

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Тамбовский государственный технический университет»

Е. И. МУРАТОВА, П. М. СМОЛИХИНА

РЕОЛОГИЯ КОНДИТЕРСКИХ МАСС

*Рекомендовано
Научно-техническим советом университета
в качестве монографии*



Тамбов
Издательство ФГБОУ ВПО «ТГТУ»
2013

УДК 663.916.2; 664.681/144
ББК Л8/9 36.86
Д24

Рецензенты:

Доктор технических наук, профессор ФГБОУ ВПО
«Воронежский государственный университет инженерных технологий»
Г. О. Магомедов

Доктор химических наук, профессор
ФГБОУ ВПО «Тамбовский государственный университет
им. Г. Р. Державина»
Л. Е. Цыганкова

Муратова, Е. И.

Д24

Реология кондитерских масс : монография / Е. И. Муратова, П. М. Смолихина. – Тамбов : Изд-во ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2013. – 188 с. – 500 экз.

ISBN 978-5-8265-1242-5

Рассмотрены общие подходы к описанию реологического поведения кондитерских масс. Представлены результаты исследований структурно-механических характеристик сахаристых и мучных кондитерских изделий. Приведены примеры использования методов математического моделирования для прогнозирования реологических свойств полуфабрикатов и готовых изделий. Раскрыты технологические аспекты использования результатов реологических исследований. Показано значение методов реологии в комплексной оценке потребительских характеристик кондитерских изделий.

Предназначена для специалистов кондитерской отрасли, профессорско-преподавательского состава, аспирантов и магистрантов, специализирующихся в области технологии кондитерских изделий.

УДК 663.916.2; 664.681/144
ББК Л8/9 36.86

ISBN 978-5-8265-1242-5

© Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Тамбовский государственный технический университет» (ФГБОУ ВПО «ТГТУ»), 2013

ВВЕДЕНИЕ

Производство высококачественной конкурентоспособной продукции на современных кондитерских предприятиях должно осуществляться с учётом реологических свойств сырья, полуфабрикатов и готовой продукции на всех этапах переработки и хранения. Реологические характеристики относятся к важнейшим физико-химическим показателям, определяющим качество кондитерских масс и особенности различных технологических процессов их переработки.

Переработка кондитерских масс сопровождается сложными химическими, физико-химическими, теплофизическими и механическими процессами, изучение которых позволяет организовать эффективный и объективный реологический контроль и управление технологическими циклами производства. Реологические показатели сырья и полуфабрикатов необходимо учитывать при создании конструкций новых машин и модернизации существующих, для обоснования оптимальных режимов работы оборудования и выбора оптимальных способов производства, а также использовать в качестве контролируемых параметров при создании автоматизированных систем управления машинами, агрегатами, технологическими линиями.

При разработке новых видов изделий с заранее заданными свойствами и составом для обеспечения протекания процессов и оптимизации работы оборудования необходимы знание и контроль не только технологических параметров, но и реологических характеристик сырья и полуфабрикатов. Получение кондитерских изделий связано с переработкой связнодисперсных систем и формированием коагуляционных, смешанных и конденсационно-кристаллизационных структур. Реология позволяет управлять структурно-механическими свойствами и качеством продуктов путём внесения добавок, изменения режимов и способов механической и технологической обработки.

Монография посвящена рассмотрению современных аспектов реологии сырья, полуфабрикатов и готовых изделий кондитерского производства и состоит из шести разделов.

В первом разделе приведена характеристика кондитерских масс как дисперсных систем и объектов реологии; рассмотрены модели, используемые для описания реологического поведения кондитерских масс; приведены методы и приборы для проведения реологических исследований сырья, полуфабрикатов и готовых кондитерских изделий.

Во втором разделе представлены структурно-механические характеристики сырья кондитерских производств и описаны особенности реологического поведения сыпучих и упруговязкопластичных материалов.

В третьем разделе приведён обзор исследований, посвящённый изучению реологических характеристик желейных, помадных и сбивных конфетных масс и структурно-механических характеристик конфет, изготовленных на их основе. Представлены результаты исследований авторов, посвящённые изучению влияния рецептурного состава и режимных параметров приготовления конфетных масс, формования и структурообразования на реологические характеристики полуфабрикатов и структурно-механические характеристики готовых изделий.

В четвёртом разделе приведён обзор исследований, посвящённый изучению реологических свойств кондитерского теста и структурно-механических характеристик мучных кондитерских изделий. Представлено описание влияния технологических добавок на реологические свойства и структурно-механические характеристики вафельных листов и пряников.

В пятом разделе описано применение методов математического моделирования для прогнозирования реологических свойств кондитерских масс. Приведены примеры постановки и решения задач получения полуфабрикатов и готовых изделий с заданными структурно-механическими характеристиками.

В шестом разделе рассмотрены технологические аспекты использования результатов реологических исследований для обоснования способов и режимов темперирования, формования конфетных масс и выстойки корпусов конфет. Представлены результаты инструментальной оценки органолептических характеристик кондитерских изделий с использованием современных реометров. Показаны особенности изменения структурно-механических характеристик кондитерских изделий при хранении.

В заключении сформулированы основные задачи дальнейших исследований реологического поведения кондитерских масс.

В приложениях приведены методики, используемые для определения реологических констант, и листинг программы компьютерного моделирования реологических свойств желейных студней.

Авторы выражают благодарность директору по качеству ОАО «Кондитерская фирма «ТАКФ» Н. В. Донских за содействие в проведении лабораторных анализов и производственных экспериментов, кандидату технических наук Д. В. Леонову за конструктивное сотрудничество при проведении реологических исследований желейных и помадных полуфабрикатов; доктору технических наук, профессору С. И. Дворецкому за консультации по использованию методов математического моделирования для прогнозирования структурно-механических свойств кондитерских изделий и кандидату технических наук, доценту С. Г. Толстых за помощь в разработке программ для описания реологического поведения кондитерских масс.

Глава 1

ОБЩИЕ ПОДХОДЫ К ОПИСАНИЮ РЕОЛОГИЧЕСКОГО ПОВЕДЕНИЯ КОНДИТЕРСКИХ МАСС

Описание реологического поведения кондитерских масс должно базироваться как на общих положениях реологии, так и на учёте особенностей коллоидно-химических свойств сырья, полуфабрикатов и готовых изделий. Для получения теоретически обоснованных и практически значимых результатов необходимо правильно выбирать методы проведения экспериментальных исследований, соответствующие условиям переработки кондитерских масс, и реологические модели для описания полученных зависимостей.

1.1. КОНДИТЕРСКИЕ ИЗДЕЛИЯ И ПОЛУФАБРИКАТЫ КАК ОБЪЕКТЫ РЕОЛОГИИ

Кондитерские изделия являются сложными многокомпонентными системами, в состав которых входят твёрдые, жидкие и газообразные вещества – для их создания используется разнообразное по химическому составу и свойствам сырьё (сахар, молочные продукты, мука, жиры и другие рецептурные ингредиенты). От их соотношения, концентрации сухих веществ и особенностей структурообразования во многом зависит консистенция конечного продукта, а также её промежуточное состояние: полутвёрдое и полужидкое (кремообразное).

Объектами инженерной реологии являются дисперсные системы, состоящие из двух и более фаз. Под фазой понимается совокупность гомогенных частей системы, ограниченных от других частей физическими поверхностями раздела. Непрерывная фаза является дисперсионной средой, а раздробленная фаза из частиц, не контактирующих друг с другом, – дисперсной [20]. В зависимости от размера частиц дисперсной фазы различают высокодисперсные и грубодисперсные системы. В таблице 1.1 приведена классификация кондитерских изделий как дисперсных систем в соответствии с агрегатным состоянием дисперсной фазы и дисперсионной среды [38].

Один и тот же продукт в зависимости от условий технологического процесса может быть отнесён к разным системам. Так, например, шоколадная масса при темперировании представляет собой вязкую, способную к течению массу, которая после формирования и охлаждения может представлять собой твёрдое кристаллическое или пористое тело.

Механическое воздействие при переработке сырья и полуфабрикатов также может вызвать переход из одного вида дисперсий в дру-

гой. В качестве примера можно привести процесс образования кондитерских пен при сбивании белков. Высыхание сбивной массы при хранении приводит к образованию хрупкого пористого тела.

Особенностью дисперсных систем кондитерского производства являются высокая концентрация дисперсной фазы в жидкой или газовой дисперсионных средах и сильно развитая межфазная поверхность.

1.1. Классификация пищевых дисперсных систем

Дисперсионная среда	Дисперсная фаза	Название системы	Пример
Газ	Твёрдая	Аэрозоли	Фруктовые порошки, сахарная пудра
	Жидкая	Аэрозоли	В кондитерской технологии отсутствуют
	Газообразная	Газовые смеси	В кондитерской технологии отсутствуют
Жидкость	Твёрдая	Суспензия	Фруктово-ягодное пюре, помадные массы, ореховые массы
	Жидкая	Эмульсия	Бисквитное тесто, сгущённое молоко
	Газообразная	Пена	Пастильные массы, сбивные конфетные массы
Твёрдое тело	Твёрдая	Твёрдая суспензия, сплав	Кристаллический ирис, шоколад
	Жидкая	Твёрдая эмульсия	Кондитерский жир, железные студни
	Газообразная	Пористое тело	Бисквит, сахарное печенье, зефир, тянутая карамельная масса

В таких системах самопроизвольно возникают пространственные структуры, тип которых определяется видом контактов между частицами дисперсных фаз (табл. 1.2) [38]. Между твёрдыми телами и истинно вязкими жидкостями в природе существуют огромное многообразие тел промежуточного характера. К таким телам относятся все кондитерские массы, обладающие комплексом структурно-механических (реологических) свойств: вязкостью, упругостью, пластичностью, релаксацией напряжений. Эти свойства обуславливают способность кондитерских масс сопротивляться деформации под действием внешних сил при технологической обработке и являются общими и характерными свойствами, определяющими возможность их переработки.

