5 % и 32 %, в т.ч. жира, не более 3%;

- компоненты для восполнения сухих веществ в мороженом: инулин, полидекстроза, продукты переработки крахмала (мальтодекстрины с различным декстрозным эквивалентом и сухой глюкозный сироп);

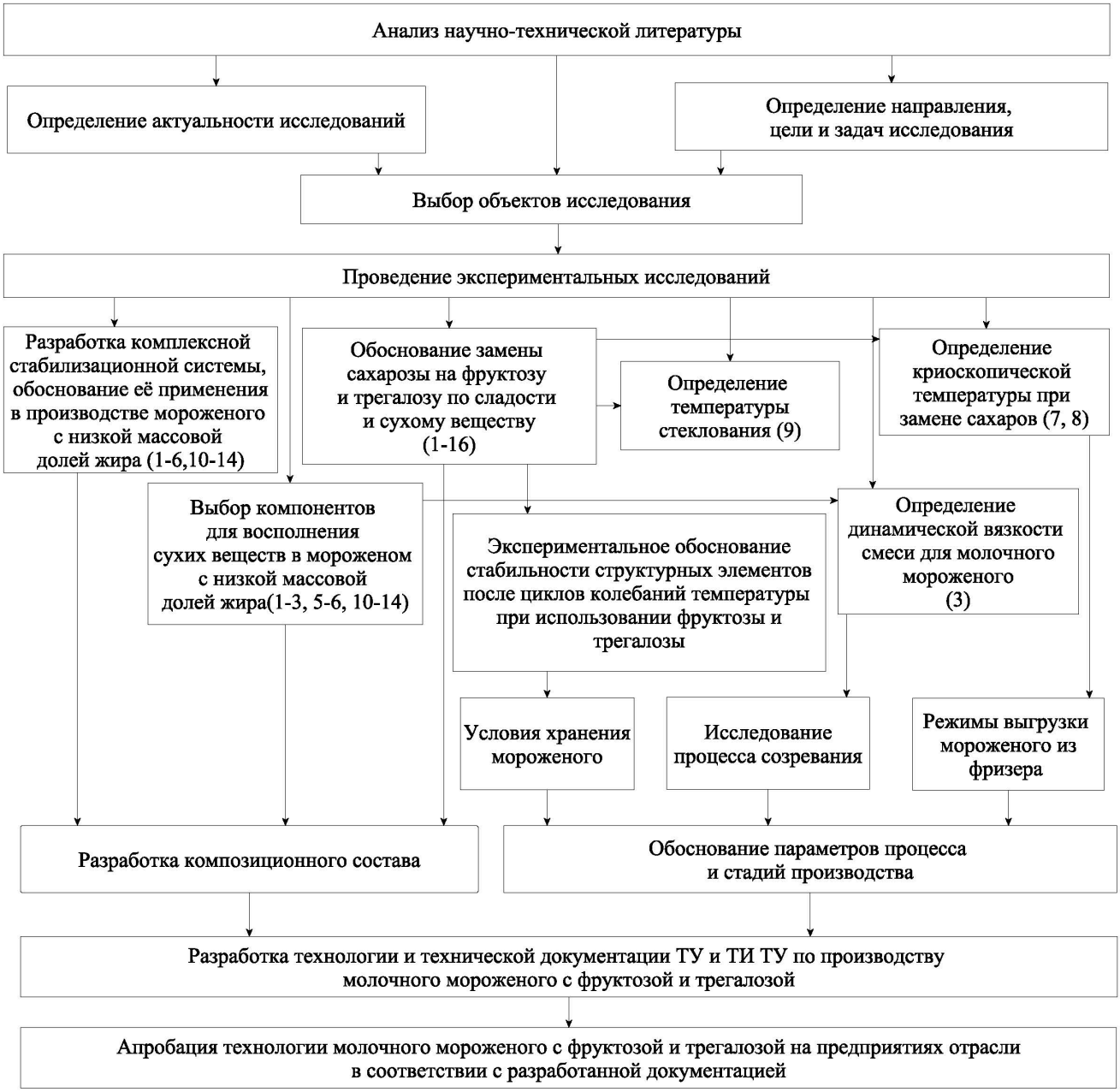
- фруктоза;

- трегалоза;

- концентрат сывороточных белков;

- гидроколлоиды: карбоксиметилцеллюлоза, камеди тары и рожкового дерева, каррагинан;

- эмульгаторы: моно- и диглицериды жирных кислот, дистиллированные моноглицериды и эфиры полиглицерина и жирных кислот.



Показатели:

1 – дисперсность кристаллов льда
2 – дисперсность воздушной фазы
3 – динамическая вязкость
4 – твердость мороженого
5 - термоустойчивость
6 - формоустойчивость
7, 8 – криоскопическая температура, соответственно экспериментальная и расчётная
9 – температура стеклования
10 – массовая доля жира
11 – массовая доля сухих веществ
12 - температура
13 – взбитость
14 - органолептические показатели
15 – гликемический индекс
16 – пищевая и энергетическая ценность

Рисунок 2.1 - Схема проведения экспериментальных исследований

2.3 Методы исследований

2.3.1 Микроскопические исследования

2.3.1.1 Определение состояния и дисперсности воздушной фазы

Метод основан на визуальной оценке микрофотографий, определении диаметров воздушных пузырьков, а также распределении их по размерам.

Исследования проводили с помощью светового микроскопа фирмы «Olympus CX 41» со встроенной фотокамерой, подключенной к ПК. Использовали 100-кратное увеличение. Подготовку образца для исследования проводили следующим образом: из порции мороженого с температурой минус 18 °С шпателем отбирали небольшую часть, помещали на предметное стекло, затем накрывали покровным стеклом и устанавливали на столике микроскопа. Образец исследовали в 3-х кратной повторности со съемкой не менее 5 кадров. Полученные микрофотографии обрабатывали с помощью программы «ImageScope», определяли диаметр воздушных пузырьков минимум на трех фотографиях. Средний диаметр определяли математическим методом.

2.3.1.2 Определение состояния и дисперсности кристаллов льда

Метод изложен в Методике определения кристаллов льда в мороженом и замороженных взбитых продуктах, усовершенствованной и утвержденной во ВНИХИ. В основу метода положен подход канадских учёных. Метод доработан применительно к условиям исследований в части подготовки проб к исследованию.

Метод включает микрофотографирование объектов исследования встроенной фотокамерой светового микроскопа при температуре не выше минус

18 ºС, с последующим определением размеров кристаллов льда и математическим расчётом распределения кристаллов льда по размерам.

Исследования проводили с помощью светового микроскопа фирмы «Olympus CX 41» со встроенной фотокамерой, подключенной к ПК. Использовали 100-кратное увеличение.

Образец исследовался в 3-х кратной повторности со съемкой не менее 5 кадров. Полученные микрофотографии обрабатывали с помощью программы «ImageScope» путём определения среднего размера кристаллов (по большему расстоянию между двумя вершинами) минимум на трех фотографиях. Средний размер определяли математическим методом.

2.3.2 Структурно-механические исследования

2.3.2.1 Определение динамической вязкости смесей для мороженого

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

Исследования проводили на вискозиметре марки "Brookfield DV-II+Pro" с программным обеспечением Rheocalc V3.1-1, с использованием шпинделя SC4-31 и кюветы объёмом 10 см³ при постоянной температуре (4±1) °С.

Определение осуществляли следующим образом: в кювету помещали предварительно подготовленный образец смеси объёмом 10 см³, проводили измерение эффективной вязкости в диапазоне скоростей от 0 $с^{-1}$ до 1 $с^{-1}$, с продолжительностью при каждой скорости 10 с. Каждое измерение выполняли не менее чем в двукратной повторности.

2.3.2.2 Определение твердости мороженого

Твердость мороженого определяли на приборе Brookfield LFRA TEXTURE ANALYZER.

Перед анализом образцы хранили при температуре минус (20 ± 2) °С в течение 7 дней. Температура образца при измерении составляла минус 18 °С. Для измерения был выбран зонд ТА – 28 диаметром 2 мм. Скорость проникновения была установлена на уровне 0,5 мм/с, глубина погружения зонда в мороженое составляла 5 мм, количество погружений - 10 раз.

2.3.3 Исследования устойчивости мороженого к воздействиям температуры

2.3.3.1 Определение устойчивости к таянию

Метод основан на определении массовой доли плава мороженого, образующегося за определенный промежуток времени под воздействием температуры (20±1,5) °С. Определение проводили с использованием термостата и электронных весов с точностью взвешивания ±1 г.

Исследованию подвергали порции мороженого с температурой минус (18±1) °С и массой брутто от 150 г до 200 г. Каждую конкретную порцию взвешивали и, освободив от упаковки, располагали на сите, которое сразу же помещали в термостат. Непосредственно под ситом устанавливали емкость для сбора плава, предварительно определив ее массу. Снятую упаковку взвешивали и расчетным путем определяли первоначальную массу нетто изучаемого образца мороженого (2.1).

$$M_{м.} = M_{б.} – M_{у.} \quad (2.1)$$

где $M_{м.}$ – масса мороженого без упаковки, г;

$M_{б.}$ – масса мороженого в упаковке, г;

$M_{у.}$ – масса упаковки, г.

По истечении 60 мин. пребывания образца в термостате определяли и фиксировали вес ёмкости с плавом. Далее аналогичные действия предпринимали через каждые 10 мин. в течение 60 мин.

Полученные данные обрабатывали и рассчитывали массу плава по формуле (2.2) и массовую долю плава по формуле (2.3) в каждый фиксируемый момент времени.

$$М_{п.} = М_{ё.\,с.\,п.} – М_{ё.} \quad (2.2)$$

где $М_{п.}$ – масса плава, г;

$М_{ё.\,с.\,п.}$ – масса емкости с плавом, г;

$М_{ё.}$ – масса емкости без плава, г.

$$ω_{п.} = М_{п.} : М_{м.} \times 100 \quad (2.3)$$

где $ω_{п.}$ – массовая доля плава, %;

$М_{п.}$ – масса плава, г;

$М_{м.}$ – масса мороженого, г.

Эксперименты проводили не менее чем в 2-х повторностях.

2.3.3.2 Определение формоустойчивости

Метод основан на оценке способности взбитых замороженных десертов сохранять форму порции под воздействием положительных температур, и изложен в Методике определения формоустойчивости мороженого и взбитых замороженных десертов по площади растекания плава, утвержденной во ВНИХИ.

Исследования проводили с использованием термостата и цифрового фотоаппарата. В термостате поддерживали температуру (20 ± 1,5) °С.

Подготовку проб мороженого проводили следующим образом: из исследуемых образцов с температурой минус (18 ± 1) °С металлическим пробником, предварительно выдержанным не менее 4 ч при той же температуре, отбирали пробы, которые затем помещали в чашки Петри. Чашки Петри предварительно охлаждали до температуры минус (18 ± 1) °С.

Подготовленные пробы ставили в термостат.

Пробы образцов фотографировали сверху под углом 45° сразу после установки в термостат и в последующем через каждые 10 мин. до полной потери ими формы.

По фотографиям визуально оценивали формоустойчивость порций.

2.3.4 Определение теплофизических характеристик (ТФХ) мороженого

2.3.4.1 Определение криоскопической температуры на осмометре-криоскопе

Для измерения криоскопической температуры был использован осмометр-криоскоп ОСКР-1, внесенный в Госреестр средств измерения РФ под 42519-09, технические характеристики которого приведены в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Основные технические характеристики ОСКР-1

Величина	Погрешность
Диапазон измерения температуры замерзания:	0 ...-3,720 °С
Пределы допускаемой основной абсолютной погрешности при измерении температуры	
- в диапазоне 0...-0,930 °С:	±0,002 °С
- в диапазоне -0,930...-3,720 °С:	±0,010 °С
Рабочий объем пробы, не менее:	0,3 мл

Характерный график измерения температуры при исследовании представлен на рисунке 2.2. При этом наблюдается охлаждение и переохлаждение образца AS, криоскопическая температура B, вымерзание основной влаги в исследуемом образце BC.

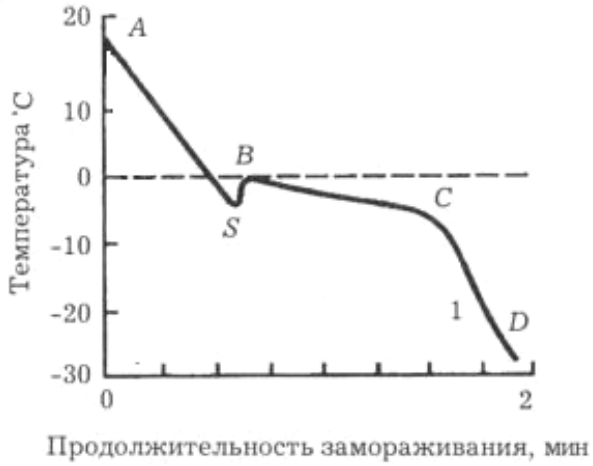


Рисунок 2.2 – Характерное изменение температуры образца при измерении криоскопической температуры

2.3.4.2 Определение криоскопической температуры и доли вымороженной влаги расчётным способом

Криоскопическую температуру определяли расчётным путем [125], учитывая молярные концентрации низкомолекулярных веществ (моно- и дисахаридов, полиолов, минеральных солей в составе СОМО) по формуле:

$$t_{\text{кр}} = E_g \cdot n, \qquad (2.4)$$

где E_g – коэффициент пропорциональности, для воды составляет 1,86;

n – общая молярность растворённых веществ, зависящая от их молекулярной массы и концентрации.

Долю вымороженной влаги определяли по формуле Д. Рютова [126]:

$$\omega = \left[1 - b \cdot \frac{1-w}{w}\right] \cdot \left(1 - \frac{t_{\text{кр}}}{t}\right), \qquad (2.5)$$

где ω – доля вымороженной воды в продукте;

b – содержание связанной воды в продукте (г на 1 г сухих веществ);

w – общее содержание воды в продукте (г на 1 г продукта);

$t_{\text{кр}}$ – криоскопическая температура смеси мороженого, °С;

t – температура выгрузки мороженого из фризера, °С.

2.3.4.3 Определение температуры стеклования методом дифференциально-сканирующей калориметрии

Исследования проводили на сканирующем калориметре марки NETZSCH DSC 204 F1 (NETZSCH-Geratebau GmbH, Германия, номер в Госреестре сведений об утвержденных типах средств измерений – 54912-13). Согласно его паспортным характеристикам, относительная погрешность при определении удельной изобарной теплоемкости и энтальпии фазовых переходов составляет не более ±2,5 % и ±3 % соответственно.

Калибровка калориметра по температуре и чувствительности выполнена на основе набора эталонных веществ «от –64,5 до +476°C» (по указаниям производителя). Набор включает C10H16 (–64,5°C), In (156,6°C), Sn (231,9°C), Bi (271,4°C), Zn (419,5°C), CsCl (476,0°C). Также использована дополнительная температурная точка дистиллированной воды (0°C). Калибровочные точки воспроизводились с точностью ±0,1°C.

Для определения температуры стеклования образцов, была разработана температурная программа (рисунок 2.3).

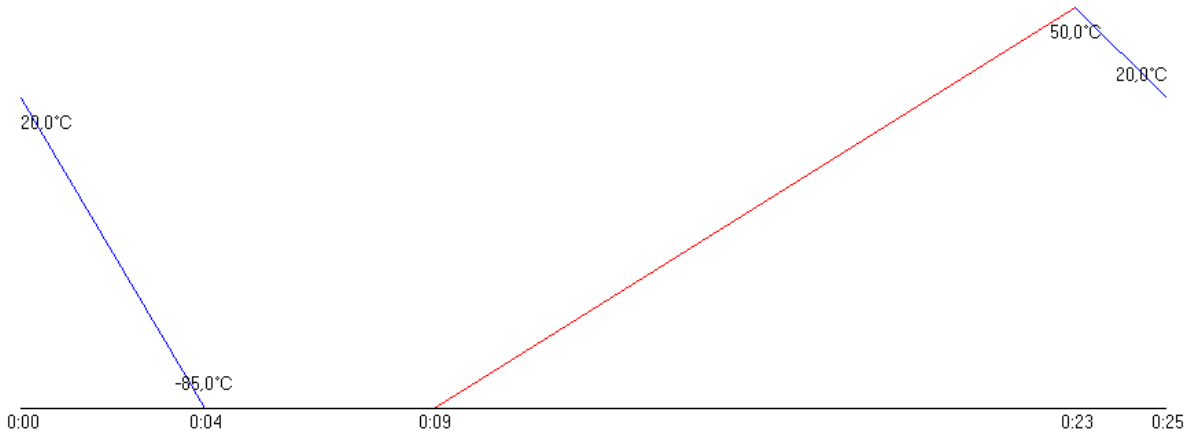


Рисунок 2.3 - Температурная программа ДСК для определения теплофизических показателей образцов мороженого

При проведении исследований на первой их стадии проводили охлаждение смеси с целью достижения эффекта стеклования с шагом 25 К/мин до –85°C с выдержкой 5 мин. Далее при плавном равномерном нагревании при 10 К/мин

идентифицировали температуру стеклования и долю вымороженной влаги. Для измерения образцы мороженого, во избежание отделения фракций, помещали в алюминиевые тигли в замороженном состоянии. Масса образца в тигле для измерения составляла ~10–20 мг.

2.3.5 Математическая обработка данных

Исследования проводили в 3 – 5 кратной повторности. Результаты математической обработки выполнены с доверительной вероятностью p=0,95. Статистическая обработка полученных данных и построение графиков проводили с использованием компьютерных программ: «Microsoft Excel 2019», «Mathcad 15».

На основании полученного массива данных по диаметрам воздушных пузырьков и размерам кристаллов получали графическую и математическую зависимости распределения микроструктурных элементов по размерам. Для выравнивания кривых распределения использовали эмпирическую формулу Розина-Раммлера (2.6).

$$F(x) = 100 \cdot a \cdot b \cdot x^{a-1} \cdot e^{-b \cdot x^{a}}, \qquad (2.6)$$

где x – диаметр (D) воздушных пузырьков или линейный размер кристаллов льда, мкм;

a, b – коэффициенты.

Коэффициенты a, b определяли с помощью программы Mathcad 15.

ГЛАВА 3. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

3.1 Разработка композиционного состава стабилизационной системы для мороженого с низким содержанием жира

3.1.1 Экспериментальное обоснование состава гидроколлоидов и эмульгаторов комплексной стабилизационной системы

Как это было установлено в ходе обзора специализированной литературы, основным пороком в процессе хранения мороженого с низкой массовой долей жира является появление органолептически ощутимых кристаллов льда вследствие снижения их дисперсности. В связи с этим существует необходимость создания композиции гидроколлоидов в составе стабилизационной системы, способствующей сохранению дисперсности кристаллов льда в такой разновидности мороженого. Учитывая, что основная роль стабилизаторов в технологии мороженого заключается в способности влиять на вязкость смеси, для создания комплексной стабилизационной системы на первой стадии исследования изучали показатели динамической вязкости модельных растворов каждого из стабилизаторов. Исследовали 4 их разновидности: камеди рожкового дерева и тары, каррагинан и карбоксиметилцеллюлоза. По данным литературного обзора известно, что указанные камеди способствуют формированию мелких кристаллов льда, каррагинан образует комплексы с молочным белком, обеспечивая его стабильность, карбоксиметиллцеллюлоза образует вязкие растворы уже на стадии приготовления смеси.

Количество гидроколлоида, вносимого в молочный раствор, определяли исходя из их количества в мороженом с массовой долей сухих веществ не менее 32 %, приходящегося на водную фазу. После смешивания всех компонентов (вода, сухое обезжиренное молоко и гидроколлоид) полученный раствор нагревали до температуры пастеризации смеси для мороженого (85±2) °С. Далее

раствор охлаждали до температуры (4±0,5) °С и определяли динамическую вязкость при градиенте сдвига на срез 0,83 $с^{-1}$. Растворы также замораживали и размораживали, а затем определяли динамическую вязкость (таблица 3.1).

Таблица 3.1 - Показатели динамической вязкости в модельных растворах

Разновидность стабилизатора в растворе	Массовая доля, %	Динамическая вязкость после приготовления раствора, мПа·с	Динамическая после размораживания раствора, мПа·с
Карбоксиметилцеллюлоза (КМЦ)	0,3	234	264
Каррагинан (КРГ)	0,046	69	37
Камедь тары (КТ)	0,3	166	230
Камедь рожкового дерева (КРД)	0,3	95	228

Снижение количества каррагинана по сравнению с другими гидроколлоидами обусловлено тем, что при его использовании в количестве более 0,05 % в присутствии белков молока происходит расслоение системы [23].

На основании значений динамической вязкости каждого гидроколлоида в отдельности, допускали возможность их совместного использования. Показатели расчетной вязкости определяли по закону аддитивности. Данные для расчета использовали на основании таблицы 3.1.

На рисунке 3.1 представлены данные динамической вязкости растворов с экономически обусловленной композицией стабилизаторов КМЦ и КРГ в различных соотношениях. Кроме того, следует отметить, что в растворах КМЦ увеличивается вязкость после замораживания, что говорит о её способности удерживать воду.

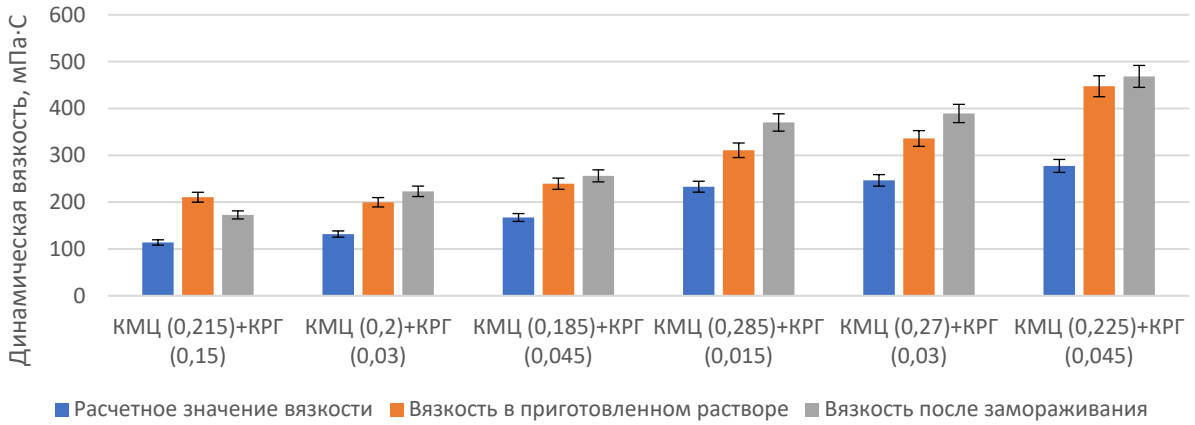


Рисунок 3.1 - Показатели динамической вязкости в растворах КМЦ и КРГ

Уровень технологически необходимой вязкости определяли из ее значения в смесях для сливочного мороженого при использовании эффективных стабилизационных систем (250-350 мПа·с). Как следует из данных, приведенных на рисунке 3.1, реально достигаемое значение вязкости было больше расчетного, что свидетельствует о синергетическом взаимодействии между компонентами. Вязкость растворов после замораживания возрастает, что указывает на способность композиции удерживать воду.

На рисунке 3.2 представлены значения динамической вязкости композиций с различными гидроколлоидами.

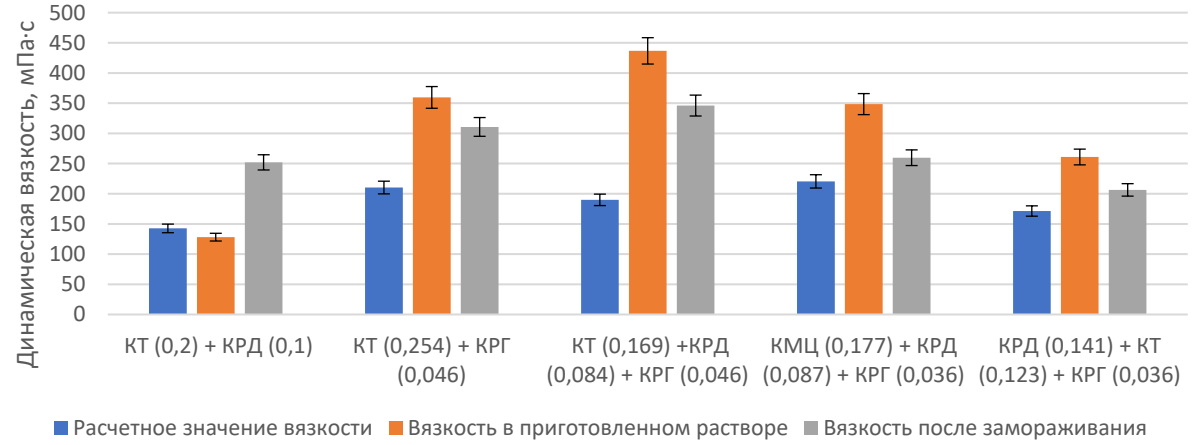


Рисунок 3.2 - Показатели динамической вязкости в растворах гидроколлоидов

Из данных рисунка 3.2 следует, что необходимый уровень динамической вязкости достигается во всех растворах, кроме 1. Учитывая высокую вязкость растворов (свыше 300 мПа•с) композиций гидроколлоидов с преобладанием КТ и

КМЦ, для дальнейшего исследования была отобрана композиция гидроколлоидов КРД + КТ + КРГ. Преимущественное использование КРД в этих композициях важно с учетом влияния этого гидроколлоида на способность к образованию мелких кристаллов льда, что особенно важно для мороженого с низким содержанием жира. Камедь тары является эффективным загустителем, а каррагинан поддерживает стабильность белковой фазы при наличии полисахаридов (стабилизаторов).

Благодаря эмульгатору в мороженом с низким содержанием жира происходит стабилизация воздушной фазы, что положительно влияет на структуру в целом.

Подбор соотношения эмульгаторов проводили с использованием сливочного мороженом с массовой долей жира 10% традиционного состава в соответствии с ГОСТ 31457. Более высокая массовая доля жира позволяет определить влияние эмульгаторов на процесс деэмульгирования и агломерирования жира, участвующего в формировании структуры мороженого. Образцы отличались между собой составом эмульгаторов, общее их содержание во всех образцах было 0,228 %. Состав эмульгаторов в образцах представлен в таблице 3.2.

Таблица 3.2 Состав эмульгаторов в образцах

Образец Э1	Образец Э2	Образец Э3	Образец Э4		Образец Э5	
Эфиры полиглицерина и жирных кислот (Е475)	Моно- и диглицериды жирных кислот (Е471)	Моноглицериды дистиллированные МГД (Е471)	Е475	Е471	Е 475	МГД (Е471)
100%	100%	100%	50%	50%	50%	50%

Эффективность эмульгаторов оценивали по показателю «термоустойчивость» (рисунок 3.3, таблица 3.3).