1.2. Классификация сырья, полуфабрикатов и готовых изделий по текстурным признакам и реологическим свойствам

Агрегатное состояние	Наименование продукта	Типичные реологические свойства
Твёрдые, хрупкие	Шоколад, печенье, крекеры, вафли, карамель	Предел прочности, модуль упругости
Упруго-пластичные	Мармелад, зефир, пастила, конфеты пралине, пряники	Предел прочности, модуль упругости, предельное напряжение сдвига, адгезия
Вязкопластичные	Сахарное, песочное, сдобное, пряничное тесто, конфетные массы, жировые начинки	Вязкость, адгезия, предельное напряжение сдвига (пластическая прочность)
Жидкообразные	Сахарные сиропы, вафельное, бисквитное тесто	Вязкость, коэффициент поверхностного натяжения
Порошкообразные	Сахар-песок, мука, функциональные и технологические добавки, улучшители	Угол естественного откоса, механические характеристики при прессовании

По классификации П. А. Ребиндера все пространственные структуры разделяются на коагуляционные и конденсационно-кристаллизационные. В коагуляционных структурах взаимодействие частиц осуществляется непосредственно или через прослойки жидкой дисперсионной среды. Для таких структур характерны тиксотропия, высокая пластичность и низкая прочность. При образовании коагуляционных структур существенную роль играют поверхностно-активные вещества (ПАВ) и растворённые в воде белки, которые выступают в качестве эмульгаторов и стабилизаторов образуемых систем и могут существенно изменять их структурно-механические характеристики [20, 106].

Конденсационно-кристаллизационные структуры образуются при спекании, прессовании частиц дисперсной фазы или при выделении новой фазы из пересыщенных растворов и расплавов. Такие структуры обладают высокой прочностью, отсутствием тиксотропии и необратимым характером разрушения.

В процессах структурообразования возможно возникновение структур смешанного типа, образуемых коагуляционными и истинными фазовыми контактами между частицами твёрдой фазы.

В процессе производства кондитерских изделий структура системы изменяется от структурированной жидкости до твёрдого тела. При разработке новых видов изделий с заранее заданными свойствами и составом для обеспечения протекания технологических процессов и оптимизации работы оборудования необходимы знание и контроль не только технологических параметров, но и реологических характеристик сырья полуфабрикатов.

В настоящее время активно развиваются методы оценки структуры и консистенции кондитерских изделий. Консистенция, определяемая типом структуры и механическими свойствами, является одной из наиболее сложных сенсорных характеристик пищевых продуктов. Эти характеристики оценивают с помощью органолептических показателей, которые часто субъективны и далеки от совершенства, при этом не всегда учитываются важнейшие физические свойства продукта. Балловый метод органолептической оценки не отвечает требованиям современного кондитерского производства, поскольку оценка структуры кондитерских изделий осуществляется весьма условно и не может быть достоверно количественно описана. Данный метод лишает технологов возможности прогнозирования структурно-механических свойств готовой продукции, что в условиях современного рынка существенно осложняет проектирование новых видов продукции, не позволяя своевременно реагировать на изменения в предпочтениях потребителей.

Для учёта этих недостатков при контроле качества кондитерских полуфабрикатов и готовой продукции необходима разработка подхода комплексной оценки с совмещением инструментальных методов и органолептических показателей качества.

В последнее время различные кондитерские продукты были исследованы реологическими методами. Наиболее сложная проблема, которая возникает при испытаниях кондитерских продуктов, связана с их неоднородностью, а также варьированием состава и реологических свойств в очень широких пределах. Однако огромное их разнообразие не позволяет предложить какие-либо универсальные рекомендации относительно выбора способа оценки реологических характеристик этих материалов [20].

1.2. МОДЕЛИ, ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ ДЛЯ ОПИСАНИЯ РЕОЛОГИЧЕСКОГО ПОВЕДЕНИЯ КОНДИТЕРСКИХ МАСС

При рассмотрении результатов исследования реологических свойств структурированных систем можно выделить два характерных типа полных реологических кривых для систем [108]:

- с жидкообразной структурой, у которых течение начинается вслед за приложением напряжения (рис. 1.1);
- с твердообразной структурой, течение которых начинается только после некоторого предельного напряжения (рис. 1.2).

Полные реологические кривые характерны для течения относительно разбавленных растворов полимеров, поверхностных слоёв ПАВ, некоторых тиксотропных дисперсий. В таких системах образуются жидкообразные структуры. При постоянном напряжении сдвига, время действия которого больше периода релаксации, устанавливается стационарное течение. При небольшом напряжении сдвига система течёт без разрушения структуры с высокой вязкостью η_0 (участок $0 - \tau_s$ на рис. 1.2). Отмеченное на оси значение τ_s , называемое статическим напряжением сдвига, является критическим напряжением, которое необходимо для разрушения структуры, образовавшейся в системе в статических условиях. При этом первом критическом напряжении сдвига начинается частичное обратимое разрушение структуры.

При напряжении τ_{sk} разрушение структуры завершается. Следовательно, τ_{sk} – то критическое напряжение сдвига, которое необходимо для полного разрушения структуры, образовавшейся в стационарных условиях. Если бы в системе не восстанавливалась обратимо тиксотропная структура, то при $\tau > \tau_{sk}$ система обладала бы свойствами истинной ньютоновской жидкости [108].

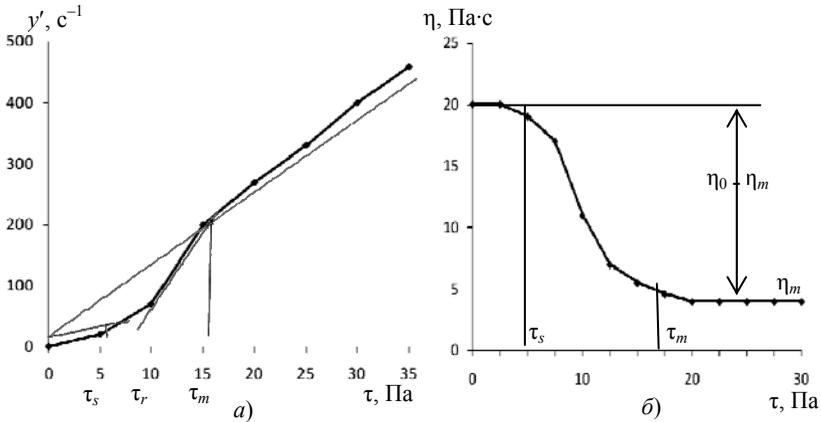


Рис. 1.1. Полные реологические кривые течения (а) и вязкости (б) жидкообразной структурированной системы

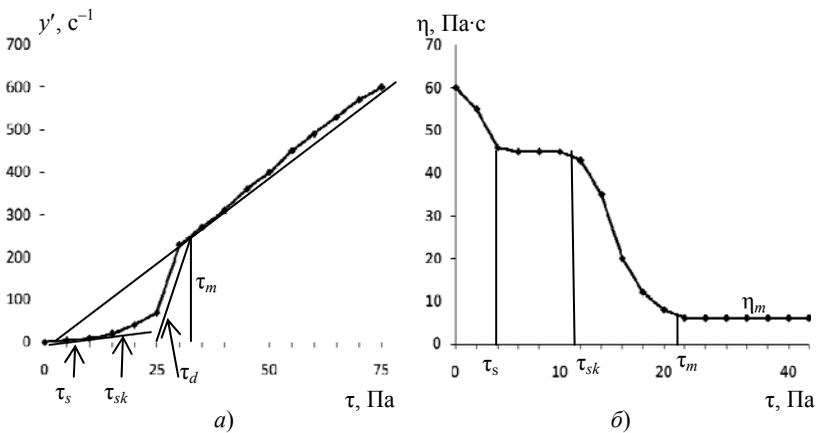


Рис. 1.2. Полные реологические кривые (а) и вязкости (б) твердообразной структурированной системы

Однако для течения жидкой структурированной системы часть работы будет расходоваться на разрушение этой тиксотропно восстанавливающейся структуры, а τ_m – напряжение, после которого жидкость приобретает свойства ньютоновской жидкости, т.е. то критическое максимальное напряжение, необходимое для полного разрушения структуры, образовавшейся в статических условиях и восстанавливающейся в динамических. Все критические значения напряжения сдвига можно выявить только на полной реологической кривой. При

выражении полной реологической кривой в координатах « η - τ » можно достаточно чётко выделить τ_s и τ_m , т.е. критические значения напряжения начала и завершения разрушения структуры. Можно отметить два значения вязкости: в области напряжений ($0 - \tau_s$) – вязкость, эффективная для жидкости с неразрушенной структурой, и в области $\tau > \tau_m$ – вязкость ньютоновской жидкости с полностью разрушенной структурой. В промежуточной области напряжений ($\tau_s - \tau_m$) вязкость монотонно уменьшается от величины η_0 до η_m [108].

При достижении критического статического напряжения сдвига τ_s , необходимого для разрушения твердообразной структуры, образовавшейся в статических условиях, система начинает необратимо деформироваться, и наблюдается пластическое течение с переменной вязкостью вплоть до напряжений τ_d , после чего пластическое течение происходит с постоянным динамическим (тиксотропным) восстановлением структуры. Этот участок кривой описывают уравнением Бингама и говорят о бингамовской вязкости дисперсной системы η_{\min} .

На участке $\tau_{sk} - \tau_d$ эффективная (кажущаяся) вязкость изменяется в очень широких пределах, иногда различие составляет два и более порядка. Участок реологической кривой с постоянной вязкостью η_{\max} характерен для так называемой шведовской жидкости, которая характеризуется пластично-вязким течением. Уравнение Шведова для описания этого участка имеет вид

$$\tau = \tau_s + \eta_{\max}^* \gamma', \quad (1.1)$$

где η_{\max}^* – пластическая эффективная (шведовская) вязкость. Участок напряжений $\tau_d - \tau_m$ характеризуется уравнением Бингама в форме:

$$\tau = \tau_0 + \eta_{\text{пл}} \gamma'; \quad (1.2)$$

$$\eta = \eta_{\text{пл}} + \tau_0 / \gamma',$$

где τ – напряжение сдвига, Па; τ_0 – предельное напряжение сдвига, Па; η – вязкость, Па·с; $\eta_{\text{пл}}$ – пластическая (бингамовская) вязкость, Па·с; γ' – скорость деформации, с^{-1} .