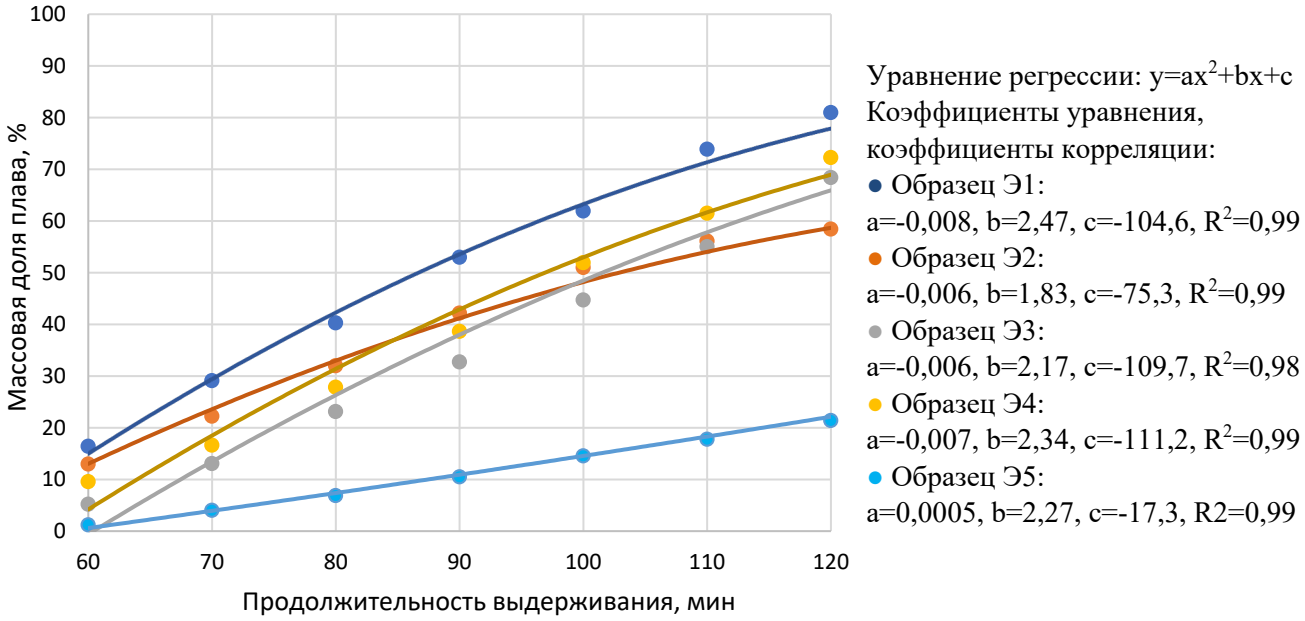


Рисунок 3.3 – Зависимость массовой доли плава от продолжительности выдерживания образцов с различным составом эмульгаторов

Таблица 3.3 – Значения массовой доли плава через 60, 90 и 120 минут

	60	90	120
Образец Э1	16,4	53,0	81,0
Образец Э2	13,0	42,2	58,4
Образец Э3	5,2	32,7	68,4
Образец Э4	9,6	38,6	77,3
Образец Э5	1,2	10,5	21,4

Таким образом, самым оптимальным соотношением эмульгаторов по показателю «термоустойчивость» является композиция в образце мороженого Э5.

При обосновании состава стабилизационной системы исходили из того, что в мороженом с низким содержанием жира необходимо высокое содержание эмульгатора (не менее 70 %), а остальные 30% в системе должны составлять стабилизаторы. В качестве эмульгаторов применяли дистиллированные моноглицериды (Е471) и эфиры полиглицерина и жирных кислот (Е475) в соотношении 1:1. Каждый из эмульгаторов в данной композиции характеризуется высоким деэмульгирующим эффектом, поэтому может обеспечить высокую

термо- и формоустойчивость мороженого. Кроме того, эфиры полиглицерина и жирных кислот (Е475) также обладают свойствами стабилизаторов, что возможно создаст дополнительный стабилизирующий эффект в молочном мороженом с низким содержанием жира.

3.1.2 Экспериментальное обоснование использования разработанной комплексной стабилизационной системы

Для апробации стабилизационной системы было выработано мороженое без сахарозы с содержанием сухих веществ 30,5 % (обр. №1) и 29,0 % (обр. №2). Для замены сахарозы использовали фруктозу (8 %) и полидекстрозу (4,8 %). Образцы №1 и №2 отличались между собой за счет входящего в состав образца №1 мальтодекстрина в количестве 1,9 %. В качестве контрольного образца использовали молочное мороженое с эффективным стабилизатором-эмульгатором «Люксайс 3670» с сахарозой (обр. №3К).

Показатели динамической вязкости и взбитости молочного мороженого без сахарозы представлены в таблице 3.4.

Таблица 3.4 - Динамическая вязкость смеси и взбитость молочного мороженого без сахарозы

Образцы	Динамическая вязкость, мПа·с	Взбитость, %
1	507 ± 9,2	81
2	538 ± 32,9	89
3К	255 ± 11,5	113

Как следует из данных, приведенных в таблице 3.4, использование синергетической композиции эмульгаторов и стабилизаторов в мороженом без сахарозы (образцы №1 и №2), положительно сказалось на эффективной вязкости смеси, что позволило достичь высокой способности смесей к насыщению воздухом. Некоторое различие во взбитости контрольного образца и с

композицией можно объяснить незначительным понижением способности к насыщению воздухом смеси для молочного мороженого при высокой вязкости.

Мороженое без сахарозы значительно превосходило молочное мороженое (3К) по устойчивости к таянию (рисунки 3.4 и 3.5). Массовая доля плава в образцах №1 и №2 через 60 мин. термостатирования была меньше, чем в контрольном образце соответственно в 4,1 и 2,9 раза.

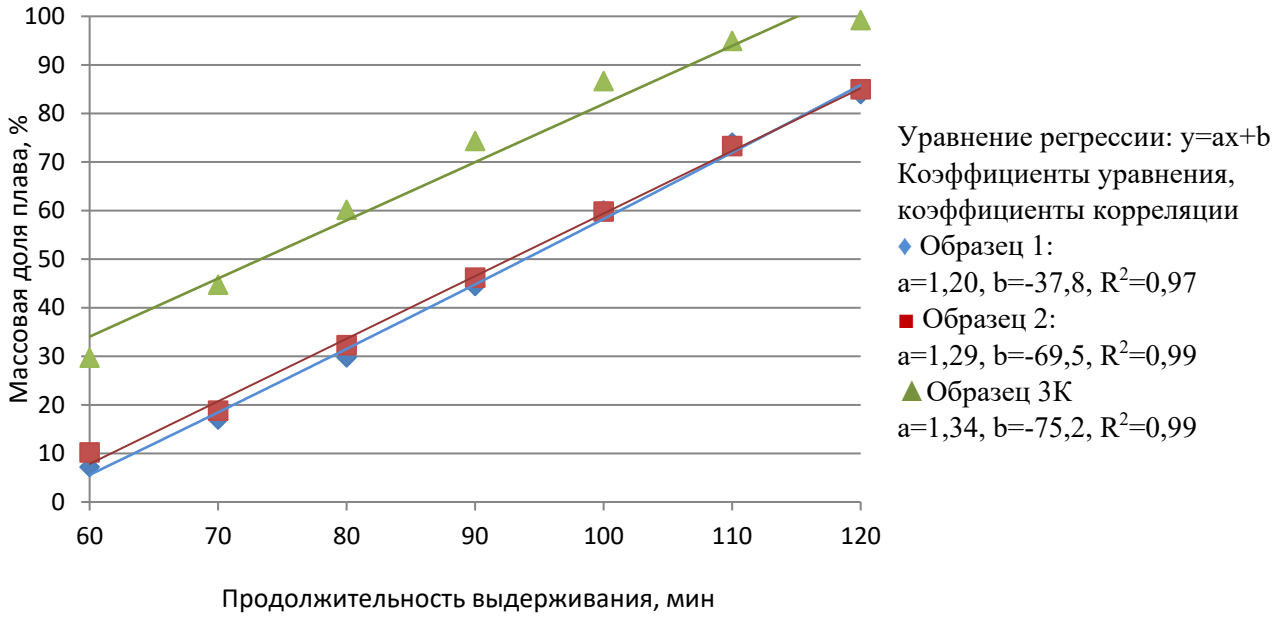
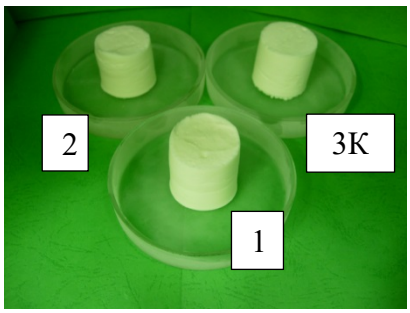
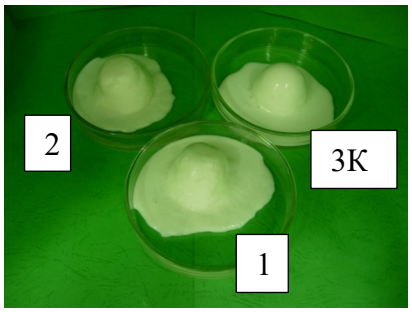


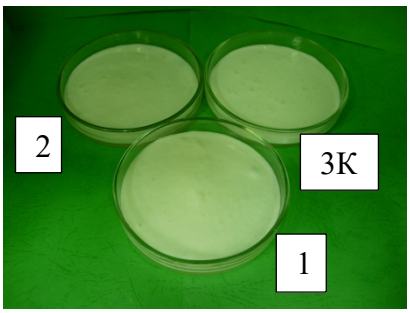
Рисунок 3.4 – Зависимость массовой доли плава от продолжительности выдерживания молочного мороженого без сахарозы и контрольного образца



Образцы на начальном этапе определения формоустойчивости



Образцы через 30 минут определения формоустойчивости



Образцы через 60 мин определения формоустойчивости

Рисунок 3.5 - Состояние порций образцов мороженого при термостатировании

Выводы по разделу 3.1:

Разработан композиционный состав стабилизационной системы на основе композиции эмульгаторов (дистиллированные моноглицериды и эфиры полиглицерина и жирных кислот) и композиции стабилизаторов с доминированием камеди рожкового дерева. Эффективность и конкурентоспособность стабилизационной системы подтверждена достигаемым уровнем динамической вязкости, способностью смеси к насыщению воздухом, высокой термо – и формоустойчивостью мороженого.

3.2 Обоснование композиционного состава молочного мороженого без сахарозы

3.2.1 Исследование композиционного состава мороженого промышленного производства

На рынке России, в частности, в Москве, мороженое без сахарозы представлено в ограниченном количестве (рисунок 3.6).

Рисунок 3.6 - Образцы промышленного мороженого и замороженных десертов без сахарозы и с низким содержанием жира

Мороженое и замороженные десерты выпускаются малыми производственными компаниями: ТМ «О12» по заказу ООО «Молоко Фудс», ТМ «Айс Кро» компании ООО «Иль мио мороженко», для торговой сети «Ozon Express» компанией ООО «Айскейк-эко». Мороженое под ТМ «Коровка из Кореновки» выпускается крупным предприятием ООО «Фабрика настоящего мороженого» (г. Кореновск), однако, массовая доля жира в нём 15%. Краткая характеристика этикетки представлена в таблице 3.5.

Таблица 3.5 - Сводные данные о составе и пищевой ценности промышленных образцов мороженого и замороженных десертов

№ обр.	Наименование	Состав	Содержание в 100 г продукта			Энергетическая ценность, ккал/кДж
			Белки, г	Жиры, г	Углеводы, г	
П1	Мороженое ванильное «0% сахара» в вафельном стаканчике	сливки, молоко концентрированное обезжиренное, инулин, подсластитель (эритрит, стевиолгликозид), натуральный ароматизатор, вафельный стаканчик, комплексная пищевая добавка (эмульгаторы: моно- и диглицериды жирных кислот, стабилизаторы: камедь рожкового дерева, гуаровая камедь, каррагинан), ароматизатор ванилин.	4,0	15,0	20,0	234/980
П2	Мороженое молочное белковое ТМ «О12» со вкусом и ароматом манго и маракуйи	Концентрат молочных белков, концентрат сывороточных белков, сливки, фруктоза, подсластитель – ксилит, вкусоароматическая основа «Манго-маракуйя». Эмульгаторы – моно- и диглицериды жирных кислот, стабилизаторы – камедь рожкового дерева, гуаровая камедь, каррагинан	15,0	2,5	5,3	104/438
П3	Десерт замороженный сорбет «Черная смородина» без сахара с L-карнитином	Черная смородина, вода питьевая, подсластитель – эритрит, инулин (клетчатка), крахмал тапиоковый, подсластитель – экстракт стевии, L - карнитин	0,0	0,0	7,7	31/131
П4	Мороженое ванильное без сахара ТМ «Айс Кро»	Молоко нормализованное, сливки, инулин, подсластитель – эритрит, молочный белок сывороточный, крахмалы (из тапиоки и риса), подсластитель – стевия, ваниль	4,8	7,3	8,8	120,1/501,3
П5	Десерт взбитый замороженный фруктовый сорбет «Манго-маракуйя»	Вода, пюре из манго замороженное, пюре маракуйи замороженное, подсластитель – мальтит, инулин, желирующий агент – желатин, стабилизаторы: камедь рожкового дерева, гуаровая камедь	1,2	0,2	33,9	142,2/604,1
П6	Мороженое с протеином «Ванильное» без сахара ТМ «Айс Кро»	Изолят сывороточного белка, молоко обезжиренное, инулин, подсластитель – эритрит, сливки, крахмал тапиоковый, подсластитель – экстракт стевии, ванилин	15,0	2,0	3,9	93,6/395,3

Как видно из данных таблицы 3.5, во всех образцах мороженого и замороженных десертах в качестве заменителей сахарозы преобладают полиолы (эритрит, ксилит, мальтит) и интенсивные подсластители. Использование полиолов влечет за производителями обязанность выносить на этикетку информацию о слабительном действии продукта с их использованием. Заявленный на этикетке срок годности образцов П4 – П6 составляет 6 месяцев, для образцов № П1 – П3 - 12 месяцев. В образцах П1, П3, П5 и П6 - в качестве пребиотика добавлено пищевое волокно – инулин.

Профилограмма органолептической оценки образцов мороженого представлена на рисунке 3.7, балльная характеристика дана в таблице 3.6.

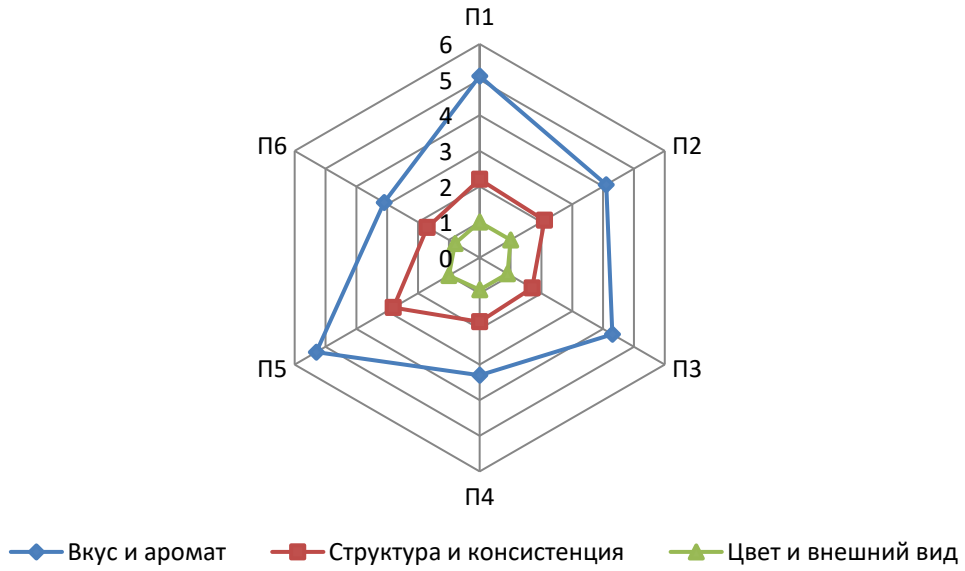


Рисунок 3.7. - Профилограмма органолептических показателей промышленных образцов мороженого и замороженных десертов без сахарозы

Таблица 3.6. – Балльная характеристика органолептической оценки образцов по категориям

№ образца	Вкус и аромат (6 баллов)	Структура и консистенция (3 балла)	Цвет и внешний вид (1 балл)	Общая балловая оценка (10 баллов)	Примечание
П1	5,1	2,2	1,0	8,3	Сладость усиливается в процессе органолептической оценки, ярко выражен вкус стевиозида

Окончание таблицы 3.6

П2	4,1	2,1	1,0	7,2	Недостаточная сладость, плотная консистенция
П3	4,3	1,7	0,9	6,9	Кислый вкус, рыхлая структура, плотное, ощутимый привкус подсластителя, нетипичная сладость
П4	3,3	1,8	0,9	6,0	Песчанистость (кристаллы лактозы), горечь, вкус стевиозида, нетипичная сладость
П5	5,3	2,8	1,0	9,1	Недостаточная сладость
П6	3,1	1,7	0,8	5,6	Водянистая структура, образец неприятный по вкусу

Данные дегустационной оценки свидетельствуют о том, что серийно выпускаемое мороженое без сахарозы характеризуется различными пороками вкуса, структуры и консистенции. В десертах (П3 и П5) отмечена излишняя кислотность вносимых пищевкусовых продуктов, что говорит о недостаточной сладости. Высокая оценка образца П5 по категории «Структура и консистенция» возможно, обусловлена тем, что в состав используемых пюре манго и пюре маракуйи входят сахара, о чем в пищевой ценности есть отметка производителя (в т.ч сахарозы 6,2 г от общего числа углеводов), что повлияло на консистенцию самого продукта.

В образцах мороженого (П1, П2, П4 и П6) также отмечена недостаточная сладость, выражен вкус стевиозида.

Излишняя твердость мороженого обусловлена низким содержанием сахаров, значение этого показателя составило: образец П6 - 2575 г, образец П4 – 1623 г. Образцы П2 и П1 обладали меньшей твердостью 994 и 493 г, что может быть обусловлено тем, что в образец П2, помимо ксилита внесена фруктоза, а в образце П1 массовая доля жира составляет 15%.

Из замороженных десертов наибольшей твердостью обладал образец П3 – 1474 г, в образце П5 твердость составила 368 г. Разность в твердости можно объяснить тем, что в образце П5 больше углеводов за счет замороженного пюре

из фруктов, в состав которого входят сахара. В образце П3 меньшее содержание сухих веществ, что обуславливает более высокое содержание воды в продукте.

Анализ промышленных образцов показал, что ассортимент мороженого и замороженных десертов без сахарозы и объемы его производства недостаточные. Производство продукции на мелких предприятиях с низким техническим оснащением не позволяет создать структуру, характерную для данного вида продукции. Отсутствие в составе мороженого сахаров в количестве не менее 14,5 % не позволяет относить выпускаемое мороженое к категориям «молочное», «сливочное» и «пломбир». Поиск альтернативных заменителей сахарозы представляется актуальной задачей.

3.2.2 Исследование характера кристаллообразования в модельных растворах углеводов и пищевых волокон

Компоненты для восполнения сухих веществ подбирали с учетом способности к гелеобразованию и сенсорному увеличению ощущения жирности готового продукта. При подборе ингредиентов для замены сахарозы учитывали их гликемический индекс и способность взаимодействовать с водой.

Характерным пороком традиционного молочного мороженого является образование крупных кристаллов льда, в связи с этим важно знать влияние заменителей сахарозы на этот процесс. Исследовали их размеры и морфологию в растворах 14% концентрации сахаров (фруктозы и трегалозы), полиолов, полидекстрозы и инулина. Исследования показали, что в растворах этих компонентов по сравнению с водой образуются более мелкие кристаллы льда (рисунок 3.8, таблица 3.7).

500 мкм
сахароза
500 мкм
фруктоза
500 мкм
трегалоза
500 мкм
инулин
500 мкм
полидекстроза
500 мкм
сухой глюкозный сироп ДЭ 38
500 мкм
мальтодекстрин ДЭ 12
500 мкм
мальтодекстрин ДЭ 18

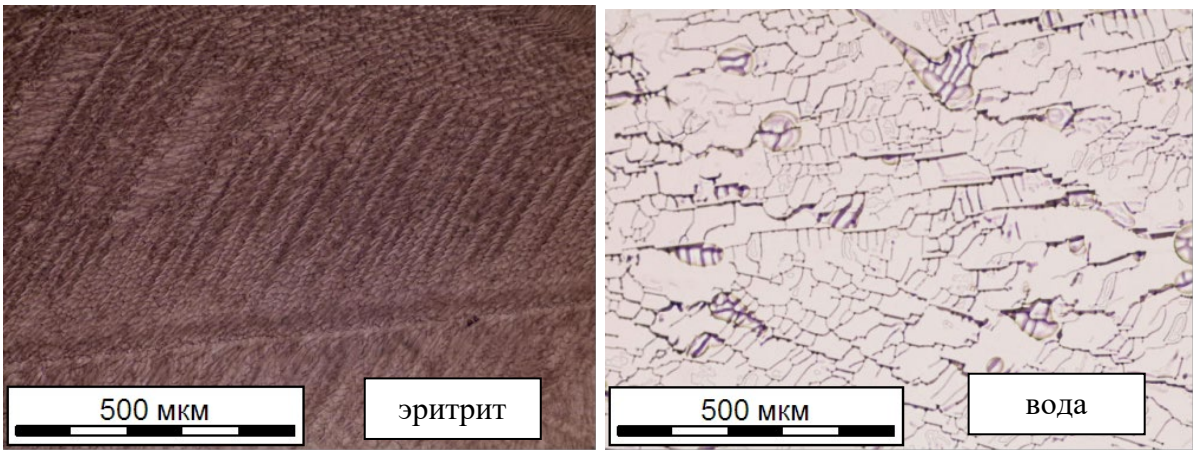


Рисунок 3.8 - Микрофотографии кристаллов льда в модельных растворах углеводов и пищевых волокон

Таблица 3.7 - Характеристика размеров (L) кристаллов льда в растворах углеводов и пищевых волокон

Наименование углеводов и пищевых волокон	$L_{ср}$, мкм	$L_{мин}$, мкм	$L_{макс}$, мкм	Содержание кристаллов льда размером до 50 мкм, %
сахароза	17,7±1,23	1,9	82,0	96,8
фруктоза	23,4±0,84	5,5	47,4	100,0
трегалоза	18,9±0,65	4,8	43,1	100,0
инулин	21,8±0,75	6,7	44,5	100,0
полидекстроза	18,4±0,58	6,0	33,9	100,0
сухой глюкозный сироп	25,8±1,30	2,5	59,7	98,1
мальтодекстрин ДЭ 12	27,4±1,73	2,6	83,4	91,9
мальтодекстрин ДЭ 18	20,4±0,83	3,0	49,5	100,0
эритрит	18,1±0,68	4,1	53,1	99,8
вода	54,2±7,89	22,3	134,0	43,0

Анализ данных, приведенных в таблице 3.7, показывает, что наибольшее отличие между минимальным ($L_{мин}$) и максимальным ($L_{макс}$) размерами кристаллов льда наблюдается в растворах сахарозы и мальтодекстрина с ДЭ 12 и достигает 80 мкм. Средний размер кристаллов льда в этих растворах составляет 17,7 мкм и 27,4 мкм соответственно. Стоит отметить, что средний размер

кристаллов льда в замороженной воде составляет 54,2 мкм, тем самым можно предположить, что внесение сахаров, полиолов и пищевых волокон в воду влияет на характер образования кристаллов льда.

Результаты исследования показали, что сахароза, трегалоза, фруктоза, инулин, полидекстроза, сухой глюкозный сироп и мальтодекстрины в количестве 14 % оказывают положительное влияние на дисперсность кристаллов льда. Однако, можно предположить, что влияние данных компонентов на кристаллы льда при использовании в смеси будет несколько иным, что обуславливается их разным процентным содержанием и возможным синергетическим взаимодействием при совместном применении.

3.2.3 Экспериментальное обоснование компонентов для восполнения сухих веществ в мороженом с низкой массовой долей жира

Учитывая, что содержание сухих веществ в мороженом на уровне не менее 32% является необходимым условием для формирования структуры продукта с высокой дисперсностью кристаллов льда, на первом этапе работы выбирали эффективные компоненты для восполнения сухого вещества в мороженом с низкой массовой долей жира. С этой целью использовали: полидекстрозу (образец №5), инулин (образец №6), мальтодекстрины с ДЭ 18 и ДЭ 12 (образцы №7 и №8) и сухой глюкозный сироп (образец №9). С целью выбора оптимального решения, исследовано их влияние на показатели качества мороженого с массовой долей жира 3%. Химический состав образцов представлен в таблице 3.8.

Выбор массовой доли жира мороженого (3%) обусловлен тем, что в этом случае информацию о содержании жира в соответствии с приложением 5 ТР ТС 022/2011 можно приводить, как отличительный признак - «низкое содержание жира». Образец с инулином является, кроме того, источником пищевых волокон, поскольку их содержание не менее чем 3 г в 100 г продукта.

Таблица 3.8 - Характеристика опытных образцов мороженого

Характеристика состава	Образцы					
	4К	5	6	7	8	9
Общее содержание сухих веществ, %, не менее, в т.ч.	29,5	32,0	32,0	32,0	32,0	32,0
молочного жира, %, не менее	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0
СОМО, %, не менее	10,5	10,5	10,5	10,5	10,5	10,5
сахарозы, %, не менее	15,5	15,5	15,5	15,5	15,5	15,5
полидекстрозы, %, не менее	-	2,8	-	-	-	-
инулина, %, не менее	-	-	2,8	-	-	-
мальтодекстрина MultyDex 18, %, не менее	-	-	-	2,8	-	-
мальтодекстрина MultyDex SUN 12, %, не менее	-	-	-	-	2,8	-
глюкозного сиропа, %, не менее	-	-	-	-	-	2,8
стабилизатора-эмульгатора Cremodan 709, %, не менее	0,61	0,52	0,52	0,52	0,52	0,52

Во всех опытных образцах определяли вязкость смеси до и после созревания при градиенте сдвига 0,83 $с^{-1}$ (таблица 3.9), взбитость мороженого при выгрузке из фризера, скорость таяния и формоустойчивость, а также исследовали дисперсность структурных элементов мороженого.

Таблица 3.9 - Показатели динамической вязкости смеси

Показатели	Образцы					
	4К	5	6	7	8	9
динамическая вязкость (до созревания), мПа·с	186±5,9	143±2,0	139±5,1	156±8,1	168±7,1	147±7,1
динамическая вязкость (после созревания), мПа·с	181±6,2	141±5,2	135±3,7	145±3,4	161±5,2	129±4,4

Как видно из таблицы 3.9, показатели вязкости смеси после созревания не возрастают, как это обычно происходит в смесях с более высокой массовой долей жира, а снижаются на 4 – 9 % в зависимости от образца, за исключением образца, содержащего полидекстрозу. Объяснить это можно некоторым ослаблением связи гидроколлоидов с молекулами воды и отсутствием влияния на этот показатель эффекта дополнительного связывания воды белком оболочек жировых шариков в связи с невысокой массовой долей жира.

Разница в показателях динамической вязкости между опытными образцами и контрольным объясняется снижением количества стабилизационной системы на 15%. Такой выбор был обусловлен повышением массовой доли сухих веществ. Однако, результаты показали, что при определении количества вносимой стабилизационной системы необходимо ориентироваться на массовую долю жира в продукте, что было учтено при выработке последующих образцов.