Построение полных реологических кривых течения позволяет определить ряд постоянных для описания структурно-механических свойств дисперсных систем [67, 108].

В области от τ_s до τ_m эффективная вязкость зависит от доли обратимо (тиксотропно) восстанавливающихся связей между частицами и эта зависимость для жидкообразных структур имеет вид

$$\eta(P) = \eta_m + \alpha(\eta_0 - \eta_m) \cdot \quad (1.3)$$

Уравнение (1.3) предложил П. А. Ребиндер.

Для твердообразных структур это уравнение будет иметь вид

$$\eta(P) = \eta_m + \alpha(\eta_0^* - \eta_m^*). \quad (1.4)$$

Как показал М. Кросс, для жидкообразных структур степень восстановления структуры

$$\alpha = 1 / (1 + K\gamma'^{2/3}), \quad (1.5)$$

где $K = k_i / k_0$ – постоянная относительной скорости разрушения структуры; k_i, k_0 – постоянные скорости разрушения при градиенте скорости γ' и $\gamma' = 0$ соответственно.

Уравнение (1.3) с учётом уравнения (1.5) можно привести к линейной форме, если использовать величину, обратную вязкости, т.е. $1/\eta$, называемую текучестью:

$$\frac{1}{\eta} = \frac{1}{\eta_m} + \frac{1 + K\gamma'^{2/3}}{\eta_0 - \eta_m}, \quad (1.6)$$

Если $\eta_m \ll \eta_0$, то

$$\frac{1}{\eta} = \frac{1}{\eta_m} + \frac{1 + K\gamma'^{2/3}}{\eta_0} = C + \frac{1 + K\gamma'^{2/3}}{\eta_0}. \quad (1.7)$$

Постоянная C зависит от концентрации растворов, температуры, химической природы и молекулярной массы полимеров.

Течение псевдопластичных материалов обычно описывают уравнением Гершеля–Балкли:

$$\tau = \tau_0 + \kappa\gamma'^n, \quad (1.8)$$

где τ и τ_0 – текущее и предельное напряжение сдвига; γ' – градиент скорости сдвига (скорость деформации, с^{-1}); κ – коэффициент течения; n – индекс течения.

Для описания кривой вязкости в конкретном диапазоне скоростей сдвига широкое применение нашло уравнение Оствальда де Вилля

$$\tau = K\gamma'^n, \quad (1.9)$$

где τ – напряжение сдвига, Па; K – коэффициент консистенции, зависящий от природы материала; γ' – скорость деформации, с^{-1} ; n – индекс течения. Чем больше показатель степени n отклоняется от единицы, тем сильнее зависимость вязкости жидкости от скорости сдвига [20].

Упруговязкопластичные свойства кондитерских масс можно описать моделью Максвелла–Томсона, которую часто называют моделью стандартного вязкоупругого тела:

$$\tau + T_p \dot{\tau} = G\gamma + T_p G_2 \gamma', \quad (1.10)$$

где G – длительный модуль упругости, Па; G_2 – мгновенный модуль упругости, Па; T_p – время релаксации, с.

Для упругоэластично-вязкопластичного тела, примером которого может служить кондитерское тесто, применяют модель Шофилда–Скотт–Блера. Реологическое уравнение этой модели имеет вид

$$\dot{\gamma}' = \frac{\dot{\tau}}{G_1} + \left(\frac{\tau}{\eta_2} \right) e^{-\frac{G_2 t}{\eta_2}} + \frac{(\tau - \tau_T)}{\eta_1}, \quad (1.11)$$

где при нагружении тесто вначале испытывает мгновенную эластическую деформацию (G_1) и замедленную вязкоупругую (G_2, η_2) деформацию, затем при напряжении, превышающем предел текучести (τ_T), материал пластически деформируется (τ, η_1).

Несмотря на большое количество работ и разнообразие подходов в области реологии структурированных дисперсных систем пока нет удовлетворительной количественной теории, связывающей реологические свойства тел с параметрами их структуры [119].

Разнообразие существующих реологических моделей отражает принципиальные различия видов течения, наблюдаемые в различных системах. Однако результаты сравнения моделей с экспериментом позволяют сделать вывод о том, что одним и тем же реологическим уравнением можно описать различные по физико-химической природе системы, а одну и ту же дисперсную систему – принципиально разными реологическими уравнениями [67]. Попытки аппроксимации экспериментальных данных на максимально широком интервале скоростей сдвига привели к обилию полуэмпирических выражений вплоть до реологических уравнений с пятью или шестью подгоночными коэффициентами. Альтернативный подход состоит в искусственном разделении кривых течения или кривых вязкости на отдельные участки, которые описываются разными способами [67, 130].

Так, на основе проведённых экспериментальных исследований установлено, что в диапазоне скоростей деформации $10..60 \text{ с}^{-1}$ течение железных масс удовлетворительно описывается уравнениями Бингама (1.2): вязкость масс интенсивно снижается при увеличении скорости деформации, после чего остаётся практически постоянной, что свидетельствует о приближении к предельной степени разрушения структуры. Анализ значений предельного напряжения сдвига позволяет сделать вывод о том, что железная масса является не структурированной жидкостью, а малопрочным твердообразным (бингамовым) телом.

Исследования реологических свойств помадных масс показали, что независимо от рецептурного состава они относятся к псевдопластичным материалам, течение которых обычно описывают уравнением Гершеля–Балкли (1.8). Отмечено преобладающее влияние на предель-

ное напряжение сдвига и пластическую вязкость температуры и жирности и незначительное влияние изменения (в пределах рецептуры) влажности. Кривые изменения вязкости от скорости сдвига имеют вид, характерный для структурированных систем, с увеличением скорости сдвига вязкость уменьшается, причём особенно быстро в диапазоне сравнительно малых скоростей сдвига, а при дальнейшем увеличении скорости вязкость изменяется незначительно.

В широком диапазоне скоростей деформации $0...100 \text{ с}^{-1}$ течение сбивных масс удовлетворяет уравнению Оствальда де Виля (1.9). Во всех случаях реологические кривые хорошо аппроксимируются линейной функцией в довольно широком диапазоне скоростей сдвига (с коэффициентом аппроксимации не ниже 0,98), чем и объясняется использование этого уравнения.

Для выбора адекватного реологического уравнения существуют определённые формальные правила [67]: уравнение должно давать хорошую аппроксимацию эксперимента в широком диапазоне скоростей сдвига, включать минимальное количество независимых постоянных параметров, которые должны поддаваться независимой оценке и обладать реальным физическим смыслом. Последнее означает, что реологическое уравнение должно быть получено из микрореологической модели. При выборе адекватного реологического уравнения следует начинать с формул, имеющих наименьшее число параметров, и переходить к другим, например трёхпараметрическим уравнениям только при плохом согласовании эксперимента с двухпараметрической моделью.

1.3. МЕТОДЫ И ПРИБОРЫ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ РЕОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

В настоящее время на кондитерских фабриках качественная оценка конфет производится сенсорным методом при помощи группы дегустаторов, описывающих основные показатели качества, присущие данному виду изделий, с помощью балльной шкалы. Однако в условиях современного производства такая система оценки выглядит устаревшей и не способна объективно описать изменения огромного количества свойств, присущих помадным конфетам. Поэтому целесообразным является комплексный подход к оценке, включающий более объективные инструментальные методы.

Основательный обзор способов классификации объективных методов измерения структуры и консистенции пищевых продуктов предложил Боурн в [4], где приводится классификация Скотт–Блэра на методы фундаментальные, эмпирические и имитационные; Стевенсона – на измерения номинальные, обычные, интервальные и относительные; Драке – по типу движения рабочих органов реометров на прямолинейные, вра-

щательные, симметрично-осевые, другие и неопределённые. Сам Боурн приводит девять классов приборов: инструменты измерения силы, перемещения, времени, энергии, соотношений, составные, составные варьируемые, химического анализа, смешанные (многоцелевые).

Самостоятельная специальная группа приборов и методов реометрии пищевых сред при воздействии вибраций использовалась в работе Н. Б. Урьева и М. А. Талейсника [122]. В монографии К. П. Гуськова и других авторов [22] все приборы разбиты на четыре группы по назначению:

1. Промышленные приборы для непрерывных измерений в потоке и автоматизации контроля и управления.
2. Лабораторные приборы для массового технологического контроля процессов.
3. Приборы для углубленных измерений в промышленных лабораториях.
4. Исследовательские приборы для научных целей.

Можно указать ещё на ряд обзорных работ [4, 123, 135], в которых также обсуждаются вопросы классификации реологических приборов и методов, полезные для планирования и проведения реологических исследований. Дополнительно к этим классификациям В. А. Арет и соавторы предлагают ещё одну, в которой сделана попытка расширить предмет: предложены схемы действия различных реометров, которые дают достаточно репрезентативный обзор основных идей устройств, применяемых в реометрии пищевых сред [4].

Для оценки реологических и структурно-механических характеристик сырья, полуфабрикатов и кондитерских изделий производители предлагают приборы, которые характеризуются широкими пределами измерения и высокой воспроизводимостью результатов (табл. 1.3).

Приборы для измерения значений каждой группы свойств (сдвиговых, компрессионных и поверхностных) имеют свою специфику. Однако общими для всех будут следующие, не считая температуры и технологических характеристик, четыре переменные: сила, момент или напряжение; расстояние, деформация, площадь или объём; время, скорость деформации или линейная скорость; энергия. В соответствии с этим механические измерительные приборы содержат устройства для регистрации усилий, деформации, времени [20].

Методология реологических исследований включает следующие этапы:

1. Изучение теории вопроса.
2. Критический анализ существующих исследований в данной области.
3. Проведение предварительных экспериментов в цепях проверки прибора, его градуировки. Кроме того, они позволяют уточнить или

1.3. Приборы для определения реологических и структурно-механических характеристик кондитерских полуфабрикатов и готовых изделий

Прибор	Определяемые показатели	Продукт
Анализатор текстуры (Brookfield CT3, LFRA CT3, А.ХТplus, ТА.HDplus, ТА.ХТexpress, ХТplus STABLE MICRO SYSTEMS.)	Твёрдость/прочность	Шоколад, желе, нуга, ирис, помадная масса, халва и марципан
	Липкость, адгезия	Жевательные конфеты, сиропы, ирис, тесто
	Текучесть	Сиропы, мёд, конфетные массы
	Хрупкость	Глазированная продукция, крекеры
	Гибкость/излом	Печенье, шоколадные плитки
	Консистенция и липкость	Начинки и добавки
	Сила разлома	Твёрдые леденцы
	Упругость	Зефир
	Рассыпчатость/ломкость	Вафли, сухое печенье
Ротационный вискозиметр (Brookfield LV, RV, HA/HB; Гепплера, Вискотестер ХААКЕ VT6Rplus)	Вязкость и текучие свойства	Все виды сиропов, пасты, вафельное и бисквитное тесто, конфетные массы
	Касательное напряжение	
	Скорость сдвига	
	Предел текучести	

выбрать математическую модель деформирования и сопоставить полученные данные с результатами других.

4. Разработка теории прибора на основе полученной математической модели деформирования, т.е. интегрирование дифференциальной модели для конкретных начальных и конечных условий, присущих выбранному прибору. Особо следует отметить, что реологические характеристики не являются «чистыми» константами и зависят от форм, размеров, скорости нагружения и других факторов.

5. Проведение основных экспериментов (испытаний). Их проводят с учётом предыдущих. Особое внимание должно быть уделено отбору проб образцов, который должен проводиться строго в соответствии с общепринятой методикой измерения. Обработка результатов экспериментов (испытаний). При этом следует помнить, что точность вычислений, особенно касается представления конечных данных, должна быть соизмерима с ошибкой экспериментов. Обычно считают, что для малоструктурированных систем и ньютоновских жидкостей ошибка не должна превышать $\pm 3\%$, а для пластично-вязких продуктов $\pm 10\%$.

6. Проверка результатов экспериментов. Её выполняют путём расчёта характеристик по полученным формулам.

7. Рекомендации по использованию результатов исследований на практике.

В отдельных случаях перечень может быть изменён в большую или меньшую сторону в зависимости от поставленной задачи.

На сегодняшний день производители предлагают универсальные приборы, как, например, ротационные вискозиметры модели HAAKE, предназначенные для работы как в режиме контролируемой скорости сдвига (CR), напряжения сдвига (CS), так и динамическом режиме (OSC) режиме. Модель вискозестера HAAKE VT7Rplus (Thermo Fisher Scientific, Германия) использована для проведения представленных в монографии исследований (рис. 1.3, 1.4).

Такой прибор может управляться компьютером с программируемым переходом между режимами CS и CR, а также с заданием колебательных напряжений и режима автоматической поддержки напряжения [126]. Современное программное обеспечение гарантирует как проведение испытаний, так и расчёт получаемых результатов.

Для измерения структурно-механических свойств применяются следующие методы измерения:

- метод постоянной нагрузки, основанный на измерении характеристик материала при приложении к нему постоянной нагрузки;



Рис. 1.3. Вискозиметр HAAKE VT7Rplus



Рис. 1.4. Набор стандартных роторов для различной вязкости исследуемой среды и требуемого диапазона скоростей деформации



Рис. 1.5. Анализатор текстуры Brookfield CT3



Рис. 1.6. Набор тестовых приспособлений для различных видов продукции

- метод постоянной скорости сдвига, основанный на измерении характеристик материала при приложении к нему постоянной скорости сдвига;
- метод постоянной силы нагружения, основанный на измерении величин во время воздействия подвижной частью прибора с неизменной массой;
- метод энергии деформирования, основанный на расчёте площади, расположенной под кривой деформирования.

Анализаторы текстуры позволяют проводить фундаментальные, эмпирические и имитирующие тесты для исследования реологических свойств твёрдых веществ, вязких жидкостей, порошков и гранулированных материалов. Удобный в использовании прибор модели Brookfield CT3 (Brookfield engineering laboratories, inc., США) оснащён широким спектром датчиков, приспособлений и принадлежностей для решения любых задач, связанных с анализом и измерением текстуры (рис. 1.5, 1.6).

Весь потенциал анализатора текстуры CT3 реализуется при его использовании в сочетании с программой для анализа текстуры TexturePro CT. Использование простых, управляемых с помощью меню возможностей для определения параметров устраняет необходимость применения сложных макросов. Существует возможность создавать протоколы испытаний, наблюдая за графиком в режиме он-лайн и сохранять результаты испытаний. Данные могут быть представлены в графическом виде, позволяющем определять динамику изменения свойств образцов и просматривать критически важные характеристики с помощью автоматически созданного отчёта.

Методики проведения испытаний реологических и структурно-механических характеристик полуфабрикатов и готовых изделий на указанных приборах приведены в прил. 1.

Глава 2

СТРУКТУРНО-МЕХАНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СЫРЬЯ КОНДИТЕРСКИХ ПРОИЗВОДСТВ

Сырьё, используемое в кондитерской промышленности, отличается многообразием структурно-механических свойств. Для правильной организации технологического процесса и получения готовой продукции со стабильными качественными характеристиками необходимо учитывать особенности реологического поведения различных видов сырья.

2.1. СТРУКТУРНО-МЕХАНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СЫПУЧИХ МАТЕРИАЛОВ

В кондитерском производстве большая часть сырья представлена в виде сыпучих материалов. Это и основное сырьё (сахар, мука, яичный порошок), и вспомогательное (крахмал, пищевые порошки, наполнители). К основным технологическим свойствам сыпучих материалов относят: сыпучесть; комкование и слеживаемость в процессе хранения (аутогезия); уплотняемость – изменение объёма порошка под действием нагрузки; адгезия к стенкам оборудования и тары.

По своей структуре сыпучие материалы не могут быть отнесены ни к твёрдым телам, ни к жидкостям. Однако их способность принимать форму сосуда и возможность движения потоком делают их похожими на жидкость. Вместе с тем каждая отдельная частица сыпучего продукта обладает свойствами твёрдого тела. Для сыпучих материалов характерна изменчивость их объёма в зависимости от гранулометрического состава и наличия воздуха в объёме [68].

Сыпучие продукты классифицируют в зависимости от диаметра частиц (табл. 2.1).

2.1. Классификация сыпучих материалов по диаметру частиц

Наименование	Диаметр частицы, мм	Пример
Пылевидные	<0,05	Мука, крахмал, сахарная пудра
Порошкообразные	0,05...0,50	Какао-порошок, яичный порошок
Мелкозернистые	0,5...2,0	Сахар-песок
Крупнозернистые	2...10	Цукаты, изюм
Кусковые	>10	Орехи

Объёмные характеристики сыпучих продуктов (насыпная плотность и удельный объём) зависят от влажности, условий транспортирования и т.д. Порозность зависит от гранулометрического состава.

К основным параметрам сыпучих материалов относятся также компрессионные, когезионные и адгезионные показатели, деформационные сдвиговые характеристики и т.д., подробно описанные в [67, 114]. Учёт этих параметров обязателен при расчёте устройств, осуществляющих транспортирование, дозирование, хранение, смешивание сыпучих материалов.

Сыпучие продукты обладают способностью сорбировать парообразную влагу из воздуха, что существенно сказывается на их структурно-механических характеристиках.

Так, сахарный песок обладает повышенной гигроскопичностью при относительной влажности воздуха, превышающей 70%, что влияет на процесс комкования, особенно когда масса сахара состоит из кристаллов разных размеров и содержит большое количество очень мелких кристаллов. Комкование создаёт значительные трудности при вовлечении сахарного песка в технологический процесс после хранения или транспортировки, затрудняет дозирование, особенно в кондитерской промышленности.

Известен способ предотвращения комкования сахарного песка, предусматривающий его смешивание с мелкими порошками оксида кремния, или алюмосиликата натрия, или трикальцийфосфата или стеарата кальция в концентрации от 0,1 до 2% [144]. Или сахарный песок перемешивают с какао-порошком, размер частиц которого не превышает $20 \cdot 10^{-10}$ м, в количестве 1...5 мас. % смеси до приобретения смеси равномерной светло-коричневой окраски, при этом процесс ведут при влажности окружающей атмосферы, не превышающей 70% [91].

Сахарный песок содержит отдельные кристаллы размером от 0,2 до 2,5 мм. Процесс комкования зависит от связанной и внутренней влаги сахарного песка, которая способствует объединению кристаллов в конгломераты (друзы). При перемешивании сахарного песка с какао-порошком частицы последнего, указанного размера, покрывают поверхность кристаллов сахарного песка за счёт адгезии частиц какао-порошка. Таким образом, создаётся барьер для объединения кристаллов, а также повышается сыпучесть сахара-песка, поскольку какао-порошок содержит до 30% масла какао, что значительно снижает коэффициент трения кристаллов между собой. При увеличении размера частиц какао порошка до величин более $20 \cdot 10^{-10}$ м адгезионная связь ухудшается [39, 95].

При смешивании сахарного песка с какао-порошком предотвращается процесс комкования продукта, сохраняется его рассыпчатость. Как показал эксперимент, превышение количества какао-порошка в смеси более 5% нецелесообразно, так как это значительно повышает гигроскопичность продукта [95].

Гранулометрический состав характеризует дисперсный состав сыпучего продукта, показывающий, какую долю или процент в анализируемой массе составляют частицы определённого диаметра. Поскольку диаметр частицы в пробе сыпучего продукта – величина случайная, гранулометрический состав описывают, как правило, с помощью методов математической статистики, в частности построения графиков распределения случайных величин.