При обработке полученных значений динамической вязкости с помощью дисперсионного анализа (one-way ANOVA) удалось установить, что значения данного показателя до и после созревания смеси для мороженого не имеют статистически значимых отличий ($P>0,05$). Анализируя данный факт, можно предположить, что для образцов с низкой массовой долей жира, в частности 3%, стадия созревания в технологическом процессе не требуется, что актуально в

летний сезон на предприятиях отрасли и будет способствовать увеличению производительности предприятия.

Все образцы мороженого обладают хорошей способностью к насыщению воздухом в процессе фризерования. Взбитость образца с полидекстрозой – 89%, образца с глюкозным сиропом – 118%, остальных– 101%, контрольного образца– 108%.

На рисунке 3.9 представлены данные о термоустойчивости образцов.

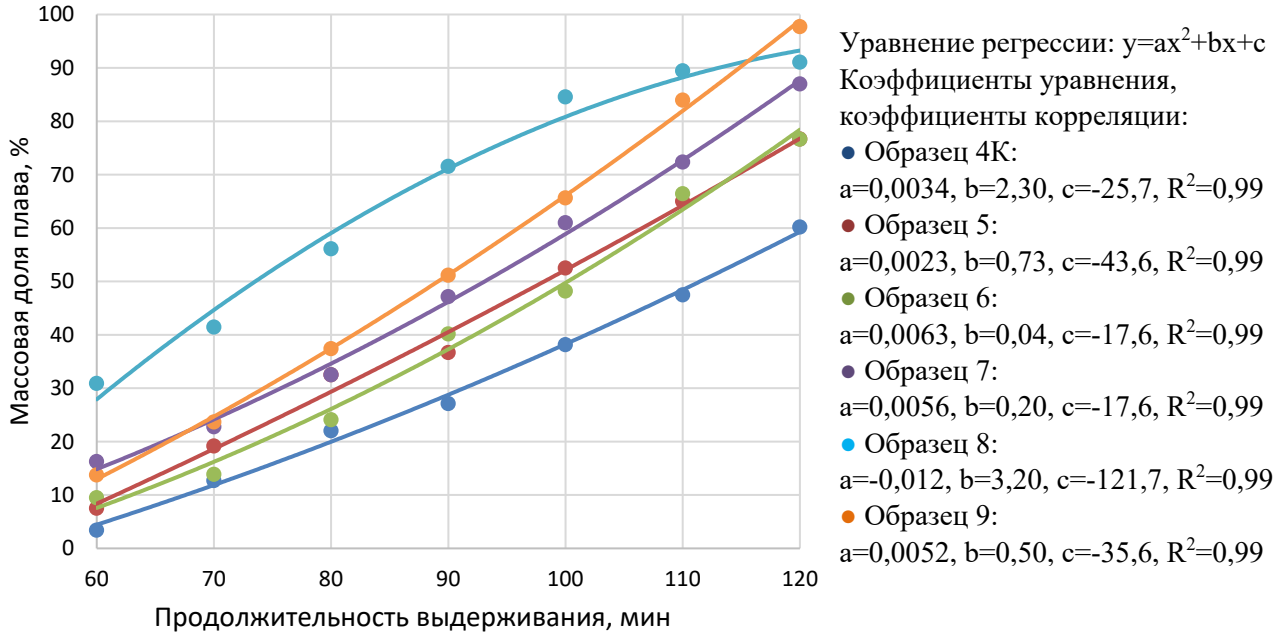


Рисунок 3.9 - Зависимость массовой доли плава в образцах молочного мороженого с массовой долей жира 3 % от продолжительности выдерживания

Как следует из данных, приведенных на рисунке 3.9, через 60 мин с момента термостатирования в контрольном образце образовалось наименьшее количество плава – 3,3 %. Стоит отметить, что этот показатель также зависит от количества внесенного стабилизатора-эмульгатора. Наименьшая термоустойчивость отмечена у образца с мальтодекстрином ДЭ 12, массовая доля плава через 60 мин. составила 30 %. По устойчивости к таянию (по мере убывания) образцы можно расположить в следующей последовательности: контроль, образец с полидекстрозой, образец с инулином, образец с

мальтодекстрином ДЭ 18, образец с глюкозным сиропом, образец с мальтодекстрином ДЭ 12.

Данные о формоустойчивости образцов представлены на рисунке 3.10.

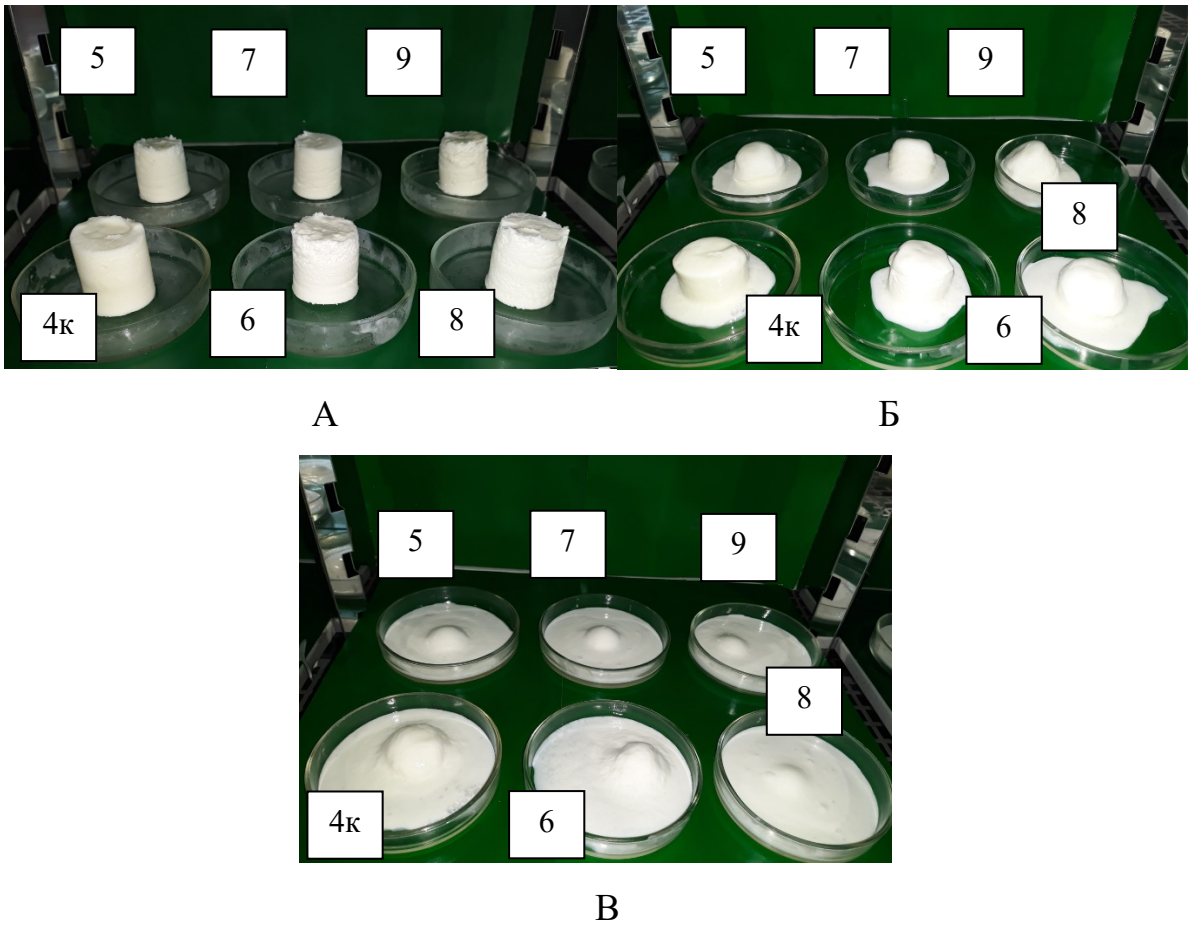


Рисунок 3.10 - Состояние порций образцов молочного мороженого с массовой долей жира 3 %: А – через 0 мин, Б – через 30 мин, В – через 50 мин

Фотоизображения, представленные на рисунке 3.10, также подтверждают, что образец с мальтодекстрином ДЭ 12 обладает наименьшей способностью сохранять форму при температуре (20±1,5) °С. Наиболее формоустойчивым образцом является контрольный, что не противоречит данным по скорости таяния образцов.

Установлено, что в процессе хранения образцов в течение 6 месяцев дисперсность воздушной фазы, определяемая по диаметру воздушных пузырьков, изменяется в различной степени. В контрольном образце (4К) диаметр воздушных пузырьков после закаливания составил 31 мкм и к 6 мес. он увеличился до

40 мкм. Самыми стабильными воздушными пузырьками характеризовались образцы с использованием полидекстрозы и инулина (№5 и №6). В течение времени хранения диаметр их пузырьков был на уровне (22±2) и (20±2) мкм соответственно. Образцы с использованием мальтодекстринов (№7 и №8) через 6 мес. характеризовались высокой дисперсностью воздушной фазы. Однако их размер увеличился, соответственно в 1,6 и 2 раза. Диаметр воздушных пузырьков после закаливания составил 15 и 12 мкм соответственно, что свидетельствует о нестабильности мелких воздушных пузырьков. Первоначальный диаметр воздушных пузырьков в образце с глюкозным сиропом (№9) составлял 21 мкм, через 6 мес. он увеличился в 1,4 раза.

Особое внимание при хранении образцов с низким содержанием жира, с учетом высокой вероятности образования крупных кристаллов льда, уделялось исследованию их дисперсности в процессе хранения в течение 6 мес. (рисунок 3.11).

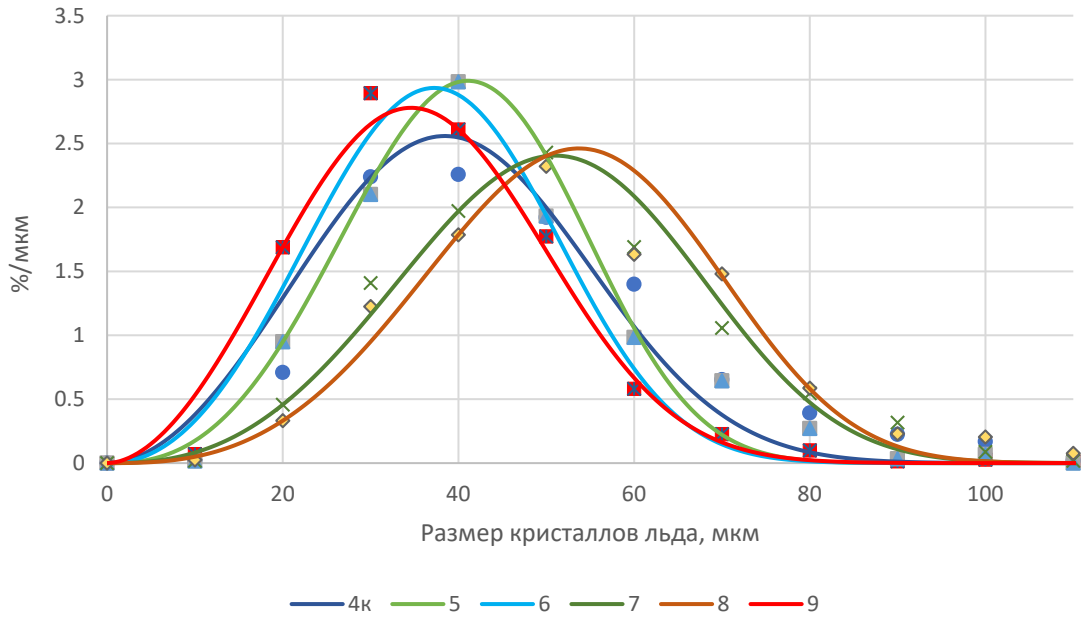


Рисунок 3.11 - Кривые распределения кристаллов льда в образцах через 6 мес. хранения

По данным рисунка 3.11 видно, что наименьший размер кристаллов льда характерен для образцов с глюкозным сиропом и инулином (рисунки 3.12 и 3.13). Наибольший размер кристаллов льда был отмечен в образцах с

мальтодекстринами. Дисперсность кристаллов льда в процессе хранения образца с мальтодекстрином с ДЭ 12 представлена рисунке 3.14.

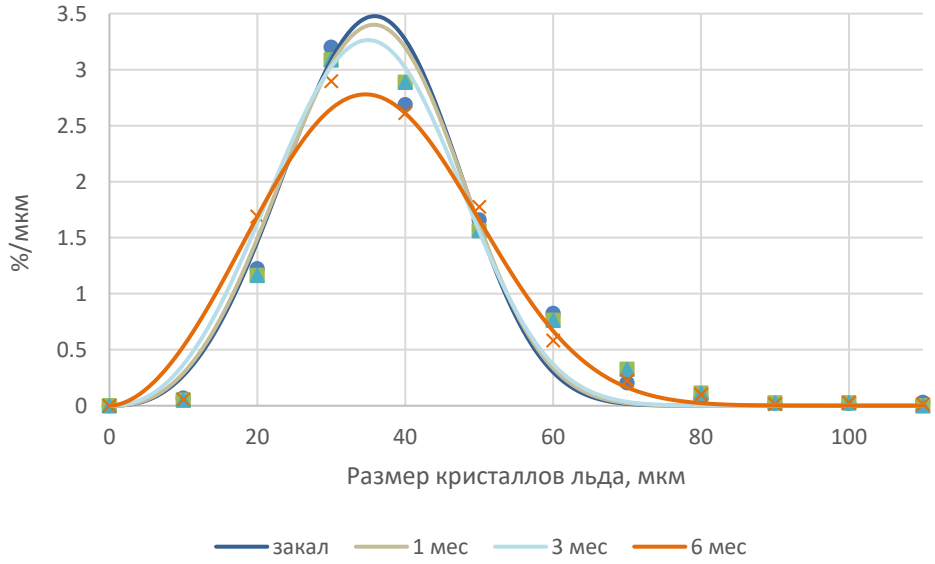


Рисунок 3.12 - Кривые распределения кристаллов льда по размерам в образце с глюкозным сиропом (образец №9) в течение 6 месяцев хранения

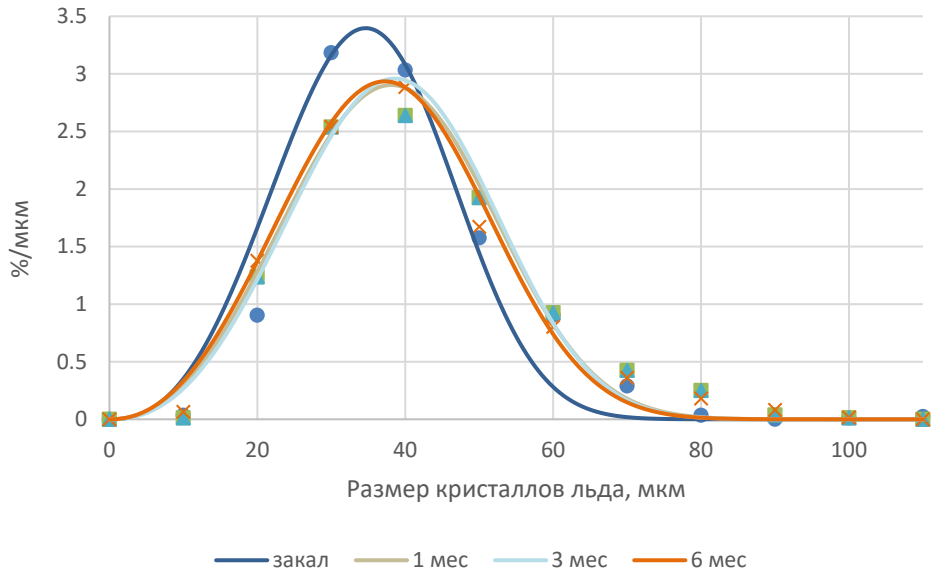


Рисунок 3.13 - Кривые распределения кристаллов льда по размерам в образце с инулином (образец №6) в течение 6 месяцев хранения

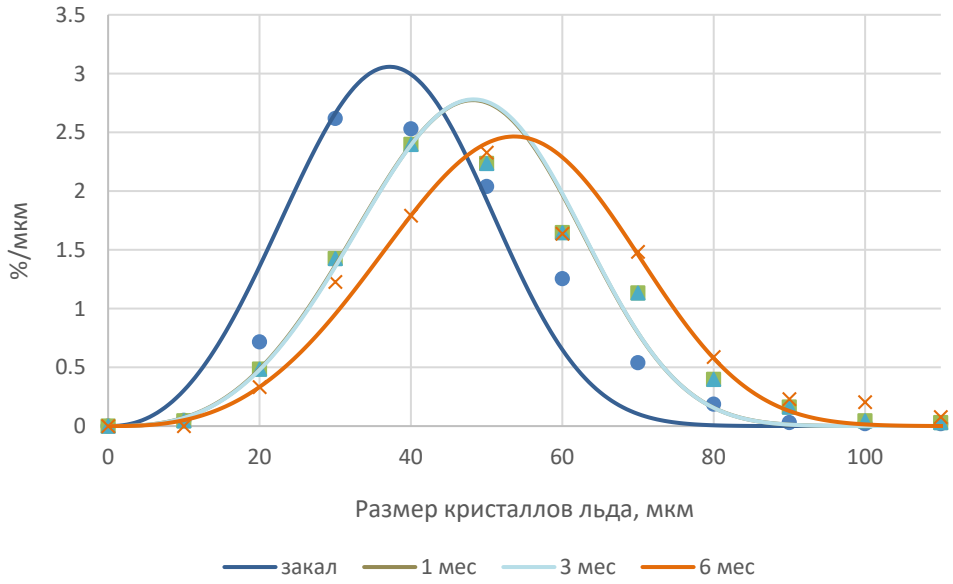


Рисунок 3.14 - Кривые распределения кристаллов льда по размерам в образце с мальтодекстрином с ДЭ 12 (образец №8) в течение 6 месяцев хранения

В таблице 3.10 приведены сводные данные о показателях дисперсности кристаллов льда, характеризующих кривые распределения образцов на рисунках 3.11 – 3.14.

Таблица 3.10. – Параметры дисперсности кристаллов льда в образцах мороженого

Образец	Стадия хранения	$L_{ср}$, мкм	a	$b \cdot 10^{-4}$	R^2	S под кривой от 0 до 50 мкм
4к	6 месяцев	41,9±0,8	2,90	0,170	0,96	71,4
5		38,6±0,6	3,51	0,015	0,98	79,8
6		35,2±0,6	3,17	0,072	0,99	85,4
7		46,2±0,7	3,51	0,001	0,99	62,8
8		49,5±1,0	3,75	0,002	0,98	56,9
9		33,0±0,5	2,84	0,276	0,99	90,3
9	закаливание	33,7±0,4	3,56	0,021	0,98	88,4
	1 месяц	34,3±0,5	3,48	0,028	0,99	87,5
	3 месяца	34,9±0,7	3,29	0,058	0,98	85,6
6	закаливание	34,6±0,4	3,38	0,044	0,97	87,3

Окончание таблицы 3.10.

6	1 месяц	36,3±0,5	3,20	0,060	0,99	83,5
	3 месяца	34,8±0,8	3,29	0,042	0,97	85,2
8	закаливание	38,0±0,5	3,28	0,049	0,96	79,5
	1 месяц	44,4±0,6	3,79	0,003	0,98	65,9
	3 месяца	44,5±0,7	3,81	0,003	0,97	67,4

Через 6 месяцев хранения различия в дисперсности кристаллов льда установлены между всеми образцами ($P<0,05$). Статистически значимых различий в размерах кристаллов льда на протяжении 6 мес. хранения в образцах №№ 6 и 9 не найдено ($P>0,05$), дисперсность кристаллов льда сохраняется практически на одном уровне. Однако, в образце №8 имеются статистически значимые отличия ($P<0,05$), начиная с 1 месяца хранения. Затем до 3 месяцев хранения изменений нет ($P>0,05$), а через 6 мес. хранения размер кристаллов льда значительно увеличивается ($P<0,05$).

Микрофотографии кристаллов льда в образцах через 6 месяцев хранения представлены на рисунке 3.15.

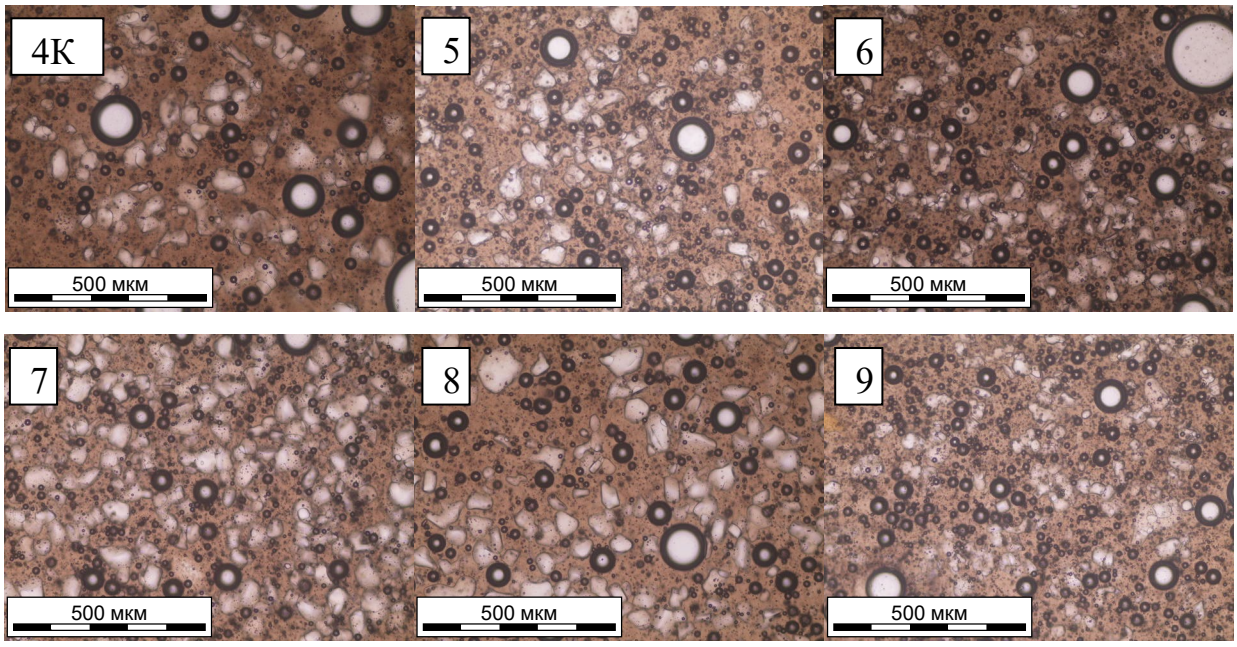
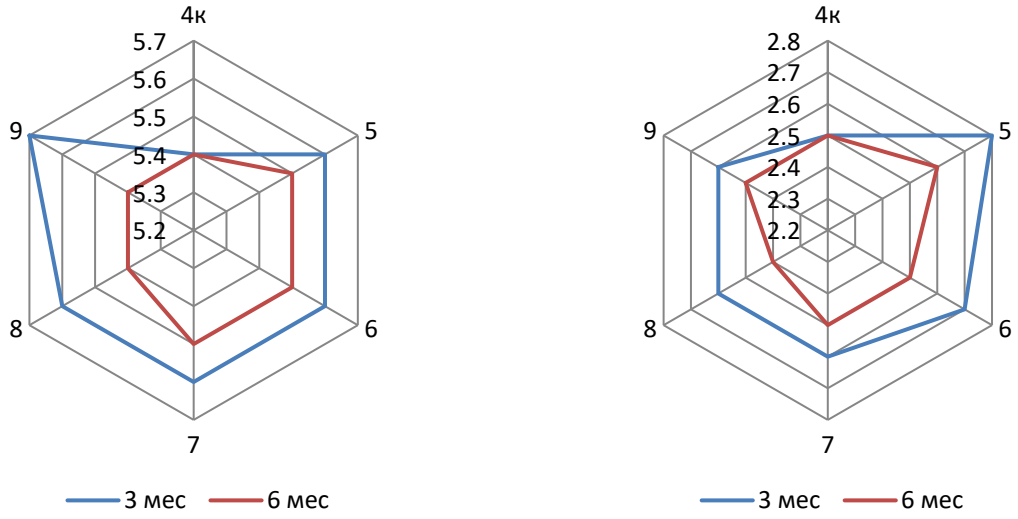


Рисунок 3.15- Микрофотографии кристаллов льда в образцах через 6 мес.

Данные дегустационной оценки в процессе хранения образцов представлены на профилограммах (рисунок 3.16).



«Вкус и аромат» «Структура и консистенция»

Рисунок 3.16. – Профилограммы органолептических показателей мороженого

Анализ профилограмм показал, что внесение компонентов с целью увеличения сухих веществ в молочном мороженом положительно сказалось на структуре мороженого. Однако, через 6 месяцев хранения, отметились наибольшие изменения в образце с мальтодекстрином с ДЭ 12 (обр. №8), что подтверждается вышеприведенными исследованиями дисперсности кристаллов льда. Кроме того, внесение дополнительных компонентов не сказалось отрицательно на вкусе и аромате мороженого.

Дегустаторы отметили, что в образцах №5 и №6 (с полидекстрозой и инулином) создаётся сенсорное ощущение более высокой по содержанию жира разновидности мороженого (соответствующее сливочному мороженому).

Результаты проведенных исследований показывают, что наиболее приемлемыми компонентами для увеличения общего содержания сухих веществ в мороженом с массовой долей жира 3% являются такие компоненты как инулин, полидекстроза и сухой глюкозный сироп. Образцы с их использованием характеризуются высокой дисперсностью структурных элементов. Для улучшения показателей формо- и термоустойчивости необходимо увеличить

количество стабилизационной системы до уровня контрольного образца. Мальтодекстрины также можно использовать с целью увеличения сухих веществ, но при условии хранения не более 3-х месяцев в связи со снижением дисперсности кристаллов льда. Однако, применение продуктов переработки крахмала нежелательно в связи с их высоким гликемическим индексом.

3.2.4 Обоснование композиционного состава мороженого с низким содержанием жира с фруктозой и трегалозой

Решение о совместном использовании фруктозы и трегалозы принято исходя из возможности восполнения этими сахарами сахарозы по массовой доле сухих веществ и сладости без внесения дополнительных нутриентов. Новизна технического решения отражена в заявке на патент «Мороженое без сахарозы с низким содержанием жира» (№ 2020134223). Принимали во внимание то, что степень сладости фруктозы в 1,75 раза выше, чем у сахарозы, а сладость трегалозы составляет 0,45 от сладости сахарозы. В мороженом с массовой долей жира 3 % обычно используется 15,5 % сахарозы. 8,0 % фруктозы обеспечивает уровень сладости, свойственной 14 % сахарозы, а 7,5 % трегалозы – 3,3%. Таким образом, использование композиции фруктозы и трегалозы полностью по сладости и сухому веществу заменяет применение сахарозы.

Гликемический индекс молочного мороженого с 15,5% сахарозы составляет 62. Несмотря на то, что трегалоза состоит из двух остатков глюкозы, её ГИ на 28% ниже, чем у самой глюкозы. Совместное использование композиции фруктозы и трегалозы позволило снизить ГИ мороженого на 27%. Мороженое при этом переходит в категорию продуктов с низким гликемическим индексом. ГИ мороженого определяли расчётным способом с учетом гликемического индекса сахаров и их массовой доли в общей доле углеводов.