Гранулометрический состав муки оказывает влияние на продолжительность замеса теста и обуславливает её гигроскопичность (водопоглотительную способность). Мука с мелким размером частиц (хлебопекарная мука) имеет большую водопоглотительную способность и образует прочное тесто. Мука с крупными частицами имеет низкую водопоглотительную способность и образует более пластичное тесто.

Скорость проникновения влаги внутрь частиц муки определяется в первую очередь размерами частиц муки. Крупные частицы требуют более длительного вымешивания. При одинаковом размере частиц влага будет медленнее проникать в частицы продуктов помола твёрдой пшеницы, чем в менее плотные частицы продуктов помола мягкой пшеницы.

Ниже приведена рекомендуемая характеристика пшеничной муки, применяемая при производстве кондитерских изделий (табл. 2.2) [100].

2.2. Характеристика муки для производства мучных кондитерских изделий по количеству и качеству клейковины

Группа изделий	Оптимальное количество сырой клейковины, %	Качество клейковины
<i>Печенье:</i>		
сахарное	28...34	Слабая и средняя
затяжное	25...30	Слабая
крекер (сухое)	28...34	Слабая и средняя
сдобное	32...36	То же
галеты	32...34	Средняя
<i>Пряники:</i>		
сырцовые	32...34	Слабая и средняя
заварные	32...34	Слабая
<i>Вафельный лист</i>	28...32	Слабая
<i>Полуфабрикаты для тортов и пирожных:</i>		
бисквитные	28...34	Слабая
заварные	28...36	Сильная
песочные	28...34	Слабая
слоёные	38...40	Сильная
миндально-ореховые	28...36	Слабая и средняя
сахарные	28...36	Слабая

Помимо пшеничной в кондитерском производстве всё чаще используют другие виды муки: льняную, амарантовую, гречневую, соевую. Однако их технологические свойства ещё не достаточно изучены, что необходимо для прогнозирования реологического поведения полуфабрикатов на их основе.

К сыпучим материалам относят также специальные пищевые добавки, формирующие реологические свойства продукта, студнеобразователи, которые относятся к обширной группе пищевых ингредиентов – гидроколлоидов, выделенных в самостоятельную категорию на основании общности свойств, проявляемых ими в пищевых системах. Гидроколлоиды представляют собой полимерные соединения, в макромолекулах которых равномерно распределены гидрофильные группы. Они широко используются в пищевой промышленности для загущения и гелеобразования водных растворов, стабилизации пен, эмульсий и суспензий, замедления и полного предотвращения кристаллизации льда и сахара, регулирования аромата и т.д. [66, 127].

Выбор подходящего студнеобразователя является сложной технологической задачей и должен опираться на глубокое знание технологии производства изделий; требования, предъявляемые к полуфабрикатам и готовому продукту; функциональные свойства и доступность конкретного гидроколлоида.

При разработке кондитерских изделий функционального назначения рекомендуется использовать в качестве источников обогащения продуктов БАВ порошкообразные полуфабрикаты из растительного сырья [62]. Технологические свойства добавок (табл. 2.3) позволяют получать изделия с заданными структурно-механическими свойствами. В составе группы пищевых добавок, изменяющих структуру и физико-химические свойства пищевых продуктов, можно использовать отходы пищевой промышленности и сельского хозяйства.

Гранулометрический состав (рис. 2.1) имеет значение при формировании структуры продукта.

2.3. Технологические свойства овощных порошков

Наименование показателей	Порошок тыквы	Порошок моркови
Содержание сухих веществ, %	94,0	93,0
Влагосвязывающая способность, H ₂ O/г	8,0	6,0
Влагоудерживающая способность, H ₂ O/г	6,0	4,0
Адсорбционная способность, моль/г	2,0	1,6

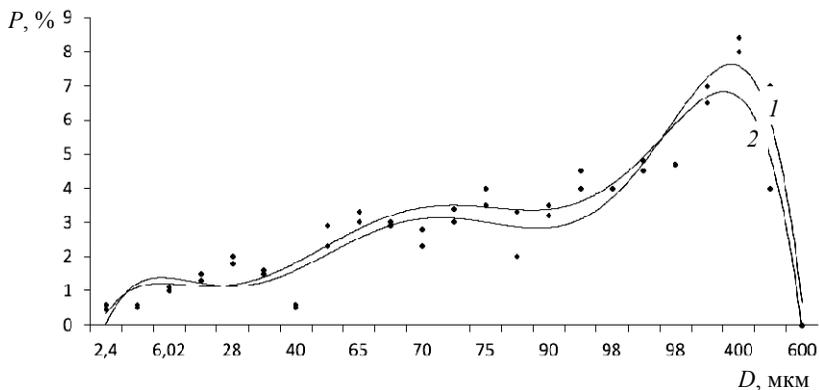


Рис. 2.1. Весовое распределение частиц овощных порошков по размерам:
1 – морковный; 2 – тыквенный

Дисперсный состав порошков находится в достаточно широком диапазоне. Разделение фракций позволит применять их как добавку для регулирования консистенции (размер фракций 0,05...0,20 мм) или как вкусовые наполнители (размер фракций 0,2...0,5 мм).

Влияние дисперсности порошков на реологические характеристики полуфабрикатов представлено на рис. 2.2 на примере изменения вязкости помадных масс.

С уменьшением размеров частиц порошка вязкость помадных масс увеличивается, что связано с увеличением его удельной поверхности и повышенной гигроскопичности.

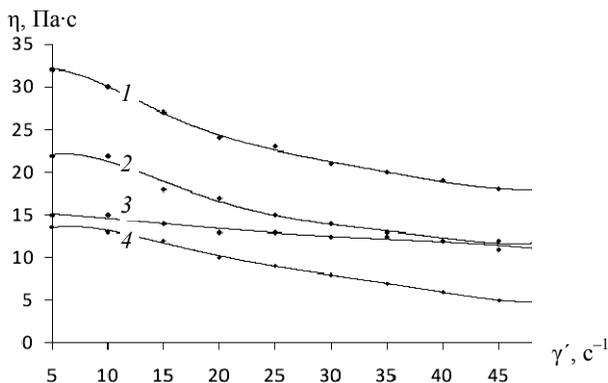


Рис. 2.2. Зависимость вязкости помадных масс от скорости деформации для различной дисперсности крапивного порошка:
1 – 0,08...0,14 мм; 2 – 0,14...0,20 мм; 3 – 0,20...0,25 мм; 4 – 0,25...0,50 мм

Способность пищевых волокон к связыванию воды обусловлена количеством и распределением гидрофильных групп вдоль молекулы, размером частиц, характером их поверхности и пористостью. Высокая водоудерживающая способность характерна для пектинов и других растворимых пищевых волокон. Растворимость в воде является основным классификационным признаком пищевых волокон, по которому они делятся на растворимые (мягкие – пектины, камеди, слизь, некоторые фракции гемицеллюлозы) и нерастворимые (грубые – клетчатка, целлюлоза), набухающие в воде и образующие при растворении коллоидные системы. Способность растворяться в воде имеет значение как для физиологического действия пищевых волокон в организме, так и для их применения в технологии пищевых продуктов [66].

Для обогащения кондитерских изделий используются биологически активные добавки в виде концентратов натуральных природных веществ, выделенных из пищевого сырья животного (в том числе морского), минерального, растительного происхождения, или же полученные путём химического синтеза, идентичные природным аналогам [66].

Изменяя соотношение элементов химического состава количества и качества вводимых добавок, их размера и вида, можно регулировать и прогнозировать питательную ценность продукта и консистенцию.

Порошковые технологии стали важной составляющей в процессе производства пищевых продуктов и кондитерских изделий в частности. Преимущества использования порошкообразных полуфабрикатов очевидны: стабильность потребительских свойств, удобство в транспортируемости и использовании, микробиологическая безопасность. В зависимости от вида структуры кондитерских изделий при их производстве используется соответствующий порошкообразный полуфабрикат [62, 90 – 93].

2.2. СТРУКТУРНО-МЕХАНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВЯЗКОПЛАСТИЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ

К вязкопластичному сырью кондитерского производства относятся жиры, патока, сгущённое молоко, глазурь. Перечисленное сырьё обладает широким разнообразием структурно-механических свойств, из которых можно выделить типичные – вязкость, упругость, пластичность.

Патока представляет собой продукт неполного кислотного или ферментативного гидролиза крахмала или их комбинации. Она является одним из основных видов сырья для кондитерской промышленности. Путём введения патоки можно изменить гигроскопичность кондитерских изделий.

2.4. Вязкость патоки в зависимости от состава и температуры

Содержание редуцирующих веществ, %	Углеводы патоки, %			Вязкость при температуре, °С			
	Глюкоза	Мальтоза	Декстрины	80	60	40	20
39,8	22,1	22,4	54,3	2,2	13,4	145,7	4073,3
52,7	28,1	30,9	40,3	0,2	1,0	9,9	154,0

Вязкость – одно из наиболее важных физических свойств патоки, зависящее от плотности, температуры, содержания сухих веществ, соотношения углеводов различной молекулярной массы, а также других компонентов: белков, минеральных солей (табл. 2.4) [39]. Вязкость уменьшается по мере увеличения декстрозного эквивалента и температуры, но увеличивается с плотностью.

Углеводный состав патоки влияет на качество и гигроскопичность кондитерских изделий при хранении. В зависимости от степени осахаривания крахмала изменяется не только углеводный состав патоки, но и их свойства: вязкость, плотность, сладость и др. [39].

Вырабатываются следующие виды патоки: низкоосахаренная (до 34% редуцирующих веществ (РВ)), карамельная (34...44% РВ), высокоосахаренная (более 44% РВ), мальтозная (более 1 моль мальтозы и менее 1 моль глюкозы) [100, 121].

Высокоосахаренная патока содержит в своём составе в 3 раза меньше крупномолекулярных декстринов, чем обычная карамельная патока, благодаря чему обладает меньшей вязкостью.

Для низкоосахаренных сортов патоки характерны высокая вязкость, связующее и антикристаллизационное действие. В то время как патока карамельная крахмальная снижает кристаллизацию сахарозы, низкоосахаренная является стабилизатором пены и эмульсий.