Исходя из данных, приведенных выше, были приготовлены выборочные модельные растворы, в которых содержание воды и растворенных в ней сахаров и

пищевых волокон соответствует их содержанию в смесях для мороженого с массовой долей жира 3%. Содержание воды в растворе характерно её количеству в смесях для мороженого с учетом общего количества сухих веществ в продукте (таблица 3.11).

Таблица 3.11 - Состав модельных растворов

Наименование вещества	Раствор 1	Раствор 2	Раствор 3
Вода, г	70,5	70,5	67,0
Сахароза, г	15,5	-	-
Фруктоза, г	-	8,0	8,0
Трегалоза, г	-	7,5	7,5
Инулин, г	-	-	3,0

Средний размер кристаллов льда в растворе 1 составил (21,0±0,95) мкм, в растворе 2 – (16,6±0,63) мкм, в растворе 3 – (14,7±0,68) мкм (рисунок 3.17).

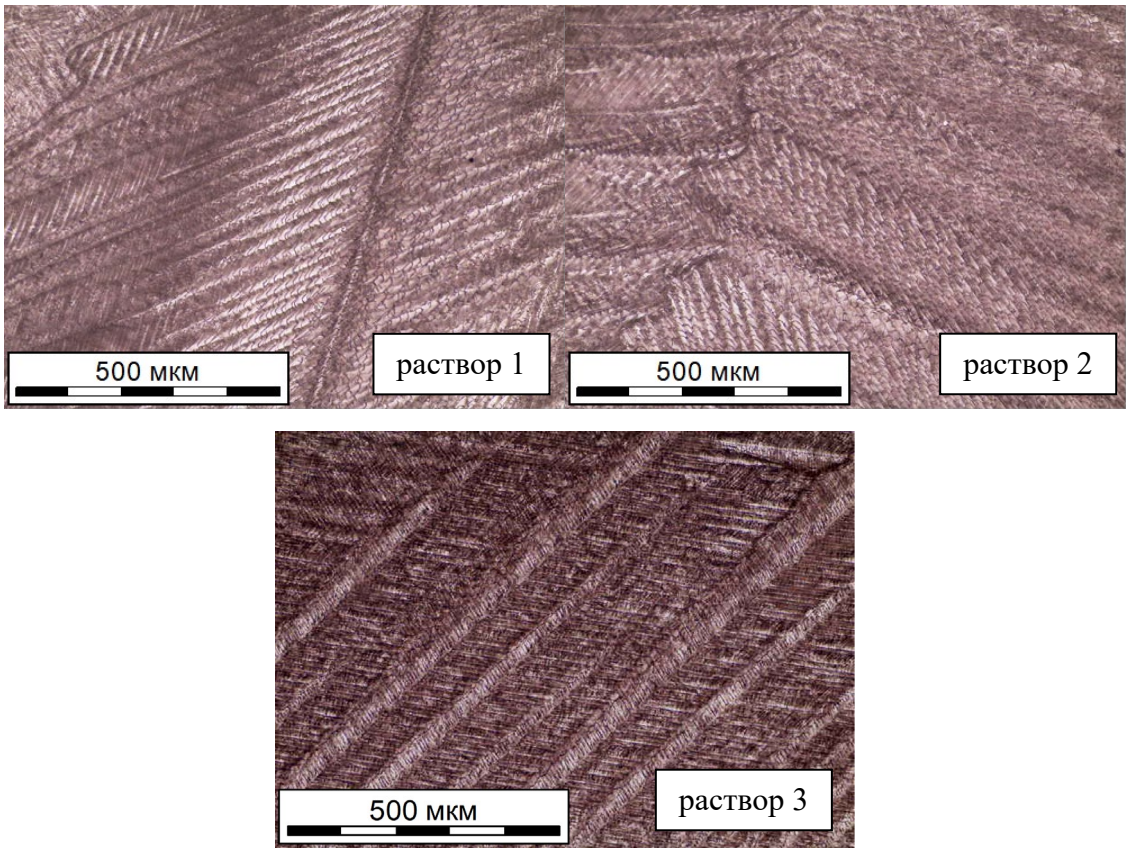


Рисунок 3.17 - Микрофотографии кристаллов льда в модельных растворах композиции сахаров и пищевого волокна

Внесение композиции сахаров фруктозы и трегалозы, а также ее совместное использование с инулином, способствует снижению среднего размера кристаллов льда на 20 и 30 % по сравнению с раствором с сахарозой, что является подтверждением синергетических криопротекторных свойств этих композиций.

Поскольку анализ кристаллов льда в растворах инулина и полидекстрозы (раздел 3.2.2) показал, что средний размер кристаллов льда полидекстрозы на 15% ниже, чем у инулина (при одной и той же концентрации) и оба полисахарида являются криопротекторами, можно предположить о возможности взаимозаменяемости данных компонентов при выработке образцов мороженого.

В таблице 3.12 приведена характеристика образцов мороженого, исследование которых изложено в настоящем и последующих разделах. Образцы № 4К (таблица 3.8) и № 10К, а также образцы № 11 – № 13 отличаются между собой составом стабилизационных систем и содержанием инулина или полидекстрозы.

Таблица 3.12 - Химический состав и характеристика образцов мороженого с массовой долей жира 3%

Характеристика мороженого	Образцы				
	10К	**11**	**12**	**13**	**14**
Массовая доля сухих веществ, %, не менее, в т.ч.	30,0	33,0	33,0	33,0	32,5
молочного жира, %, не менее	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0
СОМО, %, не менее	11,0	11,0	11,0	11,0	11,0
сахарозы, %, не менее	15,5	-	-	-	-
фруктозы, %, не менее	-	8,0	8,0	8,0	-
трегалозы, %, не менее	-	7,5	7,5	7,5	-
инулина, %, не менее	-	-	3,0	3,0	8,0
полидекстрозы, %, не менее	-	3,0	-	-	-
мальтодекстрина, %, не менее	-	-	-	-	4,0
эритрита, %, не менее	-	-	-	-	6,0
стевиозида, %, не менее	-	-	-	-	0,02
стабилизатора-эмульгатора, Cremodan 709, %, не менее	-	0,61	-	-	0,61
стабилизатора-эмульгатора, Cremodan 334, %, не менее	0,61	-	-	0,61	-
стабилизатора-эмульгатора, композиция из п. 3.1.2, %, не менее	-	-	0,61	-	-
эффективная динамическая вязкость, мПа·с	275±10,8	306±11,2	404±7,2	358±7,4	301±20,9
Температура выгрузки из фризера, °С	-4,9	-6,2	-6,5	-6,8	-5,8
Взбитость, %	90	87	82	62	69
Количество образовавшегося плава, %, через 60 мин	21,8	4,0	4,4	18,6	20,9
через 90 мин	61,1	32,6	23,5	61,4	74,1
через 120 мин	93,9	70,2	64,0	97,5	97,9
Твердость, г	501	529	82,3	317,2	4789

Для всех образцов с различными подсластителями были определены относительная сладость, энергетическая ценность и гликемический индекс 100 г мороженого (таблица 3.13).

Таблица 3.13 - Энергетическая ценность и гликемический индекс мороженого

Образцы	Относительная сладость	Энергетическая ценность 100 г мороженого, ккал/кДж	Гликемический индекс 100 г мороженого
10К	15,5	107/451	62
11	17,3	110/455	40
12, 13	17,3	113/475	39
14	12,8	75/313	35

Образец №14 характеризуется самыми низкими значениями энергетической ценности и гликемического индекса, но при этом стоит отметить, что данный образец не относится к категории молочного мороженого, поскольку не содержит сахаров в своем составе. Кроме того, данный образец имеет высокую твердость (таблица 3.12), что подразумевает необходимость предварительного отепления перед употреблением, что нехарактерно для мороженого. Помимо этого, входящие в состав эритрит, стевиозид относятся к категории пищевых добавок и имеют индекс Е. Использование эритрита также обязывает производителей указывать на этикетке информацию о слабительном эффекте.

В результате исследований установлено, что динамическая вязкость смеси для мороженого без сахарозы (образец №11) при градиенте сдвига на срез 0,83 $с^{-1}$, в 1,6 раза выше, чем в контрольном образце № 4К. Взбитость мороженого составила 87 %, что характеризует высокую способность смеси к насыщению воздухом. Температура выгрузки мороженого составила минус 6,2 ºС, традиционного мороженого не ниже минус 4,8 ºС. Различия обусловлены молекулярной массой сахаров, в традиционном мороженом используется дисахарид сахароза, а в экспериментальном мороженом дисахарид трегалоза и

моносахарид – фруктоза. Данные о термоустойчивости мороженого представлены на рисунке 3.18.

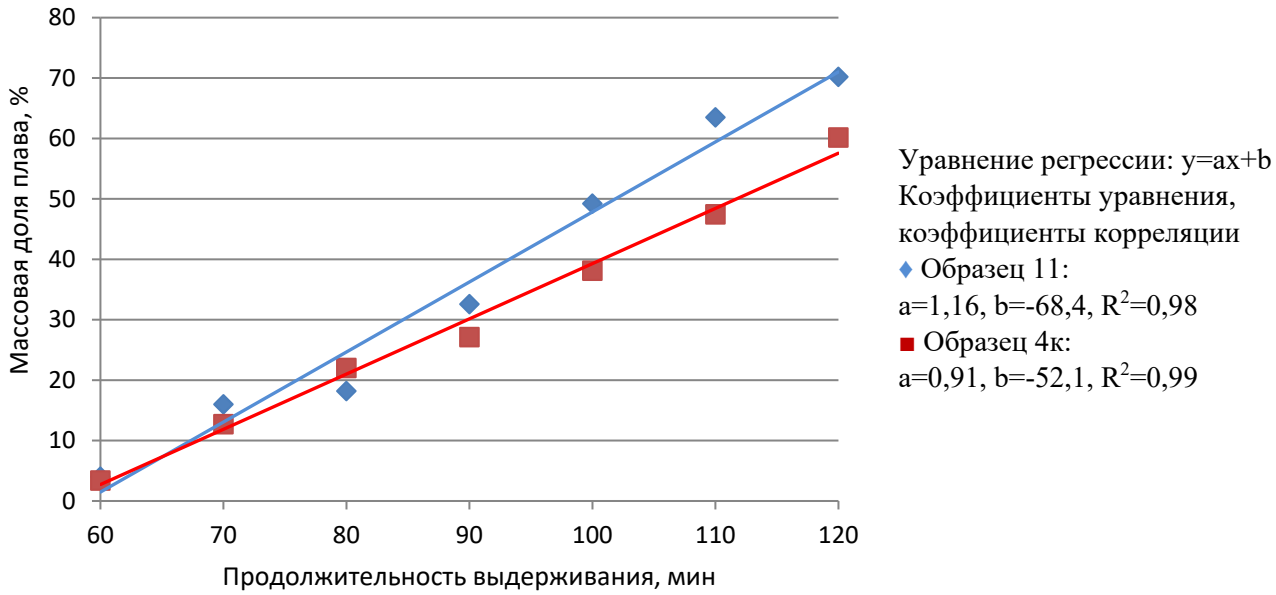


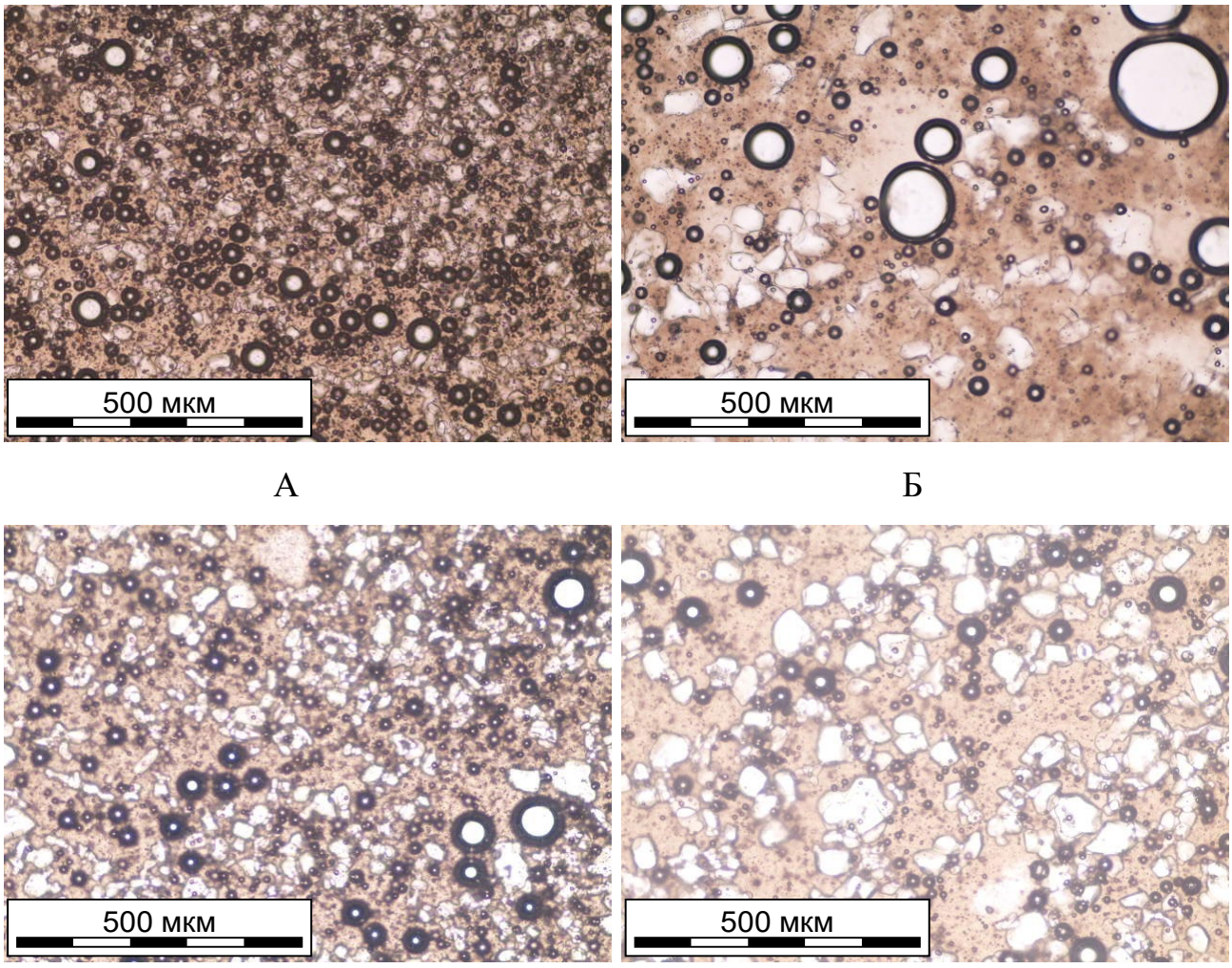
Рисунок 3.18 – Зависимость массовой доли плава от продолжительности выдерживания мороженого без сахарозы и контрольного образца

Как видно из данных, представленных на рисунке 3.18, замена сахарозы фруктозой и трегалозой не сказывается отрицательно на термоустойчивости мороженого, главным критерием оценки является количество образовавшегося плава через 60 мин. с начала термостатирования.

При производстве данной разновидности мороженого важно контролировать дисперсность структурных элементов в процессе хранения. Особое внимание уделялось исследованию дисперсности кристаллов льда, поскольку они оказывают большое влияние на органолептические показатели продукта (рисунок 3.19).

Качественная оценка фотографий показывает, что дисперсность кристаллов льда в мороженом с фруктозой и трегалозой выше, чем в контрольном образце. Помимо визуальной оценки состояния дисперсности структурных элементов, важно установить их динамику в процессе хранения.

На рисунке 3.20 представлены кривые распределения кристаллов льда в процессе хранения в образцах № 11 и № 4К (контрольный образец) через 12 месяцев.



А Б

В Г

Рисунок 3.19 – Микрофотографии кристаллов льда: после закаливания: А – образец 11, Б – образец 4К; через 12 месяцев: В – образец 11, Г – образец 4К

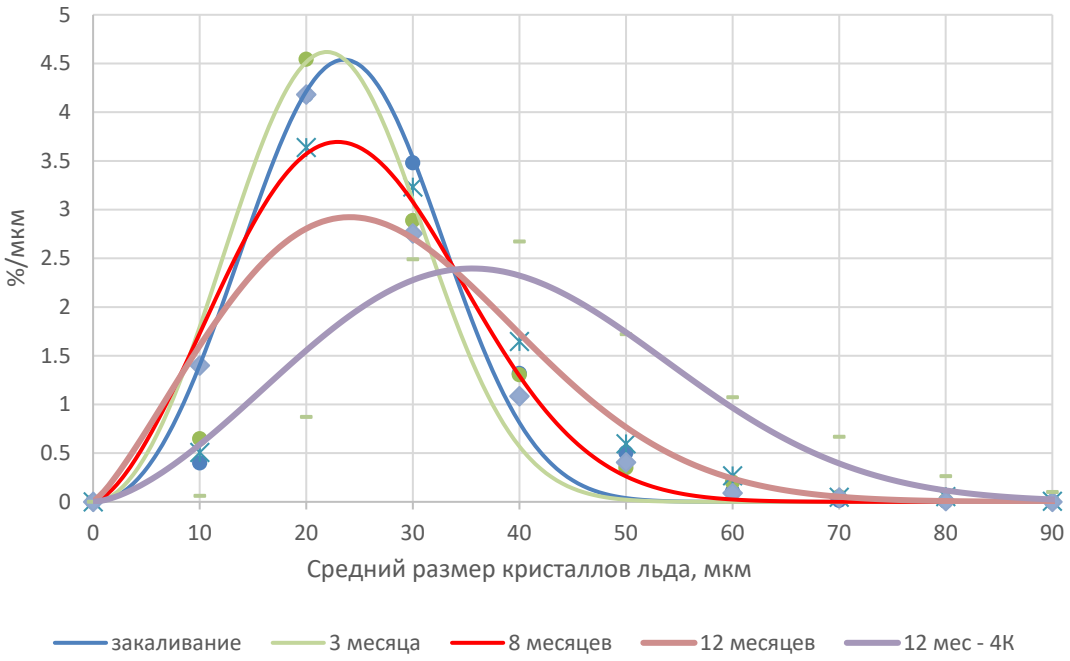


Рисунок 3.20 – Кривые распределения кристаллов льда в мороженом с фруктозой и трегалозой (образец №11) и контрольного образца (№ 4К)

По данным рисунка 3.20 видно, что на долю кристаллов льда размером от 10 до 30 мкм в мороженом с фруктозой и трегалозой приходится через 12 мес. хранения 69 % кристаллов, в контрольном образце данный показатель составляет 33 %.

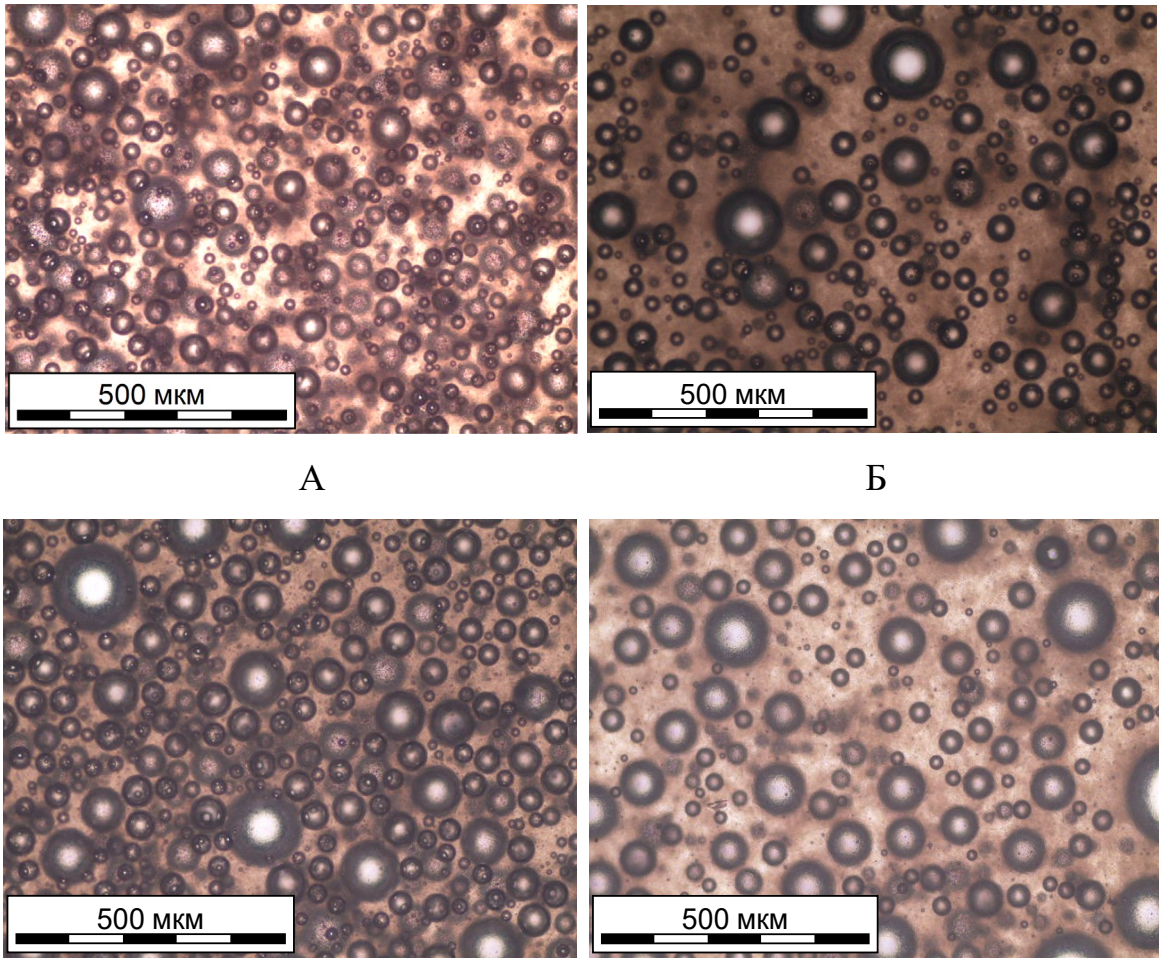
Важным показателем является также доля кристаллов льда размером до 50 мкм (органолептически ощутимый порог). После закаливания в образце мороженого с фруктозой и трегалозой их доля составляет 99%, а через 3 мес снижается всего лишь до 98%, через 12 месяцев данный показатель достигает 94%. В контрольном образце доля кристаллов льда размером до 50 мкм через 12 месяцев хранения составляет 81 %.

В таблице 3.14 приведены сводные данные о показателях дисперсности кристаллов льда, характеризующие кривые распределения образцов на рисунке 3.20.

Таблица 3.14. – Показатели дисперсности кристаллов льда в образцах мороженого

Образцы	Стадия хранения	$L_{ср}$, мкм	L_m, мкм	$L_{мед}$, мкм	a	$b \cdot 10^{-4}$	R^2
11	закаливание	23±0,22	15,9	21,1	3,106	0,37	0,97
	3 месяца	22±0,34	15,9	19,8	2,965	0,70	0,96
	8 месяцев	25±0,30	15,9	22,4	2,560	2,00	0,96
	12 месяцев	21±0,35	12,1	18,4	2,220	4,70	0,95
4К	12 месяцев	38±1,46	35,5	35,4	2,57	0,63	0,96

На рисунках 3.21 и 3.22 представлены микрофотографии и распределение по размерам воздушных пузырьков в образцах №11 и №4К.



А Б

В Г

Рисунок 3.21 – Микрофотографии воздушных пузырьков: после закаливания: А – образец 11, Б – образец 4К; через 12 месяцев: В – образец 11, Г – образец 4К

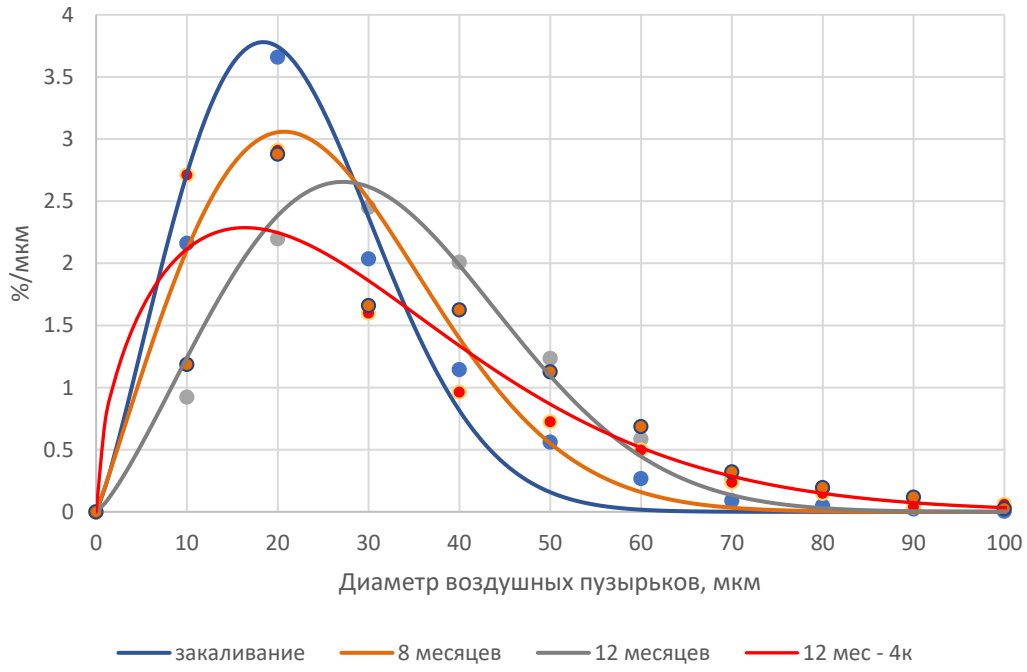


Рисунок 3.22 – Кривые распределения воздушных пузырьков в мороженом с фруктозой и трегалозой (образец №11) и контроле (№4К)

На основании данных, приведенных на рисунке 3.22, видно, что воздушные пузырьки, образовавшиеся после закаливания, преимущественно имеют размер 18 - 20 мкм, такие пузырьки нестабильны, происходит либо их коалесценция, либо они лопаются, что становится заметно, начиная с 8 мес. хранения.

Дисперсионный анализ (one-way ANOVA) показал, что статистических различий в выборках диаметров воздушных пузырьков через 12 месяцев хранения в опытном образце и контроле нет ($P>0,05$), дисперсность воздушной фазы в образцах можно считать одинаковой. Таким образом, замена сахарозы другими сахарами (фруктозой и трегалозой), а также внесение пищевых волокон не оказывает отрицательного влияния на данный показатель качества мороженого.

Полная замена сахарозы в мороженом с массовой долей жира 3% на фруктозу и трегалозу и увеличение общего содержания сухих веществ до 32 % положительно сказывается на его показателях качества:

- увеличивается вязкость смеси мороженого в 1,6 раза, по сравнению с контролем;

- влияние совместного использования фруктозы, трегалозы и полидекстрозы на дисперсность кристаллов льда, подтвердило предположение о синергетических криопротекторных свойствах данных компонентов.

3.2.5 Определение криоскопической температуры и температуры стеклования сахаров в мороженом без сахарозы

Учитывая, что молекулярная масса фруктозы в 1,8 раза меньше, чем у сахарозы, расчетным и экспериментальным методами определена криоскопическая температура смеси для мороженого. Экспериментальное значение криоскопической температуры использовано при расчете температуры выгрузки мороженого из фризера при массовой доле вымороженной воды 50 %. Для сравнения был выработан и исследован образец с использованием эритрита, часто применяемого для замены сахарозы по сухому веществу (обр. №14) (таблица 3.15).

Таблица 3.15 - Значения криоскопической температуры и температуры выгрузки мороженого из фризера при доле вымороженной воды 50%

Образцы	$t_{кр}$, °С	$t_{кр.расч}$, °С	$t_{выгр}$, °С
4К	-(2,34±0,09)	-2,2	-4,9
10К	-(2,34±0,09)	-2,2	-4,9
11	-(3,35±0,15)	-3,1	-7,1
12	-(3,30±0,27)	-3,1	-7,0
13	-(3,25±0,06)	-3,1	-6,9
14	-(3,29±0,12)	-2,9	-6,9

Как следует из данных, приведенных в таблице 3.15, замена сахарозы фруктозой и трегалозой приводит к снижению криоскопической температуры смеси для традиционного мороженого в 1,6 раза. Отличия этого показателя в смеси для мороженого с фруктозой и трегалозой и с эритритом (наиболее известное техническое решение замены сахарозы) составляют всего 0,2°С.

В результате исследований установлено, что существует заметная разница в криоскопической температуре в зависимости от используемых сахаров и заменителей сахарозы по сладости и сухому веществу. Таким образом, данный показатель необходимо учитывать для определения параметров процесса фризерования при использовании компонентов с более низкой и более высокой, чем у сахарозы, молекулярной массой.

Исследование температуры стеклования проводили с целью установления возможности ее достижения в интервале температур минус 18 – минус 30 °С, доступных в условиях промышленных предприятий. Стеклование незамерзшей плазмы в мороженом может быть причиной формирования мелких кристаллов льда при использовании фруктозы, трегалозы и пищевых волокон.

Однако, термограммы идентифицировали процесс стеклования в диапазоне температур от минус 55 °С до минус 43°С, в зависимости от образца, что значительно отличается от их значений в производственных условиях (рисунок 3.23).

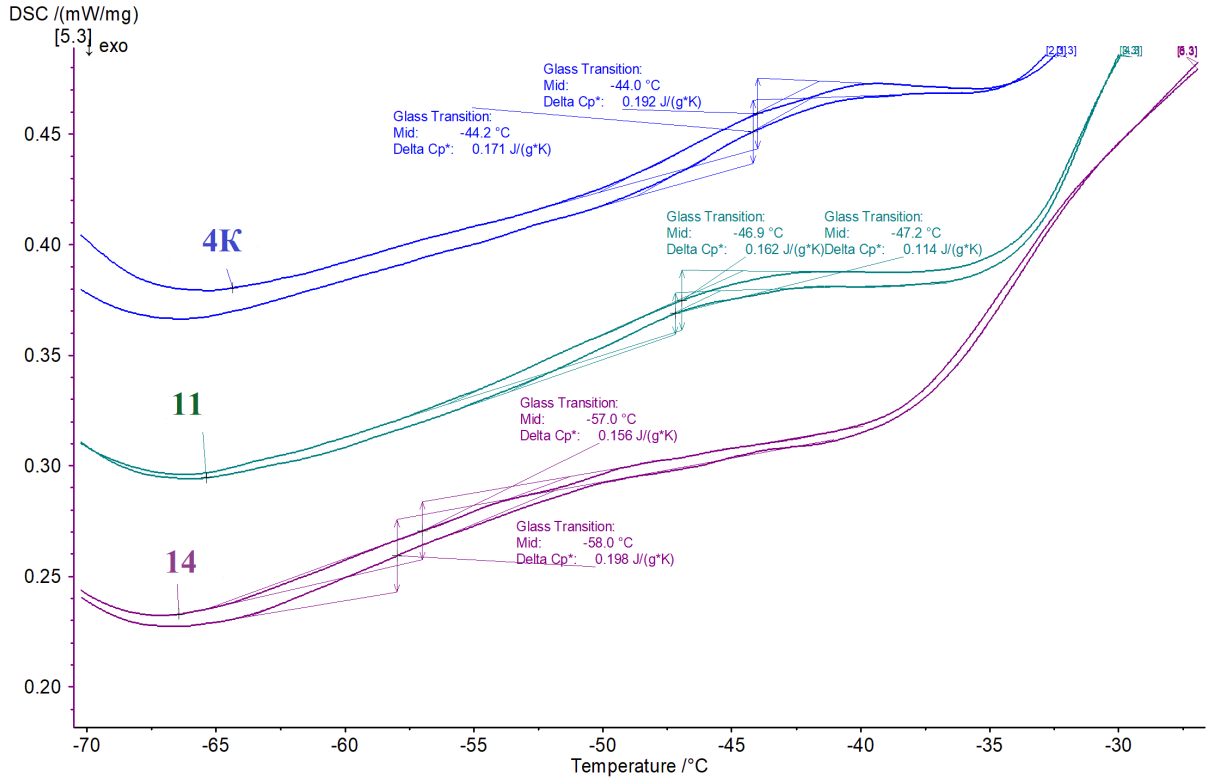


Рисунок 3.23. - Термограммы процесса стеклования в образцах

Значения температуры стеклования ($t_{стекл}$) в образцах и доли вымороженной воды (W) при температуре стеклования приведены в таблице 3.16.

Таблица 3.16 - Температура стеклования и доля вымороженной воды в экспериментальных образцах

Образец	$t_{стекл}$, °С (минус)	W, %
4К	-43,3	70,0
11	-49,0	67,5
14	-57,0	67,5

На всех образцах подтверждено, что использование альтернативных подсластителей и пищевых волокон взамен традиционной сахарозы (образец № 4К) приводит к снижению температуры стеклования на 13% (образец №11) и 32% (образец №14). Скорее всего, это обусловлено низкой молекулярной массой фруктозы (180 г/моль) и эритрита (122 г/моль). Следовательно, процесс стеклования не может происходить в интервале температур минус 18 – минус 30 °С.

Таким образом, можно предположить, что положительное влияние композиции сахаров и пищевых волокон на дисперсность кристаллов льда, скорее всего, обусловлено молекулярной конформацией и высокой гидратацией этих веществ, как это следует из данных обзора научно-технической литературы.

3.2.6 Изучение влияния температуры выгрузки из фризера на дисперсность структурных элементов мороженого с фруктозой и трегалозой

С учетом отмеченной в разделе 3.2.5 взаимосвязи криоскопической температуры смеси, доли вымороженной воды и температуры выгрузки мороженого из фризера, проведены исследования по определению показателей качества мороженого с фруктозой и трегалозой с долей вымороженной воды меньше и больше 50 %. Образец №11 выгружали из фризера при температуре

минус 6,2 °С (доля вымороженной воды – 43 %) и минус 8,4 °С (доля вымороженной воды – 57 %). Затем мороженое хранили в одинаковых условиях в одной холодильной камере при температуре минус (20 ± 2) ºС. В качестве параметров для сравнения между этими образцами была выбрана дисперсность кристаллов льда и дисперсность воздушной фазы, образующихся в процессе фризерования структурных элементов.

На рисунке 3.24 представлены кривые распределения кристаллов льда после закаливания и через 8 месяца хранения.

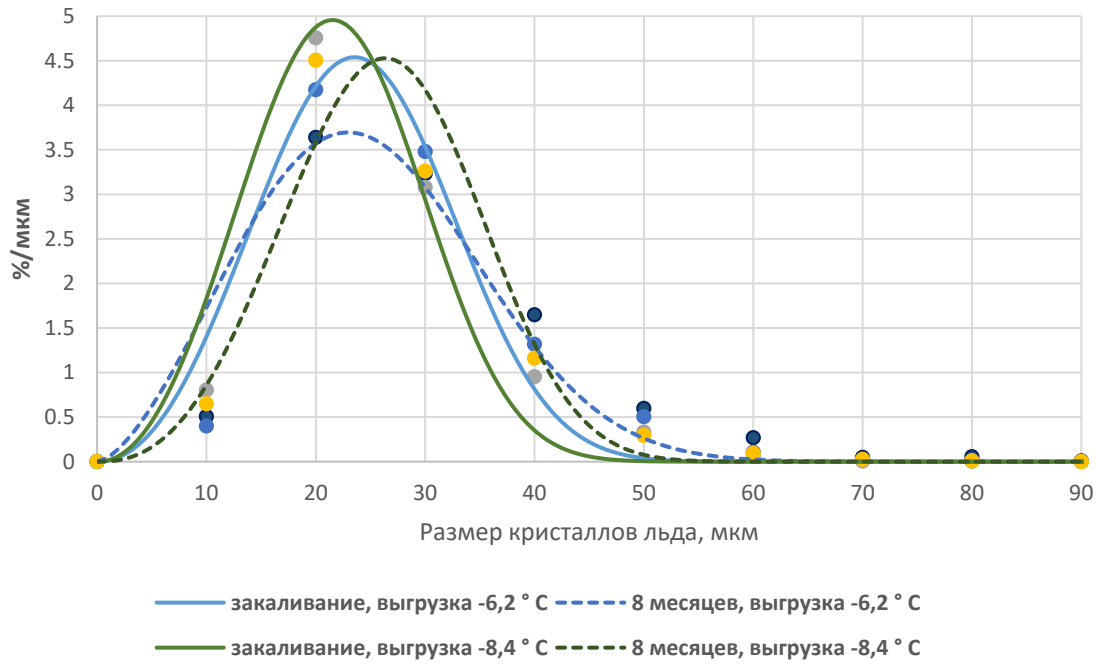


Рисунок 3.24 – Кривые распределения кристаллов льда при разной температуре выгрузки

Как видно из данных, представленных на рисунке 3.24, разница между образцами уже очевидна после закаливания и к 8 мес. она сохраняется. Попарное сравнение выборок с использованием дисперсионного анализа (one-way ANOVA) показало, что при разной температуре выгрузки имеются статистически значимые отличия ($P<0,05$). Таким образом, можно сделать вывод, что температура выгрузки из фризера оказывает влияние на дисперсность кристаллов льда.

Однако понижение температуры до минус 8,4 ºС ведет к уплотнению структуры и снижению взбитости в 1,3 раза, что затрудняет выгрузку мороженого

из фризера, поэтому осуществить такой процесс на одноцилиндровых фризерах, традиционно применяемых на предприятиях отрасли, не представляется возможным.

Температура выгрузки мороженого также оказывает влияние на дисперсность воздушной фазы. При более низкой температуре выгрузки в образце образуются более крупные воздушные пузырьки, через 8 месяцев хранения их количество размером до 50 мкм составляет 84%, при температуре выгрузки минус 6,2 °С – 90%. Возможно, данный факт можно объяснить тем, что снижение взбитости сказалось на устойчивости воздушной фазы.

Таким образом, учитывая вышеизложенные особенности полученного продукта, рекомендуемая температура выгрузки мороженого с фруктозой и трегалозой из фризера составляет от минус 6,6 до минус 7,2 °С.

Выводы по разделу 3.2:

– Анализ промышленных образцов показал, что существует необходимость разработки технологии молочного мороженого с низким содержанием жира и заменой сахарозы другими сахарами с целью получения кремообразной консистенции и снижения размеров кристаллов льда в продукте.

– Определены наиболее приемлемые компоненты для восполнения сухих веществ в молочном мороженом с низким содержанием жира до уровня не менее 32%.

– Получены данные, обосновывающие незначительное влияние стадии созревания смеси для молочного мороженого с низким содержанием жира на показатели его качества.

– Экспериментально обоснована композиция фруктозы, трегалозы и пищевых волокон с синергетическими криопротекторными свойствами.

– Применение композиции фруктозы и трегалозы позволило заменить сахарозу по сладости и по сухому веществу ингредиентами, не относящимися к пищевым добавкам (без индекса Е). С 1 порцией мороженого (массой 70 граммов)

в организм человека поступает 5,6 граммов фруктозы, что составляет 12% от рекомендуемой суточной нормы (45 г).

– Внесение композиции фруктозы, трегалозы и пищевых волокон оказало положительное влияние на дисперсность кристаллов льда, их размер составил 20-30 мкм при пороге органолептической ощутимости 50 мкм.

– Установлены параметры выгрузки мороженого из фризера с измененным составом сахаров.

3.3 Исследование влияния колебаний температуры на показатели качества мороженого с низким содержанием жира

3.3.1 Изучение влияния композиции фруктозы, трегалозы и пищевых волокон на дисперсность кристаллов льда в процессе хранения при колебаниях температуры

С целью исследования влияния композиции сахаров и пищевых волокон (ПВ), циклов колебаний температуры и продолжительности хранения после колебаний температуры на дисперсность структурных элементов был запланирован и проведен эксперимент по полному факторному плану типа 2^3. В качестве факторов планирования для проведения эксперимента были выбраны:

- содержание композиции сахаров (фруктозы и трегалозы) и ПВ (ω);
- количество циклов колебаний температуры (z);
- продолжительность хранения образцов мороженого после колебаний температуры (τ).

В таблице 3.17 приведены значения уровней и интервалов варьирования для факторов.

Таблица 3.17. – Уровни варьирования факторов

Фактор	Нижний уровень (-1)	Основной уровень (0)	Верхний уровень (+1)	Интервал варьирования
Содержание композиции сахаров и ПВ (ω), %	0	9,25	18,5	9,25
Колебания температуры (z), циклы	0	1,5	3	1,5
Продолжительность хранения (τ), дн.	10	50	90	40

Для удобства записи условий эксперимента, обработки экспериментальных данных, уровни факторов приведены к безразмерному виду:

$$\begin{cases} x_1 = \frac{\omega - 7{,}75}{7{,}75} = 0{,}13\omega - 1; \\ x_2 = \frac{z - 1{,}5}{1{,}5} = 0{,}67z - 1; \\ x_3 = \frac{\tau - 50}{40} = 0{,}025\tau - 1{,}25. \end{cases} \quad (3.1)$$

где ω, z, τ – реально достигаемые значения факторов.

В качестве функции отклика (y) был выбран средний размер кристаллов льда, мкм, полученный путем обработки микрофотографий с изображением кристаллов льда в продукте.

Для оценки влияния факторов использовали регрессионную модель объекта следующего вида:

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_1x_2 + b_1x_3 + b_{12}x_1x_2 + b_{13}x_1x_3 + b_{23}x_2x_3 + b_{123}x_1x_2x_3 \quad (3.2)$$

Данная модель позволяет учесть помимо влияния каждого фактора в отдельности все взаимодействия факторов между собой. А также помогает оценить поведение системы в целом.

Была составлена матрица планирования полного трехфакторного эксперимента (таблица 3.18) [127, 128].

Таблица 3.18. – Матрица полного трехфакторного эксперимента

№ опыта	Факторы в безразмерной системе координат				Влияние факторов друг на друга			
	x_0	x_1	x_2	x_3	x_1x_2	x_1x_3	x_2x_3	$x_1x_2x_3$
1	1	-1	-1	-1	1	1	1	-1
2	1	1	-1	-1	-1	-1	1	1
3	1	-1	1	-1	-1	1	-1	1
4	1	1	1	-1	1	-1	-1	-1
5	1	-1	-1	1	1	-1	-1	1
6	1	1	-1	1	-1	1	-1	-1
7	1	-1	1	1	-1	-1	1	-1
8	1	1	1	1	1	1	1	1

Для оценки дисперсии воспроизводимости измерений проводили три параллельных измерения и вычисляли $y_{ср}$ по формуле:

$$y_{\text{ср}} = \frac{\sum_{i=1}^{n} y_i}{m}, \qquad (3.3)$$

где m – количество параллельных измерений, m = 3.

Затем определяли квадраты разности между средним арифметическим $y_{ср}$ и результатами параллельных измерений y_1, y_2 и y_3 и находили дисперсию для каждого опыта по формуле:

$$S_i^2 = \frac{\sum_{i=1}^{n} (y_i - y_{\text{ср}})^2}{m-1}. \qquad (3.4)$$

Полученные результаты вычислений представлены в таблице 3.19.

Таблица 3.19. – Результаты эксперимента

№ опыта	Результаты параллельных измерений			Среднее результатов	Расчётные значения			
	y_1	y_2	y_3	$y_{\text{ср}}$	$(y_1 - y_{\text{ср}})^2$	$(y_2 - y_{\text{ср}})^2$	$(y_3 - y_{\text{ср}})^2$	S_i^2
1	39,2	39,1	39,7	39,3	0,02	0,05	0,13	0,10
2	38,5	38,8	35,2	37,5	1,00	1,69	5,29	3,99
3	43,9	43,5	49	45,5	2,45	3,87	12,48	9,40
4	40,9	40,5	41,3	40,9	0,00	0,16	0,16	0,16
5	38,6	40,2	39,3	39,4	0,59	0,69	0,00	0,64
6	35,6	39,1	37,1	37,3	2,78	3,36	0,03	3,08
7	50,1	49,5	53,2	50,9	0,69	2,05	5,14	3,94
8	40,2	44,3	43,4	42,6	5,92	2,78	0,59	4,64

С использованием данных, приведенных в таблице, рассчитывали значения коэффициентов регрессии по следующей формуле:

$$b_i = \frac{\sum_{i=1}^{n} x_i y_i}{n}, \quad (3.5)$$

где x_i – значение фактора с учётом знака в соответствующем ему столбце (таблица 3.19).

Расчетные значения коэффициентов регрессии представлены в таблице 3.20.

Таблица 3.20. – Значения коэффициентов регрессии

b_0	b_1	b_2	b_3	b_{12}	b_{13}	b_{23}	b_{123}
41,7	-2,1	3,3	0,9	-1,1	-0,5	0,9	-0,4

Из таблицы 3.19 видно, что значение дисперсии в опыте №3 превышает значение дисперсий остальных опытов. В связи с этим данные этого опыта проверяли на однородность дисперсий ($G_{\text{оп}}$) по критерию Кохрена.

$$G_{\text{оп}} = \frac{S^2_{max}}{\sum_{i=1}^{n} S_i^2}, \quad (3.6)$$

где S^2_{max} – максимальная дисперсия воспроизводимости;

$\sum_{i=1}^{n} S_i^2$ – сумма дисперсии воспроизводимости опытов.

Затем для опыта №3определяли однородность дисперсии:

$$G_{\text{оп}} = \frac{9{,}40}{25{,}97} = 0{,}362$$

Учитывая, что табличное значение критерия Кохрена для уровня значимости α=0,05 этого критерия составляет $G_{\text{кр}}$ =0,5157, следовательно, дисперсии можно считать однородными, а результаты опыта №3 можно использовать.

Это позволяет оценить дисперсию воспроизводимости, как среднее арифметическое значение дисперсий опытов:

$$S^2\{y\} = \frac{\sum_{i=1}^{n} s_i^2}{n}, \quad (3.7)$$

где n – число опытов.

$$S^2\{y\} = \frac{25{,}97}{8} = 3{,}25$$

Затем определили среднее квадратическое отклонение коэффициентов по формуле:

$$S_{\text{коэф}} = \sqrt{\frac{S^2\{y\}}{n*m}}, \qquad (3.8)$$

$$S_{\text{коэф}} = \sqrt{\frac{3{,}25}{8*3}} = 0{,}37$$

После этого определяли табличное значение $t_{\text{кр}}$ из таблиц Стьюдента, $t_{\text{кр}} = 2{,}12$.

$$t_{\text{кр}} * S_{\text{коэф}} = 2{,}12 * 0{,}37 = 0{,}78$$

Анализ значимости коэффициентов $|b_i| \leq t_{\text{кр}} * S_{\text{коэф}}$ показал, что степень влияния парного взаимодействия x_1x_3 и одновременное взаимодействие всех трех факторов $x_1x_2x_3$ можно считать статистически незначимыми, поэтому их можно исключить из уравнения.

Таким образом, уравнение регрессии (3.2) можно представить в следующем виде:

$$y = 41{,}7 - 2{,}1 \cdot x_1 + 3{,}3 \cdot x_2 + 0{,}9 \cdot x_3 - 1{,}1 \cdot x_1 \cdot x_2 + 0{,}9 \cdot x_2 \cdot x_3 \qquad (3.9)$$

Полученное уравнение было проверено на адекватность по критерию Фишера. Были вычислены расчетные значения отклика (ỹ) по полученному уравнению (таблица 3.21).

Таблица 3.21. Расчетные значения отклика

$\tilde{y}_1$	$\tilde{y}_2$	$\tilde{y}_3$	$\tilde{y}_4$	$\tilde{y}_5$	$\tilde{y}_6$	$\tilde{y}_7$	$\tilde{y}_8$
39,4	37,4	46,4	40,0	39,3	37,3	50,0	43,6

Дисперсию адекватности модели проверяли по формуле:

$$S^2_{\text{ад}} = m \sum \frac{(y_{\text{ср}i} - \tilde{y}_i)^2}{(n-p)}, \qquad (3.10)$$

где p – число значимых коэффициентов регрессии оцениваемой модели, p = 6.

$$S^2_{\text{ад}} = 5{,}25,$$

$$F_{\text{расч}} = \frac{S^2_{\text{ад}}}{S^2\{y\}}, \qquad (3.11)$$

$F_{\text{расч}} = 1{,}62$. Табличное значение критерия $F_{\text{табл}}$ находим из таблиц критических точек распределения Фишера при α=0,05 по соответствующим степеням свободы $f_1 = n - p = 8 - 6 = 2$ и $f_2 = n\cdot(m-1) = 8 \cdot 2 = 16$, $F_{\text{табл}} = 3{,}63$.

Так как $F_{\text{расч}} < F_{\text{табл}}$, то уравнение регрессии (3.9) адекватно, что позволяет провести анализ полученной модели. Из уравнения видно, что наибольшее влияние на средний размер кристаллов льда оказывает фактор x_2 – «колебания температуры, циклы», второе место по значимости имеет фактор x_1 – «содержание композиции сахаров и ПВ, %».

Анализ позволил уравнение регрессии (3.9) представить в натуральных переменных, вместо x_i были приведены их кодированные выражения (3.1):

$$y = 41{,}7 - 2{,}1 \cdot (0{,}11\omega - 1) + 3{,}3 \cdot (0{,}67z - 1) + 0{,}9 \cdot (0{,}03\tau - 1{,}3) - 1{,}1 \cdot (0{,}11\omega - 1) \cdot (0{,}67z - 1) + 0{,}9 \cdot (0{,}67z - 1) \cdot (0{,}03\tau - 1{,}3) \qquad (3.12)$$

Таким образом, путем преобразований была получена математическая модель, характеризующая размер кристаллов льда с учетом количества композиции сахаров и ПВ, циклов колебаний температуры и продолжительности хранения после колебаний температуры:

$$y = 39{,}4 - 0{,}11 \cdot \omega + 2{,}2 \cdot z - 0{,}1 \cdot \omega \cdot z + 0{,}02 \cdot z \cdot \tau \qquad (3.13)$$

На основании максимальных значений каждого фактора для описания поведения системы были построены графики зависимости отклика (дисперсности кристаллов льда) от двух факторов (рисунки 3.25 – 3.27).

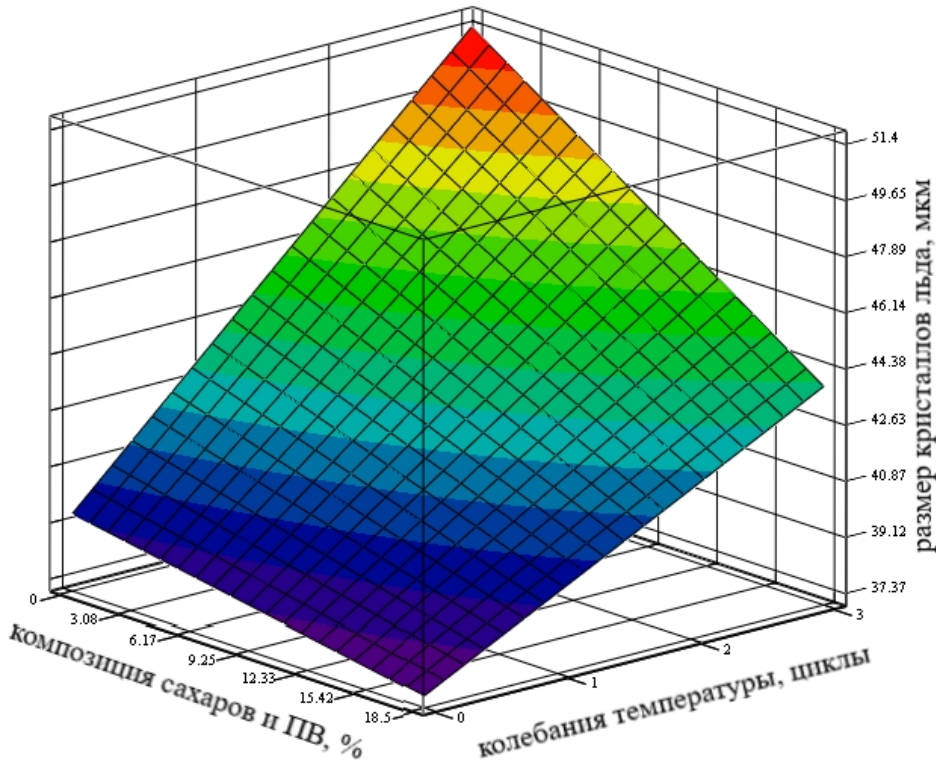


Рисунок 3.25. – Зависимость размера кристаллов льда от содержания композиции сахаров и ПВ и количества циклов колебаний температуры, τ = 90 дн

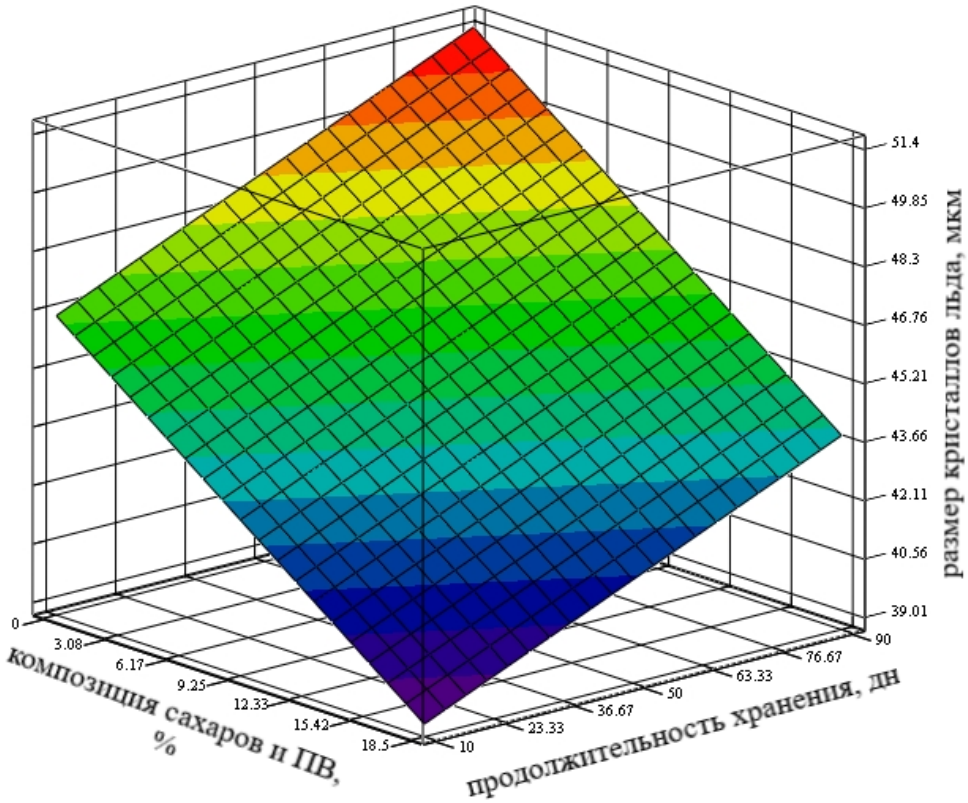


Рисунок 3.26. – Зависимость размера кристаллов льда от содержания композиции сахаров и ПВ и продолжительности хранения, z = 3 цикла

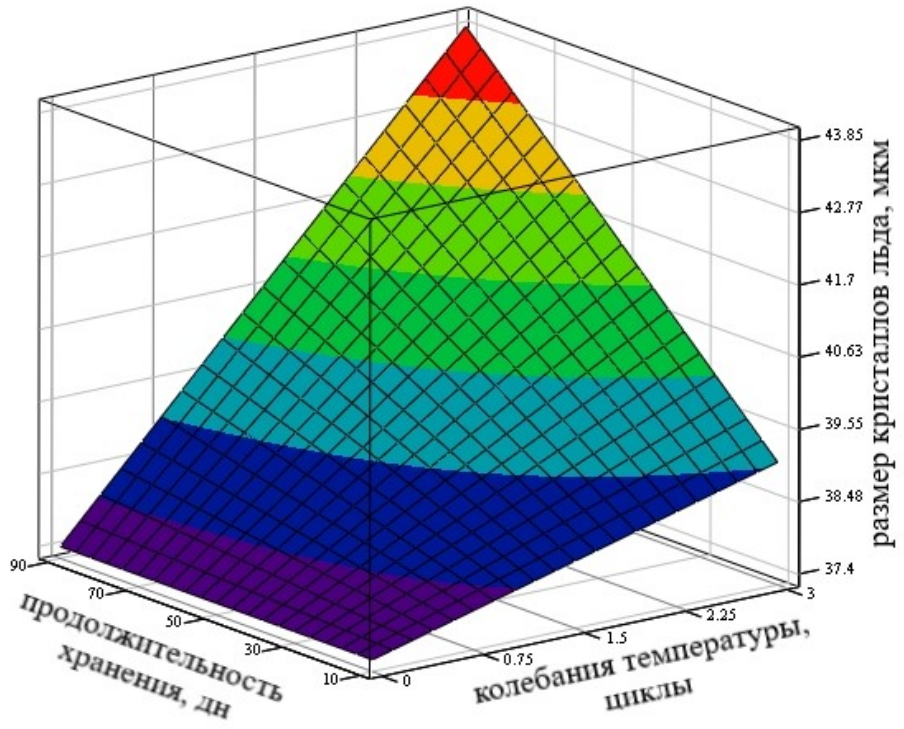


Рисунок 3.27. – Зависимость размера кристаллов льда от количества циклов колебаний температуры и продолжительности хранения, ω = 18,5%

По приведенным графикам можно судить, что внесение композиции сахаров (фруктозы и трегалозы) и ПВ снижает размер кристаллов льда. Увеличение продолжительности хранения мороженого после цикла колебаний температуры вызывает рост кристаллов льда.