Мальтозная патока характеризуется умеренной характерной сладостью, хорошей термической и химической устойчивостью, низкой тенденцией к кристаллизации и высоким осмотическим давлением.

Жиры являются рецептурными компонентами многих групп кондитерских изделий в виде индивидуального сырья или составной части сельскохозяйственного сырья (орехов, кунжутного, подсолнечного семян и т.д.). Жиры играют существенную роль в образовании структуры изделий, формировании вкуса и аромата [100, 121].

Применяются в твёрдом и жидком виде. К твёрдым жирам относятся коровье сливочное масло, гидрогенизированные жиры, маргарин, кондитерский жир, какао-масло, кокосовое масло. Жидкие жиры представляют растительные масла: подсолнечное, кукурузное, соевое, арахисовое, хлопковое, оливковое, рапсовое (табл. 2.5).

2.5. Классификация жиров

Вид жира	Структура	Температура плавления, °С	Температура затвердевания, °С
Сливочное масло	Твёрдая эмульсия	28...30	18...23
Маргарин		30...34	19...25
Гидрогенизированные жиры		>34	23...28
Кондитерский жир		26...30	<21

Сливочное масло представляет собой твёрдую эмульсию, состоящую из двух фаз – жировой (молочный жир) и водно-белковой. Для производства маргарина используются животные жиры и растительные масла в натуральном и гидрированном виде. Маргарин представляет собой эмульсию воды в жире или жира в воде, или смешанную эмульсию. Гидрогенизированные жиры получают отверждением жидких растительных или животных жиров. Кондитерский жир применяют для вафельных начинок в производстве вафель. Кондитерский жир для вафельных начинок представляет собой смесь гидрогенизированного жира из растительных масел с кокосовым или пальмовым маслом (в количестве не менее 40%) [100, 121].

По своим свойствам глазури относятся к структурированным высокодисперсным системам, в которых дисперсионной средой являются расплавленный заменитель масла какао (ЗМК), а дисперсионной фазой – частицы какао-порошка, сахара и других рецептурных компонентов. Реологические свойства глазури определяются, с одной стороны, свойствами текучести жидкой расплавленной жировой фазы, а с другой – количеством, видом и гранулометрическим составом компонентов дисперсионной фазы.

Исходя из рекомендаций Международной ассоциации по производству какао, шоколада и кондитерских изделий из сахара (ОИСС), реологические характеристики определяли по методу Кессона на ротационном вискозиметре Брукфильда при 40 °С, когда жир находился в расплавленном состоянии. Согласно этой методике определяющими реологическими параметрами служат предельное напряжение сдвига (предел текучести) и пластическая вязкость, на которые существенное влияние оказывают температура и степень измельчения (дисперсность) глазури [136].

Установлено, что температура в диапазоне 35...50 °С не оказывает влияния на предел текучести кондитерской глазури. Однако с понижением температуры пластическая вязкость увеличивается (рис. 2.3), что обусловлено переходом части дисперсной среды (жидкий ЗМК) в дисперсную фазу.

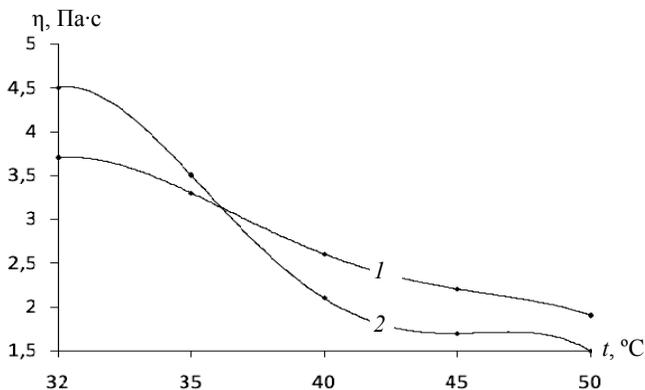


Рис. 2.3. Влияние температуры на пластическую вязкость кондитерской глазури:

1 – «Эколад 1301-33»; 2 – «Эколад 3001-35S»

Пластическая вязкость лауриновой глазури (на основе ЗМК «Эколад 3001-35S») при температурах более 37 °С ниже, чем нелауриновой (на основе ЗМК «Эколад 1301-33»), что обусловлено различным жирнокислотным составом жиров, присутствием низкомолекулярной лауриновой кислоты [136].

Поскольку приготовленная на основе ЗМК глазурь не требует темперирования, её вязкость можно корректировать изменением температуры. Максимальная температура глазури определяется видом изделия, на которое она наносится, и обычно не превышает 45 °С.

Исследованиями и практикой производства шоколадных масс, а, следовательно, и кондитерских глазурей, установлено, что для достижения высоких органолептических и оптимальных реологических показателей все частицы твёрдой фазы продукта должны находиться в узком диапазоне распределения от 10 до 30 мкм.

По литературным данным порог чувствительности языка человека составляет 25...35 мкм. Чтобы глазурь имела нежный тающий вкус, не оставляя «песчанности» во рту, все твёрдые частички должны иметь размер менее 25 мкм, дисперсность по Реуту – более 92%. Однако увеличение количества более мелких частиц (5...15 мкм) приводит к значительному увеличению пластической вязкости и предела текучести глазури, что обусловлено резким возрастанием суммарной поверхности частиц (рис. 2.4) [55].

Чтобы достичь заданных реологических характеристик для глазирования корпусов конфет без технологических трудностей, необходимо контролировать дисперсность по Реуту в строго определённых пределах – 92...94%.

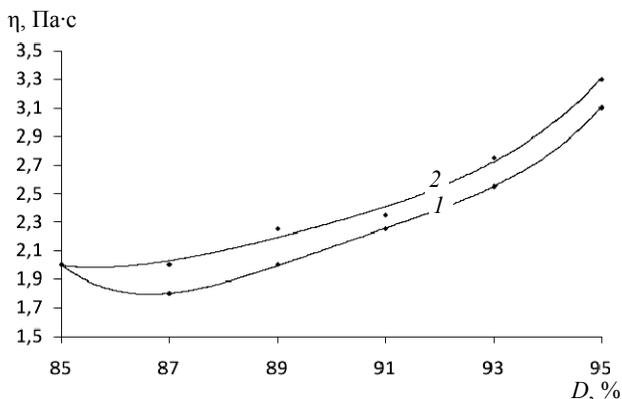


Рис. 2.4. Влияние степени измельчения на пластическую вязкость кондитерской глазури:

1 – «Эколад 1301-33»; 2 – «Эколад 3001-35S»

Принимая во внимание, что основу твёрдой фазы глазури составляют частицы сахара, какао и молочных продуктов, необходимо, чтобы их гранулометрический состав был равномерным и находился в узком диапазоне распределения от 30 до 75 мкм при отсутствии мелких и крупных частиц, поскольку они подвергаются измельчению в процессе производства [55].

Рекомендуемые значения пластической вязкости зависят от технологического оборудования, однако максимальной, по данным НИИКП, считается вязкость 3 Па·с. Этой вязкости соответствует температура 37 °С. В ходе проведённых исследований установили, что глазурь ложится равномерным тонким слоем на поверхность изделия при вязкости 2,5 Па·с, что соответствует температуре для нелауриновой глазури 41 °С, а лауриновой – 39 °С; дальнейшее снижение вязкости приведёт к истончению слоя глазури и в конечном итоге к её стеканию. Таким образом, рекомендуемая температура для нелауриновой глазури составляет 37...41 °С, лауриновой – 37...39 °С [55].

Для успешного проведения операций формирования или глазирования реологические показатели кондитерских глазурей, определяемые в соответствии с международным методом Кассона, должны находиться в определённых пределах (пластическая вязкость 1,0...3,0 Па·с, предел текучести 4,0...9,0 Па). Для регулирования реологических свойств глазурей применяют ПАВ. Как показывает практика, жидкие соевые лецитины и синтетические эмульгаторы (PGPR) по способности разжижать глазури превосходят другие ПАВ.

2.6. Диапазон возможного использования и рекомендуемая дозировка растительных порошков в производстве глазурей

Наименование растительного порошка	Диапазон возможного использования растительного порошка, % к массе глазури по рецептуре	Рекомендуемая дозировка использования растительного порошка, % к массе глазури по рецептуре
Тыквенный	0,1...20,0%	15...20%
Морковный	0,1...15,0%	10...15%
Яблочный	0,1...20,0%	15...20%
Апельсиновый	0,1...15,0%	10...15%
Пшеничный	0,1...20,0%	15...20%

Установлен диапазон возможного использования растительных порошков в производстве глазурей и рекомендованы следующие дозировки (табл. 2.6) [99].

Раскрыт механизм влияния растительных порошков на свойства глазурей, изготовленных на основе различных жиров – заменителей какао-масла, в результате чего установлено, что растительные порошки в количестве от 0,1 до 20,0% к общей массе глазури повышают её вязкость на 20...60%, увеличивая их адгезионное напряжение и напряжение сдвига.

Таким образом, рассмотренные показатели сырья являются основополагающими при управлении технологическими режимами производства для формирования заданных реологических свойств полуфабрикатов, а затем структурно-механических показателей и консистенции готовых изделий.

Глава 3

РЕОЛОГИЯ САХАРИСТЫХ КОНДИТЕРСКИХ ИЗДЕЛИЙ

Основным сегментом сахаристых кондитерских изделий являются конфеты. В зависимости от рецептуры и технологии получения конфетных масс они могут иметь студнеобразную, пенообразную или кристаллическую структуру. Реологические и структурно-механические характеристики являются важнейшими показателями, характеризующими свойства конфетных масс как полуфабриката, поступающего на дальнейшие технологические операции и формирующего качество готового продукта. Исследование адгезионных свойств позволяет оценить возможность использования различных методов формования или совмещения различных по физико-химическим и реологическим свойствам конфетных масс для получения комбинированных изделий.