Таким образом, внесение композиции сахаров (фруктозы и трегалозы) и ПВ оказывает положительное влияние на дисперсность кристаллов льда. Кроме того, следует избегать колебаний температуры, которые приводят к росту кристаллов.

3.3.2 Изучение воздействия цикличных колебаний на показатели качества мороженого

Как было отмечено ранее, одним из основных видов порчи мороженого с низкой массовой долей жира являются происходящие в процессе хранения физические изменения – снижение дисперсности кристаллов льда и воздушных пузырьков. Изменение состава сахаров в мороженом также может оказывать влияние на изменение показателей качества в процессе хранения после температурного шока. В связи с этим в лабораторных условиях исследовано влияние колебаний температуры на изменение структуры и показателей качества в мороженом с низкой массовой долей жира. Характеристика исследуемых образцов 10К, 12, 13 представлена в таблице 3.12, в разделе 3.2.4.

Диапазон колебаний температуры минус 18 °С - минус 12 °С - минус 18 °С выбран исходя из возможности их достижения в реальных условиях реализации продукции. Количество колебаний моделирует этапы перемещения мороженого со склада производителя до потребителя.

Исследования проводили в камере с автоматизированным управлением циклами колебаний (рисунок 3.28).

Рисунок 3.28. - Внешний вид камеры Feutron KPK 600

После закаливания образцы мороженого подвергли колебаниям температуры. Сначала образцы закладывали в камеру при температуре минус (18±1) °С на 5 ч, в течение 3 ч температуру в образцах повышали до минус (12±1) °С, выдерживали при этой температуре 9 ч. Затем в течение 3 ч температуру в продукте понижали до минус (18±1) °С и выдерживали её на этом уровне 9 ч. Далее часть образцов отбирали из камеры и помещали в морозильную камеру с температурой (18±1) °С на хранение и исследования. Оставшиеся в камере образцы подвергали такому же циклу колебаний температуры еще 1 или 2 раза. Фиксирование температуры на полках камеры и внутри порции мороженого проводили с помощью температурных датчиков каждые 30 с (рисунки 3.29 и 3.30). В качестве контрольных образцов использовали мороженое, не подвергнутое температурному шоку.

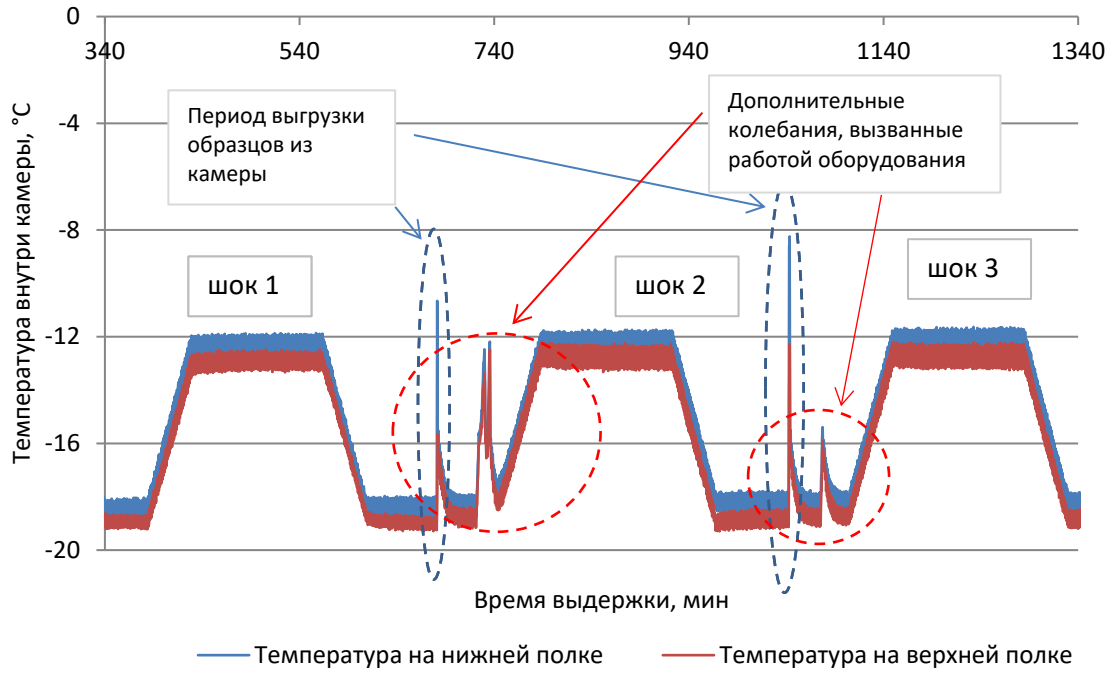


Рисунок 3.29 - Температура на полках холодильной камеры на протяжении циклов колебаний температуры

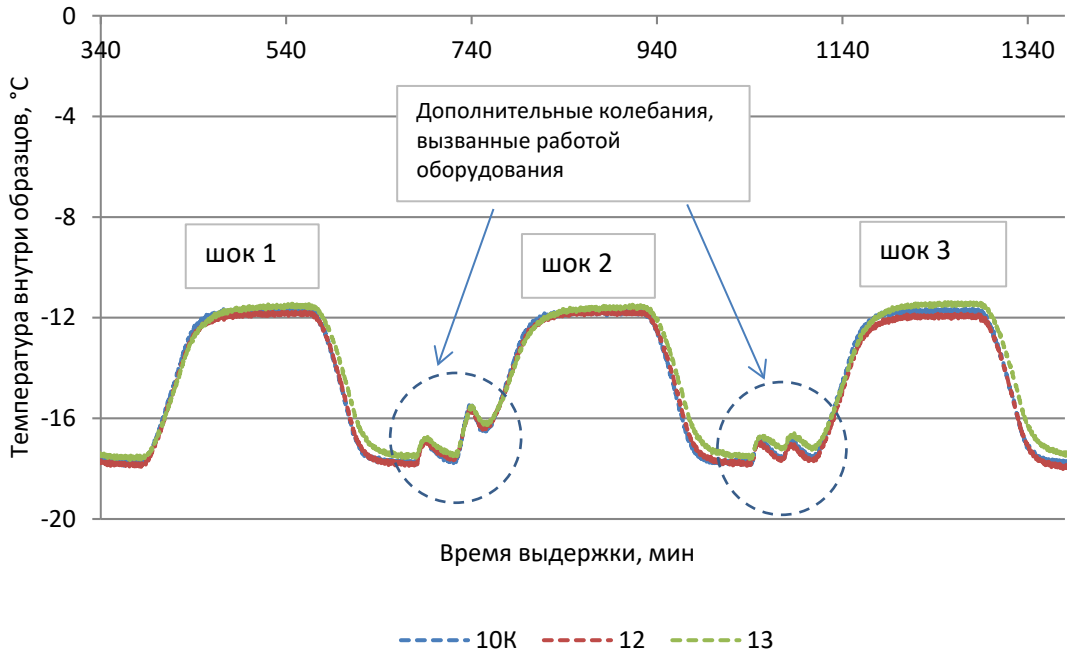


Рисунок 3.30 - Температура внутри образцов во время циклов колебаний температуры

Были изучены свойства образцов мороженого с низкой массовой долей жира с полной заменой сахарозы после 1-3 циклов колебаний температуры на протяжении хранения в течение 3 месяцев. Данные исследования в мороженом с массовой долей жира 3 % были проведены впервые. Количество колебаний моделирует этапы перемещения мороженого со склада производителя до потребителя. В мороженом с низким содержанием жира на долю воды приходится 68 – 70 % в зависимости от химического состава, поэтому в данной разновидности продукта колебания температуры могут оказывать существенное влияние на дисперсность кристаллов льда. Изменение состава сахаров в мороженом также может оказывать влияние на качественные показатели в процессе хранения после температурного шока.

Было определено влияние колебаний температуры на скорость таяния и формоустойчивость мороженого (рисунки 3.31 и 3.32).

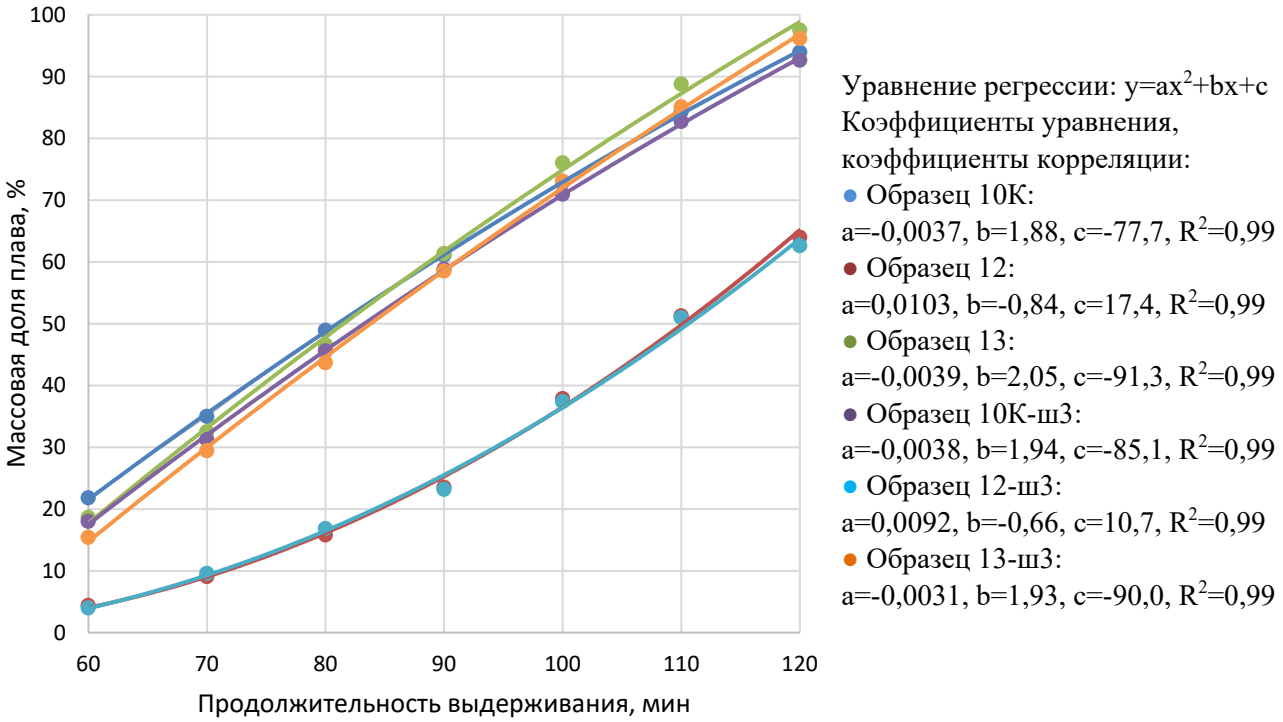
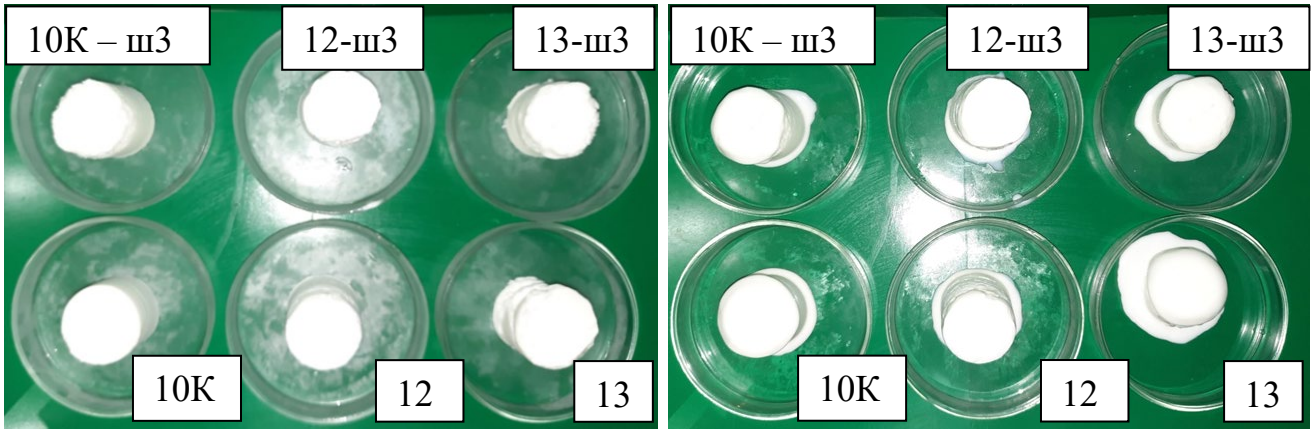
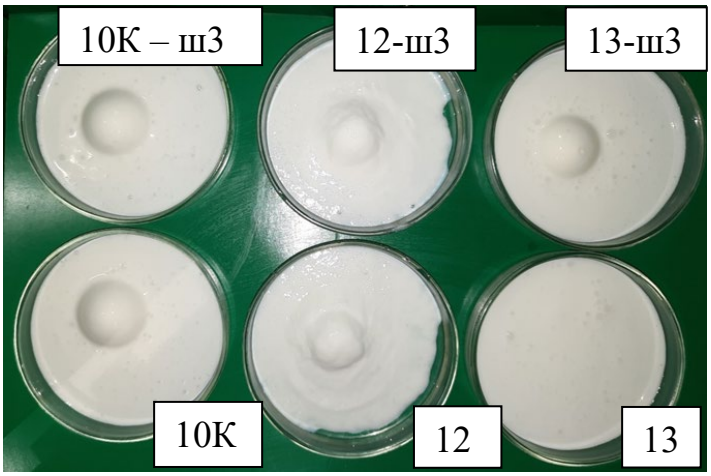


Рисунок 3.31 - Зависимость массовой доли плава молочного мороженого от продолжительности выдерживания



А Б



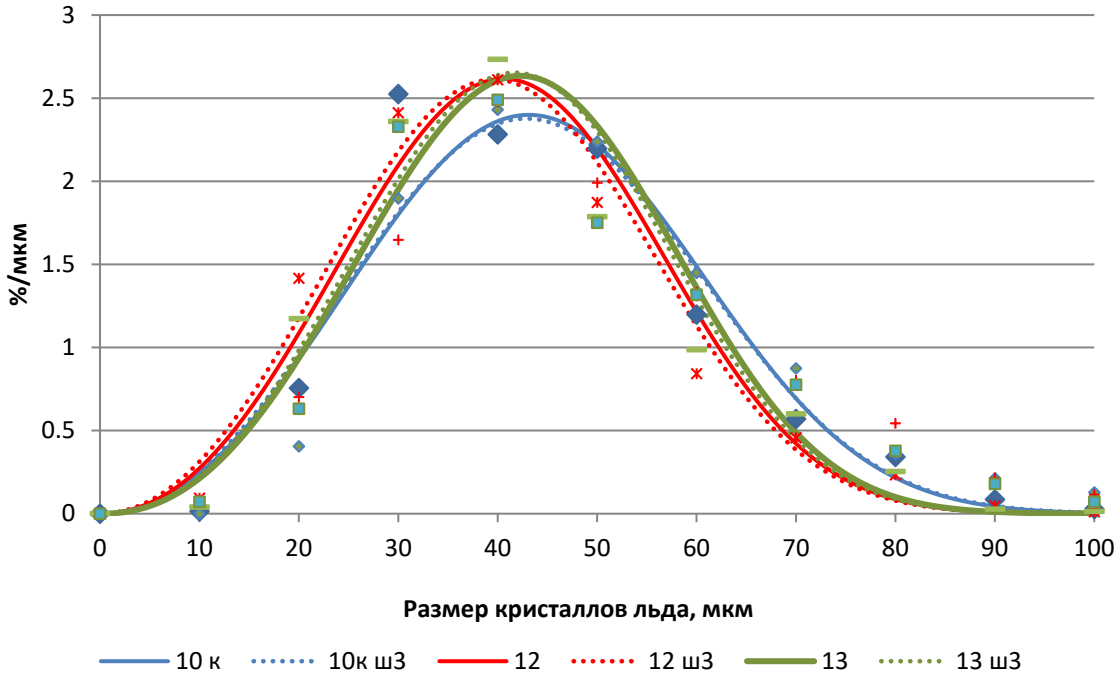
В

Рисунок 3.32. – Состояние порций молочного мороженого при выдерживании в термостате

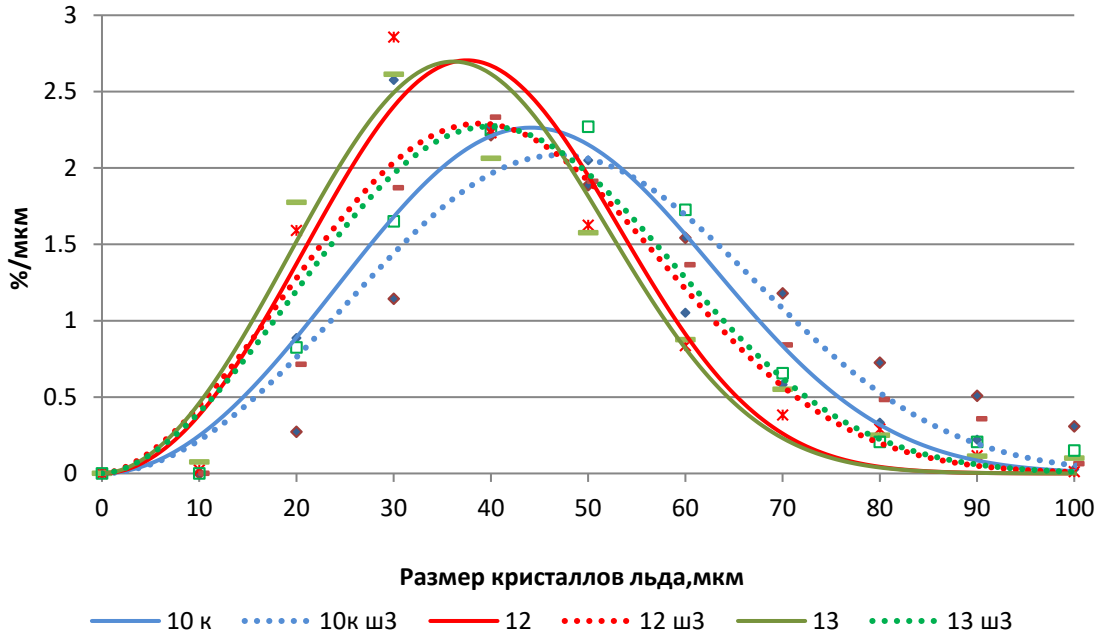
Таким образом, можно сделать вывод, что применение эфиров полиглицерина и жирных кислот в составе эмульгаторов (образец №12) положительно сказывается на показателях формо- и термоустойчивости. В образце №10К через 60 мин образуется 20% плава, в образце №12 – 4% и в образце №13 – 18%. Это также доказывает то, что само по себе внесение композиции фруктозы и трегалозы не оказывает влияние на показатели формо- и термоустойчивости, поскольку в контрольном и опытном образце №13 применялся одинаковый комплексный стабилизатор – Cremodan 334.

После 3 циклов температурных колебаний термоустойчивость данных образцов через такой же интервал времени меняется. В образцах № 10К и №13 образуется на 17% плава меньше, а в образце №12 – на 9%. Вероятно, это происходит потому, что кристаллы льда после отепления и повторного замораживания изменяют свою геометрическую форму (делаются более округлыми), что делает их устойчивее к температурным воздействиям.

На рисунке 3.33 представлены кривые распределения кристаллов льда после закаливания и 3 циклов колебаний температуры через 10 и 90 дней хранения.



через 10 дней



через 90 дней

Рисунок 3.33. – Кривые распределение кристаллов льда по размерам

Данные рисунка 3.33 отражают, что без длительного хранения дисперсность кристаллов льда в образцах сразу после колебаний температуры заметно не сказывается на размере кристаллов льда в рамках отдельно взятого образца. Однако, через 90 дней хранения после колебаний температуры различия в

размерах кристаллов льда становятся существенными. Есть также различия в дисперсности кристаллов льда и между образцами №12 и №13 и контрольным образцом есть.

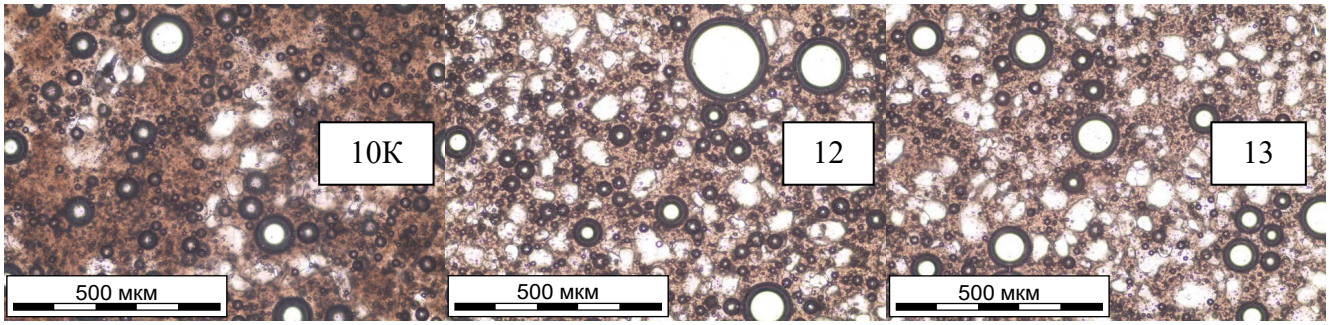
Через 90 дней хранения в контрольном образце (№ 10К) отмечены статистические различия между образцами без температурного шока и после первого колебания (P<0,05). Статистических различий в образце после 1, 2 и 3 колебаний отмечено не было (P>0,05), таким образом можно сделать вывод, что наибольшее влияние на структуру мороженого с сахарозой оказывает уже первое колебание.

Однако, в образцах №12 и №13 (с применением фруктозы, трегалозы и пищевых волокон) через 90 дней хранения не было разницы в размерах кристаллов льда между образцами без теплового шока и после 1 и 2 колебаний температуры (P>0.05). Различия в размерах кристаллов льда стали очевидны после 3 колебаний температуры (P<0,05). Причем стоит отметить, что в образцах №12 и №13 при использовании разных стабилизационных систем отличий в размерах кристаллов льда не было выявлено (P>0,05).

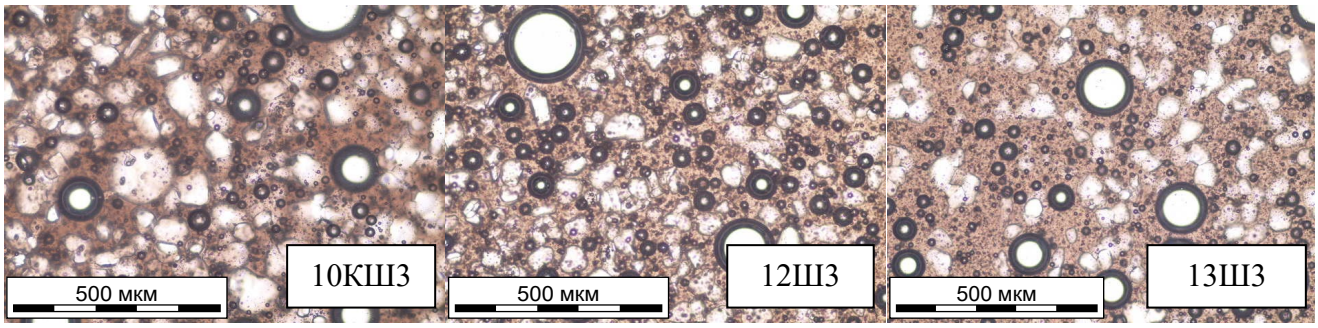
Таким образом, синергизм криопротекторных свойств фруктозы, трегалозы и пищевых волокон подтвердился и при воздействии колебаний температуры.

На долю кристаллов льда размером до 50 мкм через 3 месяца хранения в образцах 12Ш3 и 13Ш3 приходилось 68% и 70% кристаллов льда соответственно, в контрольном образце 10КШ3 доля таких кристаллов составляла 54%.