3.1. РЕОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОМАДНЫХ МАСС И КОНФЕТ С ПОМАДНЫМИ КОРПУСАМИ

Помада – это гетерогенная система, состоящая из двух фаз: твёрдой (60%) и жидкой. Твёрдая фаза помады – это микрокристаллы сахарозы различных размеров; жидкая фаза – это насыщенный раствор сахарозы в присутствии сахаров-антикристаллизаторов (глюкоза, мальтоза, фруктоза). Кроме того, в помаде обычно содержится и третья (газообразная) фаза – небольшое количество (2...6 об. %) пузырьков воздуха, который попадает в помаду при её сбивании. Эта фаза почти не влияет на качественные показатели помады и удаляется при темперировании. В зависимости от основного вида сырья помадные массы подразделяют на сахарную, молочную, сливочную, крем-брюле (молочную и сливочную) и фруктовую [39, 114].

Основное влияние на консистенцию и качество помады оказывает соотношение между твёрдой и жидкой фазой и химическим составом жидкой фазы. Однако это соотношение, как и полидисперсный состав кристаллов, непостоянно и зависит от ряда факторов: вязкости помадного сиропа, рецептурного состава и температуры. Кроме того, химический состав жидкой фазы определяет растворимость сахарозы в ней и её вязкость.

Структурообразование помадных масс определяется процессом кристаллизации сахарозы. Основы структуры высококонцентрированных дисперсных систем закладываются в начальный период структурообразования и зависят от исходного состояния помадной массы и технологических параметров кристаллизации.

Важнейшим показателем, характеризующим структуру и консистенцию помады, является размер кристаллов, составляющих её твёрдую фазу. На дисперсность влияет ряд факторов: рецептурный состав, степень пересыщения кристаллов, режимы сбивания и охлаждения помадной массы. Высококачественной считается помада с преобладанием фракций кристаллов от 10 до 12 мкм. Наличие 20% кристаллов размером 25...30 мкм и более делает помаду грубокристаллической. Избыток кристаллов размером 5...6 мкм делает продукт вязким [43]. Таким образом, размер частиц сахарозы существенно влияет на качество помадных конфет.

Размер кристаллов твёрдой фазы является одним из важнейших показателей определяющих качество помадной массы. Увеличение количества твёрдой фазы приводит к улучшению дисперсности помады. На дисперсность влияет ряд факторов: рецептурный состав, степень пересыщения кристаллов, режимы сбивания, темперирования и охлаждения помадной массы.

Высококачественной считается помада с преобладанием фракций кристаллов от 10 до 12 мкм. Наличие 20% кристаллов размером 25...30 мкм и более делает помаду грубокристаллической. Избыток кристаллов размером 5...6 мкм делает продукт вязким [61].

В кондитерском производстве для оценки дисперсности частиц размером менее 100 мкм применяют две характеристики – степень измельчения по методу профессора Реутова и размер, определённый с помощью микрометра. В настоящее время всё большее распространение приобретает метод дисперсионного анализа с помощью оптической микроскопии [114, 130].

На рисунке 3.1 представлены результаты макросъёмки свежих образцов молочных помадных конфет и образцов после хранения в течение 5 месяцев.

По результатам макросъёмки строятся интегральные и дифференциальные кривые распределения частиц по размерам, и определяется дисперсный состав помадной массы.

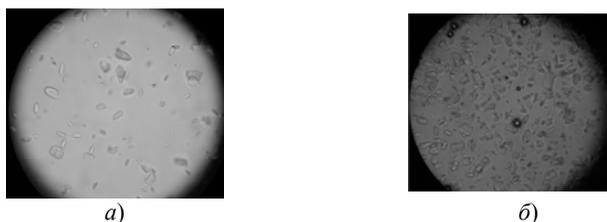


Рис. 3.1. Кристаллы сахарозы в помадной массе (увеличение $\times 100$):
а – свежеприготовленная помада; б – через 5 месяцев хранения

Изменение рецептуры помады приводит к заметному изменению дисперсности частиц сахарозы. Так, при внесении порошка фитодобавок дифференциальные кривые сдвигаются в сторону более мелких кристаллов. Причём увеличение дозировки добавок приводит к наибольшему увеличению максимума кривой (рис. 3.2). Это можно объяснить образованием большого количества центров кристаллизации и увеличением суммарной поверхности кристаллизации из-за введения новых центров кристаллизации в виде используемых обогатителей.

Стадия темперирования является заключительной в формировании консистенции помады и будущей структуры корпуса. Скорость рекристаллизации возрастает с увеличением амплитуды и частоты колебания температуры, повышением дисперсности кристаллов, с уменьшением содержания твёрдой фазы и не зависит от количества суспензии. Поэтому процесс темперирования должен быть кратковременным, а температура помады при выходе из помадосбивальной машины должна быть близкой к температуре формования.

В процессе формования помадная масса постоянно находится в состоянии движения, которое сопровождается его деформацией. Для того чтобы вызвать течение помадной массы по каналам формирующих машин с заданной скоростью, необходимо приложить к нему определённые усилия, которые будут зависеть от вязкости помадной массы.

Кривые изменения вязкости от скорости сдвига имеют вид, характерный для структурированных систем, с увеличением скорости сдвига вязкость уменьшается, причём особенно быстро в диапазоне сравнительно

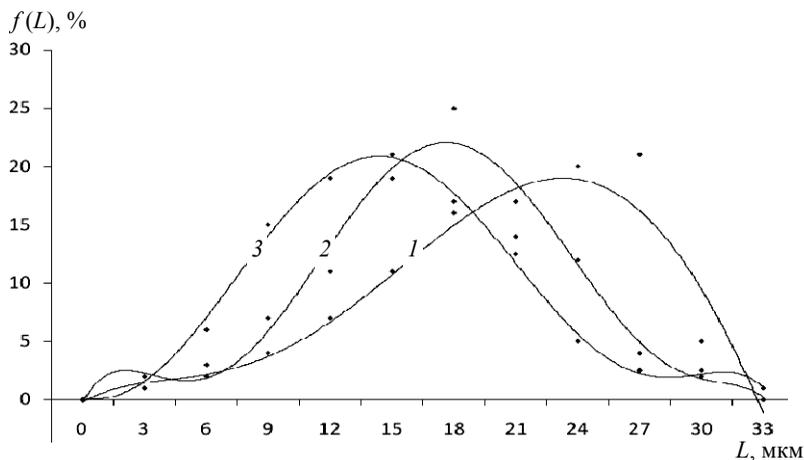


Рис. 3.2. Дифференциальные кривые распределения кристаллов сахарозы в помадной массе по размерам:

1 – без добавок; с добавлением порошка крапивы: 2 – 0,5%; 3 – 1%

3.1. Зависимость эффективной вязкости (Па·с) помадной массы от температуры и скорости сдвига

Температура массы, °С	Скорость сдвига, с ⁻¹							
	0,5	1	3	5	7	10	13	16
20	21,2	13,5	7,0	5,4	4,63	3,82	3,34	2,95
24	20,0	12,6	6,2	4,7	3,80	3,08	2,62	2,30
28	15,2	9,0	4,1	3,1	2,52	2,04	1,72	1,53
32	10,8	6,0	2,8	2,0	1,68	1,40	1,23	1,07
36	4,0	2,5	1,5	1,2	1,06	0,94	0,86	0,79

малых скоростей сдвига, а при дальнейшем увеличении скорости вязкость изменяется незначительно. На реологические свойства помадных масс существенное влияние оказывает температура (табл. 3.1) [20].

Большое влияние на реологическое поведение конфетных масс оказывает влажность. При изменении влажности от 10 до 13%, что соответствует рецептурным пределам, происходит снижение вязкости, эквивалентное повышению температуры на 4...6 °С, что отрицательно сказывается на качестве готовой продукции [20].

Помадная масса проявляет аномалию вязкости при избыточном давлении, при этом эффективная вязкость при всех скоростях сдвига с повышением давления заметно возрастает (наибольшие изменения вязкость претерпевает при увеличении давления от 0 до 0,98-105 Па), это связано с тем, что повышение давления приводит к увеличению напряжения сдвига при той же скорости сдвига.

Несмотря на то что в справочной литературе приведено большое количество данных по значениям коэффициентов и индексов течения помадных конфетных масс, на практике для инженерных расчётов оборудования и теххимического контроля производства часто используют эмпирические уравнения зависимости вязкости от содержания рецептурных ингредиентов, влажности, температуры и градиента скорости сдвига. Такие формулы предложены А. В. Зубченко, Б. А. Карпиным, Ю. А. Мачихиным и др. [20, 39].

В настоящее время бурное развитие получило направление обогащения кондитерских продуктов, в том числе и помадных конфет, различными добавками, повышающими качество, улучшающими органолептические показатели и структурно-механические характеристики готовой продукции, позволяющими восполнить потребности человека в биологически-активных веществах и т.д. Проводятся исследования глубокого изучения реологии помадных масс и конфет на их основе (табл. 3.2).