Микрофотографии кристаллов льда в образцах через 3 месяца хранения без колебаний температуры и после трех их циклов представлены на рисунке 3.34.



без колебаний температуры



после 3 циклов колебаний температуры

Рисунок 3.34. – Микрофотографии кристаллов льда в мороженом через 3 месяца хранения образцов

Результаты дегустационной оценки по показателю «структура и консистенция» представлены на рисунке 3.35. По показателям «вкус и аромат», «цвет и внешний вид» различий между образцами не было установлено.

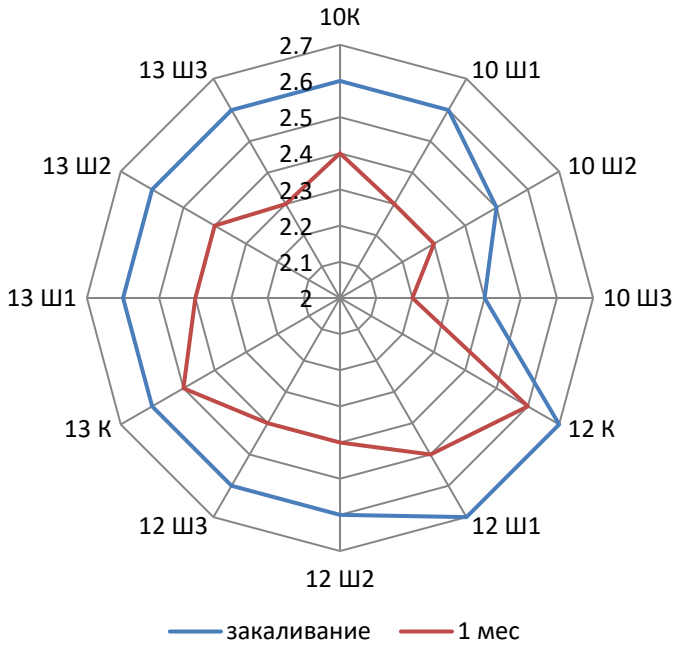


Рисунок 3.35. Профилограмма показателей «структура и консистенция» в образцах мороженого после колебаний температуры

В контрольном образце (№ 10 К) отмечены более крупные кристаллы льда, по сравнению с образцами №12 и №13 с фруктозой, трегалозой и пищевыми волокнами. В структуре этих образцов кристаллы льда органолептически не ощущались, что может быть обосновано образованием в процессе фризерования

большего количество центров кристаллизации и отсутствием выраженного увеличения размеров кристаллов льда в процессе хранения.

Анализ дисперсности воздушной фазы через 3 месяца хранения образцов показал, что на долю воздушных пузырьков размером до 50 мкм в образцах без колебаний (контрольные образцы) № 10К и № 12 приходилось 86%, в образце № 13 – 84%.

После трех циклов колебаний температуры доля пузырьков размером до 50 мкм снизилась в образце 10Ш3 на 10%, в образцах 12Ш3 и 13Ш3 на 1 и 2% соответственно. Это может быть связано с тем, что в контрольном образце изначально образовались более мелкие воздушные пузырьки, которые менее стабильны.

Выводы по разделу 3.3:

– Наиболее существенное влияние на размер кристаллов льда оказывает количество циклов колебаний температуры. Внесение фруктозы и трегалозы оказывает положительное влияние на данный показатель.

– Мороженое с фруктозой, трегалозой и пищевыми волокнами способно выдерживать два цикла температурных шоков со значительным сохранением исходной дисперсности кристаллов льда, что свидетельствует о проявлении синергизма криопротекторных свойств этих веществ.

– Использование в составе комплексной стабилизационной системы эфиров полиглицерина и жирных кислот способствовало достижению более высокой формо- и термоустойчивости, по сравнению с широко применяемой системой Cremodan 334.

3.4 Определение возможности производства мороженого с фруктозой и трегалозой с массовой долей жира не выше 1%

Как это показано в разделе 3.2, показатели мороженого с массовой долей жира 3 % с использованием фруктозы, трегалозы и пищевых волокон характеризуются высоким уровнем качества. В связи с этим интерес представляют исследования по установлению возможности производства продукта с более низкой массовой долей жира (1%) и без жира (таблица 3.22). Для восполнения сухих веществ в мороженом использовали КСБ в количестве 2 %.

Таблица 3.22. Характеристика образцов мороженого

Характеристика мороженого	Образцы	
	15	**16**
Общее содержание сухих веществ, %, не менее	32,0	32,0
Молочного жира, %, не менее	1,0	-
СОМО, %, не менее	10,0	10,0
КСБ, %, не менее	2,0	2,0
Фруктозы, %, не менее	7,0	7,0
Трегалозы, %, не менее	7,5	7,5
Инулина, %, не менее	4,0	4,0
Мальтодекстрина, %, не менее	-	1,0
Стабилизатора-эмульгатора, %, не менее	0,66	0,66
Эффективная динамическая вязкость, мПа·с	223±9,3	221±9,2
Расчетная криоскопическая температура, °С	- 2,65	-2,65
Температура выгрузки из фризера, °С	- 6,0	- 6,1
Взбитость, %	60	66
Количество образовавшегося плава, %, через 60 мин через 90 мин через 120 мин	 16,1 56,0 95,8	 42,4 90,0 98,9

Окончание таблицы 3.22

Гликемический индекс	38	40
Пищевая ценность на 100 г продукта		
Белка, г	5,4	5,4
Жира, г в т.ч молочного жира, г	1,4 1,0	0,4 0,0
Углеводов, г	13,9	14,9
Энергетическая ценность на 100 г, ккал/кДж	97/411	92/391

Внесение в мороженое концентрата сывороточных белков позволило довести содержание сухих веществ молока в образце №15 до уровня 40 % и в образце №16 – 37 %, что позволяет маркировать образец №15 молочным мороженым, а образец №16 молокосодержащим.

Кроме того, расчет пищевой ценности (таблица 3.22) показал, что внесение концентрата сывороточных белков в количестве 2% дает возможность указывать на упаковке продукта дополнительную пищевую ценность - «высокое содержание белка» (белок обеспечивает не менее 20% энергетической ценности). Кроме того, калорийность 100 г такого мороженого составляет менее 99 ккал.

Таким образом, представленные образцы мороженого без сахарозы имеют следующие отличительные признаки, которые можно указывать при маркировке:

- низкокалорийный продукт;
- низкое содержание жира;
- высокое содержание белка;
- источник пищевых волокон.

Помимо этого, данные образцы мороженого можно относить к категории продуктов с низким гликемическим индексом.

Значения динамической вязкости, указанные в таблице 3.22, как правило, характерны для смесей с массовой долей жира 6-8 %, а в исследуемых образцах

содержание жира не превышает 1%. Полученные результаты взбитости характеризуют высокую способность смесей к насыщению воздухом.

Низкое содержание жира или его отсутствие отрицательно сказалось на термоустойчивости образцов (рисунок 3.36).

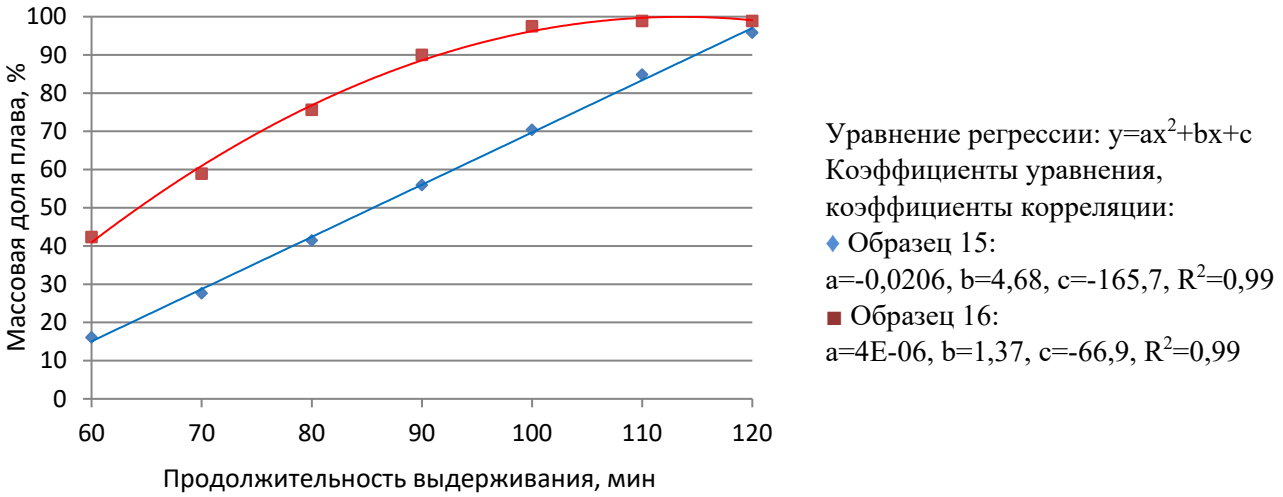


Рисунок 3.36. – Зависимость массовой доли плава от продолжительности выдерживания в образцах

Данные по термоустойчивости (рисунок 3.36) показывают то, что мороженое без жира и с содержанием жира на уровне 1% быстро тает. В образце №16 количество образовавшегося плава через 60 мин с начала термостатирования в 2,6 раза больше по сравнению с образцом №15. В связи со сниженной термоустойчивостью для фасования данной разновидности мороженого следует рекомендовать упаковку с жесткой поверхностью – стаканчики и коробочки из полимерных материалов или картона.

Средний размер кристаллов льда на протяжении всего периода хранения мороженого (12 мес.) почти в 2 раза был ниже 50 мкм - размера, характеризующего порог органолептической ощутимости (таблица 3.23).

Таблица 3.23. Средний размер кристаллов льда

Образцы	Закаливание	1 мес.	4 мес.	1 год
15	23,7±0,62	27,2±0,82	27,1±0,72	27,2±0,62
16	24,0±0,57	23,3±0,82	27,4±0,65	28,6±0,63

На протяжении всего периода хранения наблюдалась высокая дисперсность кристаллов льда: на долю кристаллов размером до 50 мкм приходилось (96±1) % в образце №15 и в образце №16 – (95 ± 1) % в течение первого месяца хранения и снизилось в процессе хранения лишь незначительно (до уровня 93 %).

Дисперсность воздушных пузырьков, определяемая по их доле размером до 50 мкм, представлена на диаграмме (рисунок 3.37).

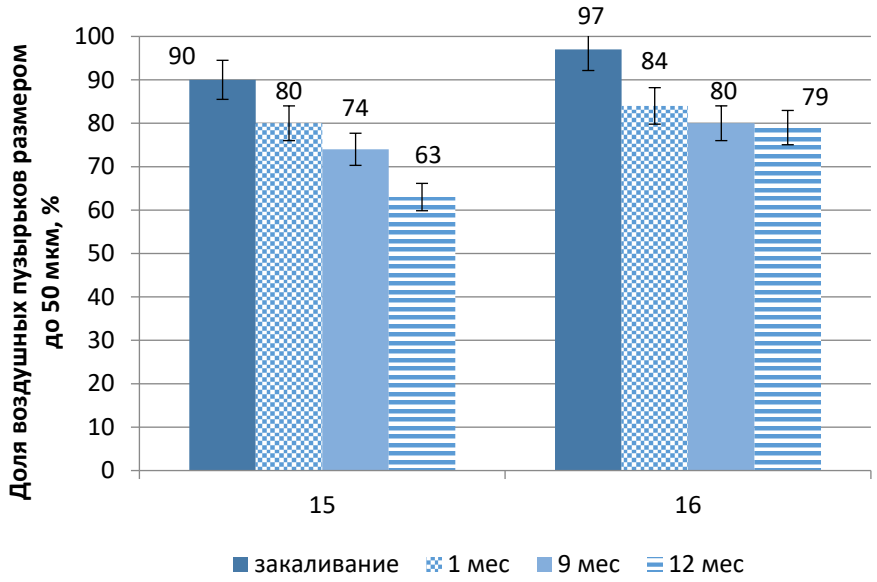


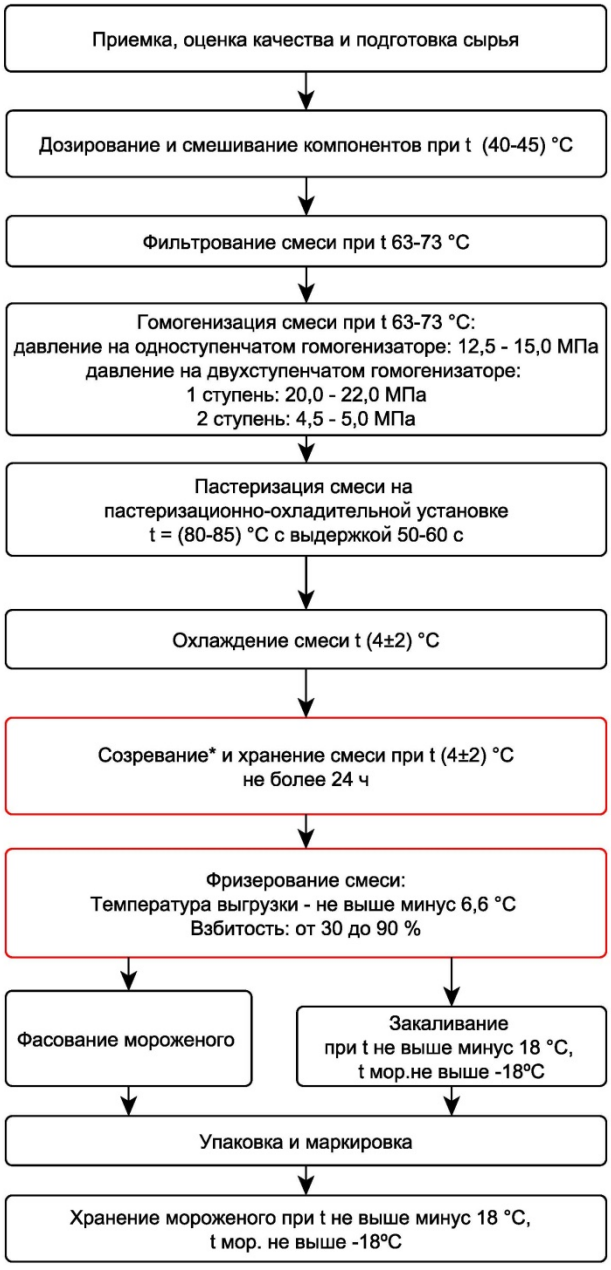
Рисунок 3.37. - Дисперсность воздушной фазы в образцах

Более высокую дисперсность воздушной фазы в образце №16 можно объяснить внесением в продукт мальтодекстрина в количестве 1%, поскольку ранее было отмечено, что он способствует формированию при фризеровании мелких воздушных пузырьков [129]. Кроме того, в данном образце, взбитость была выше, что также могло сказаться на формировании воздушной фазы.

Выводы по разделу 3.4: В результате исследований разработан композиционный состав мороженого без сахарозы с массовой долей молочного жира не более 1%. Предложенные технологические решения позволили создать продукт функциональной направленности с высокой дисперсностью структурных элементов. О полезных свойствах мороженого на упаковке можно указывать информацию, что это низкокалорийный продукт, без сахарозы, с низким содержанием жира, с высоким содержанием белка, является источником пищевых волокон.

3.5 Разработка технологии молочного мороженого с фруктозой и трегалозой и расчёт себестоимости продукции

На основании проведенных исследований разработаны технологическая схема и обозначены режимы производства мороженого с фруктозой и трегалозой, определенные в разделе 3.2 (рисунок 3.38).



* - созревание смеси не является обязательной стадией технологического процесса

Рисунок 3.38. - Технологическая схема производства молочного мороженого с фруктозой и трегалозой

Внедрение молочного мороженого с фруктозой и трегалозой на предприятиях отрасли не потребует затрат на приобретение нового оборудования, поскольку данный вид продукции может быть выработан на действующем оборудовании предприятий.

Полная себестоимость единицы продукции, вырабатываемая на предприятии, может быть рассчитана по формуле 3.13:

$$Z_i = \frac{S_i}{q_i}, \quad (3.13)$$

где Z_i – себестоимость единицы продукции;

S_i – сумма затрат на производство и реализацию данной продукции;

q_i – количество произведенной продукции.

$$S_i = \text{ПЗ} + \text{КЗ}, \quad (3.14)$$

где ПЗ – прямые затраты, включающие в себя все затраты на сырьё для выпуска мороженого;

КЗ – косвенные затраты, включающие в себя оплату помещения и/или коммунальных услуг, фиксированную зарплату сотрудников производства, прочие хозяйственные расходы.

Учитывая, что затраты на производство молочного мороженого традиционного состава и с фруктозой и трегалозой будут одинаковые, за исключением затрат на сырье, рассчитывали разницу именно по этому показателю. В таблице 3.24 представлены расчёты стоимости 1 т молочного мороженого с фруктозой и трегалозой с массовой долей жира 3%: с полидекстрозой (1) и инулином (2) и традиционного молочного мороженого (3).

Таблица 3.24. Расчет затрат сырья на 1 т продукции

Наименование сырья	Норма кг на 1000 кг			Цена за 1 кг, руб.	Сумма, руб.		
	1	2	3		1	2	3
Масло сливочное (жира 72,5%; СОМО 2,5 %)	41,4	41,4	41,4	370	15318,0	15318,0	15318,0
Молоко коровье обезжиренное сухое (СОМО 95%)	114,7	114,7	114,7	240	27528,0	27528,0	27528,0
Сахароза	-	-	15,5	36	-	-	558,0
Трегалоза	79,0	79,0	-	234*	18486,0	18486,0	-
Фруктоза	84,3	84,3	-	73	6153,9	6153,9	-
Полидекстроза	31,6	-	-	212*	6699,2	-	-
Инулин	-	31,6	-	323	-	10206,8	-
КСЭ	6,5	6,5	6,5	350	2275,0	2275,0	2275,0
Итого:					76460,1	79967,7	45679,0

*- цены предоставлены ООО «ТоргСнаб»

Как следует из данных таблицы 3.24, затраты на сырье в производстве молочного мороженого с фруктозой и трегалозой значительно выше, чем в производстве традиционного молочного мороженого.

Затраты на сырье 1 порции мороженого массой 70 г составят при использовании полидекстрозы 5 р 35 коп, инулина – 5 р 60 коп., традиционного молочного мороженого – 3 р 20 коп.

Выводы по разделу 3.5: Использование фруктозы, трегалозы, полидекстрозы или пищевых волокон (инулина) приведёт к удорожанию продукции, по сравнению с традиционным молочным мороженым той же массовой доли жира на 2 р 15 коп и 2 р 40 коп. Однако стоит отметить, что получаемый продукт относится к продукции функциональной направленности, реализуемой, как правило, по более высоким ценам.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Анализ научной и специализированной технической литературы показал, что основными компонентами для замены сахарозы в мороженом являются полиолы, пищевые волокна и интенсивные подсластители, способствующие формированию излишне плотной консистенции, органолептически ощутимых кристаллов льда и нетрадиционного профиля сладости. На основании анализа определена перспектива использования фруктозы и трегалозы для замены сахарозы по сладости и сухому веществу.

2. Экспериментально обоснован композиционный состав стабилизационной системы для мороженого с низкой массовой долей жира, базирующийся на синергетическом взаимодействии гидроколлоидов и эмульгаторов, при массовой доле:

– не менее 30 % гидроколлоидов с доминирующим содержанием камеди рожкового дерева (47 % от общего содержания стабилизаторов), инициирующих нуклеацию с образованием мелких кристаллов льда;

– не более 70 % эмульгаторов - композиции дистиллированных моноглицеридов и эфиров полиглицерина и жирных кислот с положительным влиянием на дисперсность воздушной фазы и стабильность структурных элементов.

3. Теоретически обоснована и экспериментально подтверждена целесообразность применения отдельно или в композиции инулина и полидекстрозы для восполнения сухих веществ в молочном мороженом до уровня не менее 32%, обеспечивающего формирование органолептически неощутимых кристаллов льда, и достижения эффекта сенсорного ощущения жира, при их массовой доле в продукте не более 3 %.

4. Разработана композиция фруктозы (8%), трегалозы (7,5%) и пищевых волокон (3%), обладающая криопротекторными свойствами и обеспечивающая высокие органолептические показатели продукта, снижение гликемического

индекса на 27%, формирование кристаллов льда размером 20-30 мкм при пороге органолептической ощутимости 50 мкм.

5. Доказана возможность сохранения высокой дисперсности кристаллов льда в мороженом с фруктозой и трегалозой при колебаниях температуры - в диапазоне двукратных цикличных колебаний температуры минус 18°С - минус 12°С - минус 18°С - доля кристаллов льда размером до 50 мкм через 3 месяца хранения в образцах с фруктозой и трегалозой составляла 68% и 70%, в образце с сахарозой - 54%.

6. Обоснованы стадии и параметры процесса производства мороженого. В связи с отсутствием заметных физических изменений в жировой фазе продукта, определяемых по показателю «увеличение динамической вязкости смеси после созревания», установлено, что созревание не является обязательной стадией технологического процесса. Обоснована рекомендуемая температура выгрузки мороженого из фризера (не выше минус 6,6 °С) с обеспечением доли вымороженной воды в условиях интенсивного отвода теплоты – около 50%.

7. Разработаны технические требования к молочному мороженому и технология его производства, изложенные в технической документации (ТУ и ТИ ТУ). Новизна технических решений отражена в заявке на патент № 2020134223 «Мороженое без сахарозы с низким содержанием жира».

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

КМЦ – карбоксиметилцеллюлоза;

КРГ – каррагинан;

КТ – камедь тары;

КРД – камедь рожкового дерева;

МГД – моноглицериды дистиллированные;

ДЭ – декстрозный эквивалент;

$L_{ср}$, L_m и $L_{мед}$ – среднее, модальное и медианное значения линейных размеров кристаллов льда;

$D_{ср}$, D_m и $D_{мед}$ – среднее, модальное и медианное значения диаметров воздушных пузырьков;

ГИ – гликемический индекс;

ПВ – пищевые волокна;

Ш1, Ш2 и Ш3 – 1, 2 или 3 цикла колебаний температуры.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Улумбекова, Г. Э. Здоровье населения в Российской Федерации: факторы риска и роль здорового питания / Г.Э. Улумбекова // Вопросы питания. - 2010. - Т. 79. - №2. - С. 33 – 38.

2. Исаева, А. П. Свободные жирные кислоты и ожирение: состояние проблемы / А.П. Исаева, К.М. Гаппарова, Ю.Г. Чехонина, И.А. Лапик // Вопросы питания. - 2018. - Т.87. - №1. - С. 18 – 27.

3. Hruby, A. The epidemiology of obesity: a big picture / A. Hruby, F.B. Hu // Pharmaeconomics. - 2015. - Vol. 33. - №7. - P. 673 – 689.

4. Khan, S. Sucralose and maltodextrin - An altrernative to low fat sugar free ice-cream / S. Khan, S. Rustagi, S. Choudhary, A. Pandey, M.K. Khan, A. Kumari, A. Singh // Bioscience Biotechnology Research. – 2018.

5. McCain, H. R. Invited review: Sugar reduction in dairy products / H.R. McCain, S. Kaliappan, M.A. Drake // Journal of Dairy Science. – 2018. - 101(10). – P. 8619-8640.

6. Стратегия повышения качества пищевой продукции в Российской Федерации до 2030 года. Утв. Распоряжение Правительства 29 июня 2016 г. №1364-р.

7. ТР ТС 022/2011. Пищевая продукция в части ее маркировки. Утвержден Решением комиссии Таможенного союза №881. – 09.12.2011. – 29 с.

8. ТР ТС 029/2012. Требования безопасности пищевых добавок, ароматизаторов и технологических вспомогательных средств. Утвержден Решением Совета Евразийской экономической комиссии N 58. 20.07.2012. – 308 с.

9. ТР ТС 033/2013. О безопасности молока и молочной продукции. Утвержден Решением Совета Евразийской экономической комиссии №67. 10.07.2020. – 107 с.

10. Regulation (EU) No 1169/2011 of the European Parliament and of the Council of 25 October 2011 on the provision of food information to consumers. - URL: https://eur-

lex.europa.eu/legal-content/EN/ALL/?uri=CELEX%3A32011R1169 (Дата обращения 04.05.2021)

11. Технический регламент Таможенного союза ТР ТС 021/2011 «О безопасности пищевой продукции». Утвержден решением Комиссии Таможенного союза от 9 декабря 2011 г. № 880.

12. Regulation (EC) No 1333/2008 of the European Parliament and of the Council of 16 December 2008 on food additives. - URL: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=celex%3A32008R1333 (Дата обращения 04.05.2021).

13. Ландиховская, А.В. Нутриентный состав мороженого и замороженных десертов: современные направления исследований / А. В. Ландиховская, А.А Творогова // Пищевые системы. 2021. – Т. 4. - №2. - с. 74-81.

14. Департамент здравоохранения и социальных служб США (FDA) : официальный сайт. – США, 2019. – URL: https://www.fda.gov/default.htm (дата обращения: 10.01.2019).

15. Devaraj, S. High-Protein Frozen Desserts / S. Devaraj // Journal of Renal Nutrition. – 2015. – 25(4). – P. e23 – e29.

16. Domínguez Díaz, L. An international regulatory review of food health-related claims in functional food products labeling / L. Domínguez Díaz, V. Fernández-Ruiz, M. Cámara // Journal of Functional Foods. - 2020. – 68. – P. 103896.

17. Strategic plan 2016-2020 – Health and Food Safety – URL: https://ec.europa.eu/info/publications/strategic-plan-2016-2020-health-and-food-safety_en (дата обращения 10.01.2019)

18. Ипатова, Л. Г. Жировые продукты для здорового питания. Современный взгляд / Л.Г. Ипатова, А.А. Кочеткова, А.П. Нечаев, В.А. Тутельян – М.: ДеЛи принт, 2009. – 396 с.

19. ГОСТ 31457-2012 Мороженое молочное, сливочное и пломбир. Технические условия. М.: Стандартинформ, 2014. - 27 с.

20. Информационно-аналитическая система. База данных "Химический состав пищевых продуктов, используемых в Российской Федерации" // ФГБУН «ФИЦ

питания и биотехнологии»: [сайт]. - 2018. - URL: http://web.ion.ru/food/FD_tree_grid.aspx (дата обращения 06.11.2018).

21. Goff, H. D. Ice Cream and Frozen Desserts / H.D. Goff // Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry. 2015. – P. 1–15.

22. Оленев, Ю. А. Справочник по производству мороженого / Ю.А. Оленев, А.А. Творогова, Н.В. Казакова, Л.Н. Соловьева – М.: ДеЛи принт, 2004. – 798 с.

23. Flores, A. A. Recrystallization in Ice Cream After Constant and Cycling Temperature Storage Conditions as Affected by Stabilizers / A.A. Flores, H.D. Goff // Journal of Dairy Science. - 1999. - 82(7). – P. 1408–1415.

24. Творогова, А. А. Мороженое в России и СССР: Теория. Практика. Развитие технологий / А.А. Творогова - СПБ.: ИД «Профессия», 2021. – 249 с.

25. Творогова, А.А. Научно-практические рекомендации по стабилизации структуры мороженого / А.А. Творогова – М., 2003. – 46 с.

26. Danesh, E. Short communication: Effect of whey protein addition and transglutaminase treatment on the physical and sensory properties of reduced-fat ice cream / E. Danesh, M. Goudarzi, H. Jooyandeh // Journal of Dairy Science. – 2017. - 100(7). – P. 5206–5211.

27. Rolon, M. L. Effect of fat content on the physical properties and consumer acceptability of vanilla ice cream / M.L. Rolon, A.J. Bakke, J.N. Coupland, J.E. Hayes, R.F. Roberts // Journal of Dairy Science. - 2017. - 100(7). – P. 5217–5227.

28. Razavi, S. M. A. Biopolymers for Fat-Replaced Food Design / S.M.A. Razavi, F Behrouzian // Biopolymers for Food Design. – 2018. – P. 65–94.

29. Chung, C. Physicochemical characteristics of mixed colloidal dispersions: models for foods containing fat and starch / C. Chung, B. Degner, D.J. McClements // Food Hydrocolloids. – 2013. – 30. – P. 281–291.

30. Шубина, О.Г. Полидекстроза – многофункциональный углевод для создания низкокалорийных и обогащенных продуктов / О.Г. Шубина // Пищевая промышленность. – 2005. - №5. – С. 28-31.

31. Underdown, J. Saturated fat reduction in ice cream / J. Underdown, P.J. Quail, K.W. Smith // Reducing Saturated Fats in Foods. - 2011. – P. 350–369.

32. Adapa, S. Rheological properties of ice cream mixes and frozen ice creams containing fat and fat replacers / S. Adapa, H. Dingeldein, K.A. Schmidt, T. J. Herald // Journal of Dairy Science. - 2000. - 83. - P. 2224-2229.

33. Структура и текстура пищевых продуктов. Продукты эмульсионной природы / Б. М. МакКенн (ред.); пер. с англ. под науч. ред. канд. техн. наук, доц. Ю. Г. Базарновой. – Спб.: Профессия, 2008. - 480 с.

34. Akbari, M. The effect of inulin on the physicochemical properties and sensory attributes of low-fat ice cream / M. Akbari, M.H. Eskandari, M. Niakosari, A. Bedeltavana // International Dairy Journal. - 2016. - 57. - P. 52–55.

35. Аймесон, А. Пищевые загустители, стабилизаторы, гелеобразователи / А. Аймесон (ред.-сост.). - Перев. с англ. д-ра хим. наук С. В. Макарова. – Спб.: ИД «Профессия», 2012. - 408 с.

36. Drabińska N. Inulin-Type Fructans Application in Gluten-Free Products: Functionality and Health Benefits / N. Drabińska, C.M. Rosell, U. Krupa-Kozak // In book: Bioactive Molecules in Food. - 2018. - P. 1 - 40.

37. SoГЛoulis, C. Innovative Ingredients and Emerging Technologies for Controlling Ice Recrystallization, Texture, and Structure Stability in Frozen Dairy Desserts: A Review / C. Soukoulis, I. Fisk // Critical Reviews in Food Science and Nutrition. – 2016. - 56:15. – P. 2543-2559

38. Сарафанова, Л.А. Современные пищевые ингредиенты / Л.А. Сарафанова. – СПб.: Профессия, 2009. – 208 с.

39. Шубина, О.Г. Полидекстроза – многофункциональный углевод для создания низкокалорийных и обогащенных продуктов / О.Г. Шубина // Пищевая промышленность. – 2005. - №5. – С. 28-31.

40. Loret, C. Rheological characterisation of the gelation behaviour of maltodextrin aqueous solutions / C. Loret, V. Meunier, W.J. Frith, P.J. Fryer, // Carbohydrate Polymers. 2004. - 57(2). – P. 153–163.

41. Dokic-Baucal, L. Influence of different maltodextrins on properties of O/W emulsions / L. Dokic-Baucal, P. Dokic, J. Jakovljevic // Food Hydrocolloids. 2004. - 18(2). – P. 233–239.

42. Ohmes, R. L. Sensory and physical properties of ice creams containing milk fat or fat replacers/ R.L. Ohmes, R.T. Marshall, H. Heymann // Journal of Dairy Science. 1998. – 81. – P. 1222–1228.

43. Prindiville, E. A. Effect of milk fat, cocoa butter, and whey protein fat replacers on the sensory properties of lowfat and nonfat chocolate ice cream / E.A. Prindiville, R.T. Marshal, H. Heymann // Journal of Dairy Science. – 2000. – 83. – P. 2216–2223.

44. Yilsay, T. Ö. The effect of using a whey protein fat replacer on textural and sensory characteristics of low-fat vanilla ice cream / T.Ö. Yilsay, L. Yilmaz, A.A. Bayizit // European Food Research and Technology. – 2006. - 222. – P. 171–175.

45. Akalin, A. S. Rheological properties of reduced-fat and low-fat ice cream containing whey protein isolate and inulin / A.S. Akalin, C. Karagözlü, G. Ünal // European Food Research and Technology .- 2008. – 227. – P. 889–895.

46. Ruger, P.R. Effect of double homogenization and whey protein concentrate on the texture of ice cream / P.R. Ruger, R.J. Baer, K.M. Kasperson // Journal of Dairy Science. - 2002. – 85. – P. 1684–1692.

47. Zayas, J. F. Functionality of Proteins in Food / J.F. Zayas. - Berlin, Germany: Springer-Verlag, 1997 – 373 p.

48. Muse, M. R. Ice cream structural elements that affect melting rate and hardness / M.R. Muse, R.W. Hartel // Journal of Dairy Science. - 2004. – 87. – C. 1–10

49. Relkin, P. Factors affecting fat droplet aggregation in whipped frozen protein-stabilized emulsions/ P. Relkin, S. Sourdet // Food Hydrocolloids. – 2005. – 19. – P. 503–511.

50. Aime, D. B, Textural analysis of fat reduced vanilla ice cream product / D.B. Aime, S.D. Arntfield, L.J. Malcolmson, D. Ryland // Food research international. – 2001. - 34. P. 237-246.

51. Di Monaco, R. Strategies to reduce sugars in food / R. Di Monaco, N.A. Miele, E.K. Cabisidan, S. Cavella // Current Opinion in Food Science. – 2018. - 19. – P. 92-97.

52. Bowman, S. A. Added sugars: Definition and estimation in the USDA Food Patterns Equivalents Databases. / S.A. Bowman // Journal of Food Composition and Analysis. – 2017. – 64. – P. 64-67.

53. Deosarkar, S. S., Khedkar, C. D., Kalyankar, S. D., & Sarode, A. R. Ice Cream: Uses and Method of Manufacture / S.S. Deosarkar, C.D. Khedkar, S.D. Kalyankar, A.R. Sarode // Encyclopedia of Food and Health. – 2016. – P. 391–397.

54. Sinha, N. Handbook of Food Products Manufacturing / N. Sinha. - NJ: John Wiley and Sons, 2007. – 603 p.

55. Wilson, R. Developing food products for customers following a low sugar diet, including low sucrose, low fructose, and low lactose diets / R. Wilson // Developing Food Products for Consumers with Specific Dietary Needs. - 2016. – P. 155–171.

56. Daniel, J. R. Carbohydrates, role in human nutrition / J.R. Daniel, N. Vidovic // Chapter in a book: Reference Module in Food Science. – 2018.

57. Герасимова, В. А. Использование подслащивающих веществ в производстве пищевых продуктов / В.А. Герасимова, Е.С. Белокурова // Технико-технологические проблемы сервиса. - 2010. - №2 (12). - С. 53 – 57.

58. Казакова, Н. В. Разработка научно обоснованной технологии мороженого пониженной калорийности: дисс. на соискание ученой степени канд. техн. наук: 05.18.04 / Казакова Наталия Владимировна. - Мю, 2008 г. - 122с.

59. Carocho, M. Sweeteners as food additives in the XXI century: A review of what is known, and what is to come / M. Carocho, P. Morales, I.C.F.R. Ferreira // Food and Chemical Toxicology. 2017. – 107. – P. 302–317.

60. Chakraborty, R. Artificial Sweeteners / R. Chakraborty, A. Das // Reference Module in Food Science. – 2018.

61. Embuscado, M. Polyols. / M. Embuscado // In W Spillane, eds. Optimising sweet taste in foods. - Cambridge, England: CRC Press, 2006 - P.153-174.

62. Saraiva, A. Maltitol: Analytical Determination Methods, Applications in the Food Industry, Metabolism and Health Impacts / A. Saraiva, C. Carrascosa, D. Raheem, F. Ramos, A. Raposo // International Journal of Environmental Research and Public Health. 2020. - 17(14). – P. 5227.

63. Richards, A.B. in Alternative Sweeteners / A.B. Richards, L.B. Dexter // (Ed.L.O. Nabors), Marcel Dekker, Inc.: New York NY, 2001. – P. 423–461.

64. Cesàro, A., De Giacomo, O., & Sussich, F. Water interplay in trehalose polymorphism / A. Cesàro, O. De Giacomo, F. Sussich// Food Chemistry. 2008. - 106(4). – P. 1318–1328.

65. Paiva, C. L. A. Biotechnological Applications of the Disaccharide Trehalose / C.L.A. Paiva, A.D. Panek // Biotechnology Annual Review. – 1996. – P. 293–314.

66. Ohtake, S. Trehalose: Current Use and Future Applications / S. Ohtake, Y.J. Wang // Journal of Pharmaceutical Sciences. – 2011. -100(6). – P. 2020–2053.

67. Olsson, C. Structural Comparison between Sucrose and Trehalose in Aqueous Solution / C. Olsson, J. Swenson // The Journal of Physical Chemistry B. – 2020. – 124. – 15. – P. 3074-3082.

68. Walmagh, M. Trehalose Analogues: Latest Insights in Properties and Biocatalytic Production / M. Walmagh, R. Zhao, T. Desmet // International Journal of Molecular Sciences. – 2015. - 16(12). - P. 13729–13745.

69. Подсластители и сахарозаменители / Х. Митчелл. – Пер. с англ. – Спб.: Профессия, 2010. – 512 с.

70. Kubota, M. Trehalose-producing enzymes / M. Kubota // Fine Chem. – 2008. - 37(1). – P. 28–35.

71. Miller, D.P. Thermophysical properties of trehalose and its concentrated aqueous solutions / D.P. Miller, J.J. de Pablo, H. Corti // Pharmaceutical Research. – 1997. - 14(5). – P. 578–590.

72. Crowe, J. H. The role of vitrification in anhydrobiosis / J.H. Crowe, J.F. Carpenter, L.M. Crowe // Annual Review of Physiology. -1998. – 60. – P. 73−103.

73. Portmann, M. O Sweet taste and solution properties of α, α-trehalose / M.O. Portmann, G.G. Birch // Journal of the Science of Food and Agriculture. – 1995. – 69. – P. 275–281.

74. Richards, A.B Trehalose: A review of properties, history of use and human tolerance, and results of multiple safety studies / A.B. Richards, S. Krakowka, L.B. Dexter, H. Schmid, A.P. Wolterbeek, D.H. Waalkens Berendse, A. Shigoyuki, M. Kurimoto // Food and Chemical Toxicology. 2002. - 40(7). – P. 871–898.

75. Schiraldi, C. Trehalose production: exploiting novel approaches / C. Schiraldi, I. Di Lernia, M. De Rosa // Trends in Biotechnology. – 2002. - 20(10). – P. 420–425.

76. Dahlqvist, A. Specificity of the human intestinal disaccharidases and implications for hereditary disaccharide intolerance / A. Dahlqvist // Journal of Clinical Investigation. 1962. – 41. – P. 463–470.

77. Ushijima, T. Evaluation of the ability of human small intestine to adsorb trehalose / T. Ushijima, T. Fugisawa, N. Kretchmer // Shoka to Kushu (Digestion and Absorption). -1995. – 18. – P. 56–57.

78. Miwa, Y. 2007. Possibility of the use of trehalose in the field of alternative medicine / Y. Miwa // New Food Industry. 2007. - 49(4). – P. 20–30.

79. Muraoka, I. The potential of trehalose use in sports / I. Muraoka // Collection from The Second Trehalose Symposium. – 1999. - 49–58.

80. Oku, K Allowable amount and metabolism of trehalose in Japanese population / K, Oku, M. Okazaki // Collection from The First Trehalsoe Symposium. – 1998. – P. 16-30.

81. Tanaka, K. 2009. [Development of Treha(R) and its properties] / K. Tanaka // Food Industry. – 2009. - 52(10). – P. 45–51.

82. Zhang, B. Influence of trehalose and alginate oligosaccharides on ice crystal growth and recrystallization in whiteleg shrimp (Litopenaeus vannamei) during frozen storage with temperature fluctuations / B. Zhang, J. Zhao, S. Chen, X. Zhang, W. Wei // International Journal of Refrigeration. – 2019. - Volume 99. - P. 176-185.

83. Sei, T. Growth rate and morphology of ice crystals growing in a solution of trehalose and water / T. Sei, T. Gonda, Y. Arima // Journal of Crystal Growth. – 2002. - 240 (1 - 2). - 218–229.

84. Whelan, A. P. Effect of trehalose on the glass transition and ice crystal growth in ice cream / A.P. Whelan, A. Regand, C. Vega, J.P. Kerry, H.D. Goff // International Journal of Food Science & Technology. – 2008. - 43(3). – P. 510–516.

85. Wach, W. Fructose / W. Wach. - Ulmann's encyclopedia of industrial chemistry. - 2004.

86. White, J.S. Fructose adds variety to breakfast / J.S. White, D.W. Parke // Cereal Foods World. – 1989. – 34. – P. 392–398.

87. Hull, P. Glucose Syrups: Technology and Applications / P. Hull // Wiley & Blackwell. – 2010. - P. 65.

88. Keim, N. L. Fructose and High-Fructose Corn Syrup / N.L. Keim, K.P. Stanhope, P.J. Havel // Encyclopedia of Food and Health. – 2016. - 119–124.

89. Harastani, R. Tackling obesity: A knowledge-base to enable industrial food reformulation / R. Harastani, L.J. James, J. Walton, E. Woolley // Innovative Food Science & Emerging Technologies. – 2020. - 102433.

90. Whelan, A. P. Physicochemical and sensory optimisation of a low glycemic index ice cream formulation. / A.P. Whelan, C. Vega, J.P. Kerry, H.D. Goff // International Journal of Food Science & Technology. – 2008. - 43(9). – P. 1520–1527.

91. Frost, G. Glycemic Index / G. Frost, A. Dornhorst // Encyclopedia of Human Nutrition. – 2013. – P. 393–398.

92. Boesten, D. M. Health effects of erythritol / D.M. Boesten, G. Hartog, P. Decock, D. Bosscher, A. Bonnema, A. Bast // Nutrafoods. – 2015. - 14(1). – P. 3–9.

93. Dan Ramdath, D. Glycemic Index, Glycemic Load, and Their Health Benefits / D. Dan Ramdath // Reference Module in Food Science. – 2016.

94. Pon, S.Y. Textural and rheological properties of stevia ice cream / S.Y. Pon, W.J. Lee, G.H. Chong // International Food Research Journal. - 2015. - 22. – P. 1544-1549.

95. Moriano, M. E. Honey, trehalose and erythritol as sucrose-alternative sweeteners for artisanal ice cream. A pilot study. / M.E. Moriano, C. Alamprese // LWT. – 2017. – 75. – P. 329–334.

96. Donhowe, D.P. Determination of Ice Crystal Size Distributions in Frozen Desserts / D.P. Donhowe, R.W. Hartel, R.L. Bradley // Journal of Dairy Science. – 1991. – 74. – P. 3334-3344.

97. Cook, K.L.K. Mechanisms of Ice Crystallization in Ice Cream Production / K.L.K. Cook, R.W. Hartel // Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety. – 2010. - 9. - P. 213 - 222.

98. Adapa, S. Mechanisms of ice crystallization and recrystallization in ice cream: A review. Food Reviews International / S. Adapa, K.A. Schmidt, I.J. Jeon, T. Herald, R. Flores // Food Reviews International. - 2000. – 16 (3). –P. 259-271

99. Leiter, A. Food Freezing: Crystal Structure and Size / A. Leiter, V. Gaukel // Reference Module in Food Science. – 2016.

100. Hartel, R. W. Mechanisms and kinetics of recrystallization in ice cream / R.W. Hartel // The Properties of Water in Foods ISOPOW 6. – edited by D.S. Reid: New York, Blackie Academic & Professional, 1998. - P. 287–319.

101. Fennema, O. R. Nature of the freezing process. / O.R. Fennema, W.D. Powrie, E.H. Marth // Low temperature preservation of foods and living matter: New York: Marcel Dekker, 1973. – P. 151 – 239.

102. Zhu, Z. Measuring and Controlling Ice Crystallization in Frozen Foods: A Review of Recent Developments / Z. Zhu, Q. Zhou, D.W. Sun // Trends in Food Science & Technology. – 2019. – 90 (1). – P. 13-25.

103. Bainy, E. M. Measurement of freezing point of tilapia fish burger using differential scanning calorimetry (DSC) and cooling curve method / E. M. Bainy, M. L. Corazza, M. K. Lenzi // Journal of Food Engineering. – 2015. – 161. – P. 82–86.

104. Goff, H. D. The structure and properties of ice cream and frozen desserts / H.D. Goff // Chapter in a book: Encyclopedia of Food Chemistry. – 2019. – P. 47-54.

105. Sun, X. A review of natural polysaccharides for food cryoprotection: Ice crystals inhibition and cryo-stabilization / X. Sun, Y. Wu, Z. Song, X. Chen // Bioactive Carbogydrates and Dietary Fibre. – 2022. – Volume 27. – 100291.

106. Wu, H-Y. Effects of different cryoprotectans on microemulsion freeze-driing / H-Y. Wu, C-B. Sun, N. Liu // Innovative Food Sciense & Emerging Technologies. - 2019. – 54. – P. 28-33.

107. Patist, A. Preservatoin mechanisms of trehalose in food and biosystems / A. Patist, H. Zoerb // Colloids and Surfaces B: Biointerfaces. – 2005. –40 (2). – P. 107 – 113.

108. Goff, H. D. Ice Cream and Frozen Desserts: Manufacture / H.D. Goff // Reference Module in Food Science. – 2016.

109. Philp, K. Polysaccharide Ingredients / K. Philp// Reference Module in Food Science. – 2018. – P. 1-23.

110. Bolliger, S. Relationships between ice cream mix viscoelasticity and ice crystal growth in ice cream / S. Bolliger, H. Wildmoser, H.D. Goff, B.W. Tharp // International Dairy Journal. – 2000. - 10(11). – P. 791–797.

111. Grenha, A. Locust bean gum: Exploring its potential for biopharmaceutical applications / A. Grenha, M. Dionísio // Journal of Pharmacy and Bioallied Sciences. – 2012. - 4(3). – P. 175.

112. Imeson, A. P. Carrageenan and furcellaran / A.P. Imeson // Handbook of Hydrocolloids. 2009. – P. 164–185.

113. Goff, H. D. The structure and Properties of Ice Cream and Frozen Desserts / H.D. Goff // Referance Module in Food Science. – 2018.

114. Wu, Y. The rheological properties of tara gum (Caesalpinia spinosa) /Y. Wu, W. Ding, L. Jia, Q. He // Food Chemistry. – 2015. – 168. – P. 366–371.

115. Santos, M. B. Physicochemical, thermal and rheological properties of synthesized carboxymethyl tara gum (Caesalpinia spinosa) / M.B. Santos, C.H.C. Dos Santos, M.G. de Carvalho, C.W.P de Carvalho, E.E. Garcia-Rojas // International Journal of Biological Macromolecules - 2019. – 134. – P. 595-603

116. Krawczyk, G. Microcrystalline cellulose / G. Krawczyk, A. Venables, D. Tuason // Handbook of Hydrocolloids. 2009. – P. 740–759.

117. Hindi, S. S. Z. Microcrystalline cellulose: Its specifications and pharmaceutical processing / S.S.Z. Hindi // Biocrystals Journal. – 2016. - 1 (1). – P. 26-38.

118. BeMiller, J. N. Cellulose and Cellulose-Based Hydrocolloids / J.N. BeMiller // Carbohydrate Chemistry for Food Scientists. – 2019. – P. 223–240.

119. Lal, S. N. D. Application of emulsifiers/stabilizers in dairy products of high rheology / S.N.D. Lal, C.J. O'Connor, L. Eyres // Advances in Colloid and Interface Science. - 2006. - 123-126 (10) – P. 433–7.

120. Творогова, А.А. Свойства и влияние эмульгаторов на термоустойчивость мороженого / А. А. Творогова, Н. В. Казакова, А. В. Ландиховская // Холодильная техника. 2018. №4. С. 46 – 49.

121. Chen, L. Emulsifiers as food texture modifiers / L. Chen // Modifying Food Texture. – 2015. – P. 27–49.

122. Nicholson, R. A. Digylcerides / R.A. Nicholson, A.G. Marangoni // Reference Module in Food Science - 2018.

123. Жиры и масла. Производство, состав и свойства, применение / Р. О'Брайен: пер. с англ. 2-го изд. В. Д. Широкова, Д. А. Бабейкиной, Н. С. СеливаUKновой, Н. В. Магды – Спб.: Профессия, 2007. – 752 с.

124. Wood, R. E432–6: Polysorbates /R. Wood, L. Foster, A. Damant, P. Key // Analytical Methods for Food Additives. – 2004. – P. 190–195.

125. Шавра, В. М. Основы холодильной техники и технологии / В. М. Шавра. - М.: Дели принт , 2004. – 272 с.

126. Рютов, Д. Г. Влияние связанной воды на образование льда в пищевых продуктах при их размораживании / Д.Г. Рютов. // Холодильная техника. – 1976. - №5. – С. 32-37.

127. Моргунов, А. П. Планирование и анализ результатов эксперимента [Электронный ресурс] : учебное текстовое электронное издание локального

распространения/ А. П. Моргунов, И. В. Ревина. – Омск: Изд-во ОмГТУ, 2014. – 344 с.

128. Кобзарь, А. И. Прикладная математическая статистика. Для инженеров и научных работников / А.И. Кобзарь. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2006. – 816 с.

129. Творогова, А. А. Применение продуктов переработки крахмала для восполнения сухих веществ в мороженом с низким содержанием жира / А.А. Творогова, Н.В. Казакова, А.В. Ландиховская // Достижения науки и техники АПК. – 2020. - Т. 34. - №5. - С. 77-81.

Приложение 1

ВСЕРОССИЙСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ ХОЛОДИЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ – ФИЛИАЛ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО НАУЧНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ «ФЕДЕРАЛЬНЫЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР ПИЩЕВЫХ СИСТЕМ ИМ. В.М. ГОРБАТОВА» РАН

УТВЕРЖДАЮ
Директор ВНИХИ – филиала
ФГБНУ «ФНЦ пищевых систем
им. В.М. Горбатова» РАН
_____ Г.А. Белозеров
29.11.2019

ВНИХИ - филиал ФГБНУ «ФНЦ пищевых систем им. В.М. Горбатова» РАН

МОРОЖЕНОЕ МОЛОЧНОЕ И БЕЗ САХАРОЗЫ

Технологическая инструкция
ТИ ТУ 10.52.10 – 016 – 19811926 – 2019
(вводится впервые)

Дата введения в действие 01.12.2019 г.

РАЗРАБОТАНО

ВНИХИ – филиал ФГБНУ «ФНЦ пищевых систем им. В.М. Горбатова» РАН

Заместитель директора по научной работе
_____ А.А. Творогова

Ведущий научный сотрудник лаборатории технологии мороженого
_____ Н.В. Казакова

Младший научный сотрудник лаборатории технологии мороженого
_____ А.В. Ландиховская

Москва
2019

Приложение 2

ВСЕРОССИЙСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ ХОЛОДИЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ – ФИЛИАЛ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО НАУЧНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ «ФЕДЕРАЛЬНЫЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР ПИЩЕВЫХ СИСТЕМ ИМ. В.М. ГОРБАТОВА» РАН

УТВЕРЖДАЮ
Врио директора ВНИХИ –
филиала ФГБНУ
«ФНЦ пищевых систем
им. В.М. Горбатова» РАН
_____ А.А. Творогова
_____.06.2021

МОРОЖЕНОЕ МОЛОЧНОЕ, СЛИВОЧНОЕ И ПЛОМБИР БЕЗ САХАРОЗЫ

Технологическая инструкция
ТИ ТУ 10.52.10 – 023 – 19811926 – 2021
(вводится впервые)

Дата введения в действие 01.07.2021

РАЗРАБОТАНО
ВНИХИ – филиал ФГБНУ «ФНЦ пищевых систем им. В.М. Горбатова» РАН

Ведущий научный сотрудник лаборатории технологии мороженого
_____Н. В. Казакова

Младший научный сотрудник лаборатории технологии мороженого
_____И. А. Гурский

Младший научный сотрудник лаборатории технологии мороженого
_____А. В. Ландиховская

М о с к в а

2021

Приложение 3

УТВЕРЖДАЮ
Врио директора ВНИХИ –
филиал ФГБНУ «ФНЦ пищевых
систем им. В. М. Горбатова» РАН
_____ А. А. Творогова
18 ноября 2021 г.

АКТ

о внедрении на предприятии результатов научного исследования аспирантки «ФНЦ пищевых систем им. В. М. Горбатова» РАН Ландиховской А.В., полученных при выполнении диссертационной работы

Научно-техническая документация на производство молочного мороженого с низким содержанием жира с фруктозой и трегалозой ТУ и ТИ ТУ 10.52.10-023-19811926-2021 «Мороженое молочное, сливочное и пломбир без сахарозы» была внедрена в 2021 году на предприятии: АО «Новокузнецкий хладокомбинат». Передача технической документации осуществлялась на основании договора на выполнение научно-исследовательских работ №13 от 05.07.2021 г.

Ведущий научный сотрудник
лаборатории технологии мороженого Н.В. Казакова

Главный бухгалтер С.А. Карпова

Приложение 4

АКТ

внедрения результатов научных исследований в производство
г. Кстово, Нижегородская обл.,
ИП «Пашин», фабрика
мороженого «Давайс»

Мы, нижеподписавшиеся, начальник производства Антасова Е. Г. и главный технолог Лапшина С. В. фабрики мороженого «Давайс» и мл. научный сотрудник лаборатории технологии мороженого ВНИХИ – филиала ФГБНУ «ФНЦ пищевых систем им. В. М. Горбатова» РАН Ландиховская А.В. составили настоящий акт о том, что внедрили технологию молочного мороженого с низким содержанием жира с трегалозой и фруктозой на производстве.

Мороженое вырабатывали в соответствии с требованиями, установленными ТУ и ТИ ТУ 10.52.10 – 016 – 19811926 – 2019 «Мороженое молочное без сахарозы».

Указанная разновидность мороженого производится на предприятии с июля 2021 года в виде порций 65 г, характеризуется высокими органолептическими показателями и пользуется спросом у потребителей.

Начальник производства
фабрики мороженого «Давайс» Антасова Е. Г.

Главный технолог
фабрики мороженого «Давайс» Лапшина С. В.

Мл. научный сотрудник
лаб. технологии мороженого
ВНИХИ Ландиховская А.В.

МП

Приложение 5

<u>Внешний вид порции выпускаемого мороженого с трегалозой и фруктозой</u>

Адрес производства: Нижегородская область, г. Кстово, ИП «Пашин»

(фабрика мороженого «Давайс»)