3.2. Обзор реологических исследований помадных масс

Задачи исследования	Методы исследования	Результаты исследования	Авторы, источник
Определение влияния дозировок фитопасты и технологических параметров на реологические характеристики помадной массы и процесс структурообразования корпусов конфет	Определение реологических характеристик помадной массы и готовых изделий проводили на пенетрометре AP-1/4, структуромере СТ1 и вискозиметре Reotest-2	Установлено, что использование фитопасты улучшает дисперсность и реологические свойства помадной массы (предельное напряжение сдвига увеличивается на 60%), значительно повышает степень структурообразования	А. В. Темников [120]
Исследование влияния добавок из листьев грецкого ореха на реологические свойства помадной массы; исследование влияния рецептурных компонентов на структурно-механические свойства помадной массы	Не указаны	Показано, что введение порошка и водно-спиртового экстракта из листьев грецкого ореха в модельные помадные массы значительно повышает степень структурообразования, что позволяет рекомендовать их для регулирования технологического процесса. Обосновано применение 3% порошка и 20% водно-спиртового экстракта из листьев грецкого ореха к массе сахара для улучшения структурно-механических свойств помадных масс. Установлено, что порошок и водно-спиртовый экстракт из листьев грецкого ореха улучшают дисперсность помады, увеличивая содержание твёрдой фазы и образование более мелких кристаллов	М. А. Сквиря [113]

Продолжение табл. 3.2

<p>Определение влияния дозировок концентрированной пасты из сахарной свёклы и технологических параметров на реологические характеристики помадной массы</p>	<p>Общепринятые структурно-механические методы исследования</p>	<p>Установлено, что введение в рецептуру помадной массы концентрированной пасты взамен яблочного пюре способствует уменьшению вязкости и не влияет на размер кристаллов твердой фазы</p>	<p>В. В. Астретдинова [6]</p>
<p>Изучение структурно-механических свойств помадных масс на основе изомальтулозы</p>	<p>Измерения реологических характеристик проводились на структуромере СТ2</p>	<p>Показано, что увеличение доли сахараменителя в помаде приводит к увеличению максимального усилия нагружения, усилие деформации возрастает на 36...38%, т.е. масса имеет более выраженную упруговязкопластичную структуру</p>	<p>Т. А. Петрянина [98]</p>
<p>Исследование влияния концентрированной пасты из топинамбура на реологические и структурно-механические характеристики помадных масс и изделий</p>	<p>Не указаны</p>	<p>Выявлено, что увеличение редуцирующих веществ препятствует росту крупных кристаллов сахарозы. Увеличивается количество жидкой фазы и снижается прочность отформованных изделий</p>	<p>Г. О. Магомедов [59]</p>
<p>Изучение влияния нутовой муки на структурообразование помадных корпусов конфет</p>	<p>Не указаны</p>	<p>Отмечено ускорение процесса структурообразования и получение конфет с мелкокристаллической структурой. Возможность формирования массы с влажностью на 2...3% выше, чем у конфет, полученных традиционным способом</p>	<p>Т. В. Савенкова [110]</p>

Задачи исследования	Методы исследования	Результаты исследования	Авторы, источник
Исследование влияния соплового обдува на реологические свойства помадных масс и структурно-механические характеристики конфет	Не указаны	Установлено, что воздействие струй воздуха на поверхность помадной массы приводит к релаксации внутренних напряжений. Чрезмерно низкая температура обдува приводит к растрескиванию корпусов конфет. Получена зависимость балльной оценки качества помадных конфет от температуры отливки и времени выстойки	Е. Д. Чертов [133]
Выбор рационального времени и величины воздействия для правильного ведения технологического процесса получения конфетных масс	Условия объёмного нагружения материалов при постоянной деформации	Выявлено, что с повышением температуры помадной массы релаксация давления замедляется, обработку массы рекомендовано проводить при температуре не выше 28 °С, чтобы избежать остаточных давлений в готовом продукте. Изучена релаксация давления в сливочной помадке на поршневом прессе в условиях всестороннего сжатия	Ю. А. Мачихин, Ю. Ф. Белокрылов, С. М. Калинина [69]
Обоснование режимов производства новых видов конфет по результатам исследований реологических свойств конфетных масс	Реологические свойства желейных масс определяли методами ротационной вискозиметрии на приборе HAAKE VT7-Rplus, структурно-механические свойства студней – на текстурном анализаторе CT3 Texture Analyzer	Проведен анализ влияния дисперсности и концентрации фитодобавок на реологические свойства помадных масс. Даны рекомендации для выбора режимных параметров стадий темперирования и формования новых видов помадных конфет	Е. И. Муратова, П. М. Смолихина, Н. В. Донских [70]

При производстве новых видов помадных конфет с использованием обогатителей и технологических добавок необходимо оценить их влияние на реологические характеристики помадной массы как полуфабриката и органолептические свойства готовых изделий, ведь для помадных изделий такие основные качественные признаки, как «вкус» и «структура», стоят на одном уровне.

При внесении в помадную массу порошкообразных растительных полуфабрикатов различной дисперсности существенно изменяются реологические характеристики помадных масс и структурно-механические свойства конфет. Используемые добавки обладают высокой адсорбционной и водоудерживающей способностью, поэтому при смешивании с помадной массой они хорошо поглощают и удерживают влагу, что приводит к значительному увеличению вязкости и повышению коэффициента насыщения (рис. 3.3).

С увеличением скорости деформации для всех образцов вязкость в начале процесса измерения в диапазоне скоростей деформации 5...10 c^{-1} изменяется незначительно, практически оставаясь на постоянном уровне, однако с дальнейшим ростом скорости деформации (в интервале 10...20 c^{-1}) вязкость резко падает. При повышении скорости деформации выше 20 c^{-1} её снижение происходит медленнее, приближаясь к постоянному значению. Вид данных зависимостей указывает на то, что помада с добавлением фитодобавок ведёт себя как структурированная система, в интервале скоростей деформации 5...10 c^{-1} структура остаётся практически неизменной. При дальнейшем увели-

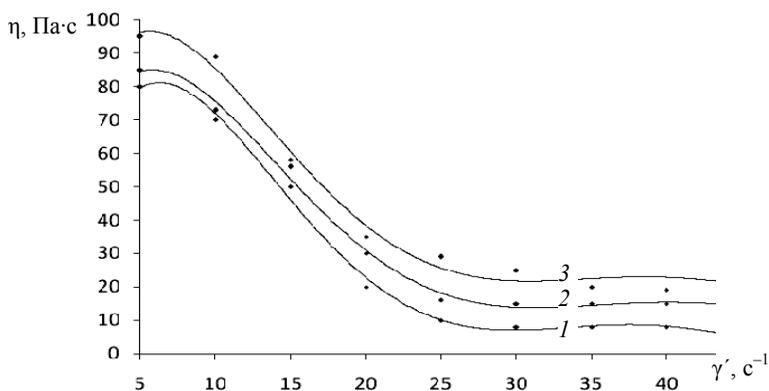


Рис. 3.3. Зависимость вязкости помадных масс от скорости деформации для разных концентраций порошка листьев мелиссы:
1 – 0,5%; 2 – 1%; 3 – 1,5%

чении скорости более 10 c^{-1} связи между частицами постепенно разрушаются, что приводит к переходу помадной массы из связнодисперсного в свободнодисперсное состояние и резкому падению вязкости.

На полученных графиках хорошо прослеживается влияние количества вводимых фитодобавок на вязкость помадной массы. Во всех случаях с увеличением концентрации фитодобавок вязкость помадных масс увеличивалась, в среднем при увеличении концентрации добавки на 0,5% вязкость масс увеличивалась примерно на 5...10 Па·с, при этом сам характер зависимостей менялся незначительно.

Зависимости напряжения сдвига от скорости деформации (рис. 3.4) также характерны для обычных помадных масс, при малых значениях скоростей деформации напряжение сдвига изменяется незначительно, с ростом скорости при определенном её значении начинается быстрый рост напряжения сдвига, который при дальнейшем возрастании скорости постепенно замедляется и переходит к почти постоянному значению. Но, как и в случае с вязкостью, значения напряжений сдвига несколько возрастают по сравнению с помадной массой без добавок.

Количество вносимых фитодобавок оказывает такое же влияние на напряжение сдвига, как и на вязкость. С ростом концентрации добавок напряжение сдвига увеличивалось. При увеличении концентрации добавки на 0,5% напряжение сдвига увеличивалось в среднем на 50...70 Па.

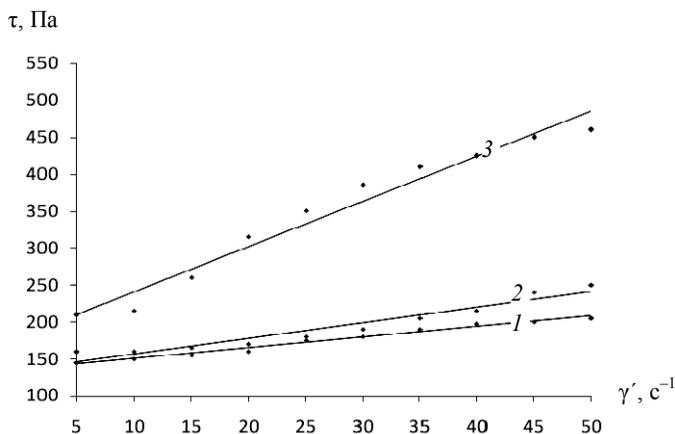


Рис. 3.4. Зависимость напряжения сдвига помадной массы от скорости деформации для разных концентраций порошка крапивы:
1 – 0,5%; 2 – 1%; 3 – 1,5%

Полученные зависимости указывают на увеличение прочности структуры помадной массы при внесении в неё фитодобавок, разрушение структуры и резкое падение вязкости помады без добавок происходит при более высоких значениях скорости деформации ($5 \dots 10 \text{ с}^{-1}$), в то время как разрушение структуры помады без добавок происходит при скоростях деформации менее 5 с^{-1} . По большей части это объясняется тем, что все вводимые порошки имеют сильно развитую удельную поверхность, что обуславливает их склонность к адсорбции влаги и набуханию, что и увеличивает вязкость помадной массы.

Влияние дисперсности добавок на реологические свойства помадных масс оценивалось на примере крапивного порошка и представлено на рис. 3.5.

С уменьшением размеров частиц крапивного порошка вязкость и напряжение сдвига помадных масс увеличивается. При уменьшении размеров частиц приблизительно на $0,06 \text{ мм}$ вязкость увеличивается в среднем на $5 \dots 7 \text{ Па}\cdot\text{с}$, а напряжение сдвига на $40 \dots 80 \text{ Па}$. Это обуславливается тем, что с уменьшением размера частиц вносимых добавок увеличивается их удельная поверхность и число центров кристаллизации, что приводит к увеличению вязкости помадных масс.

Влияние температуры на вязкость помадной массы, содержащей $0,5\%$ порошка крапивы дисперсностью $0,25 \dots 0,50 \text{ мм}$ (рис. 3.6), аналогично влиянию температуры на вязкость обычной помады – с ростом температуры вязкость нелинейно снижается.

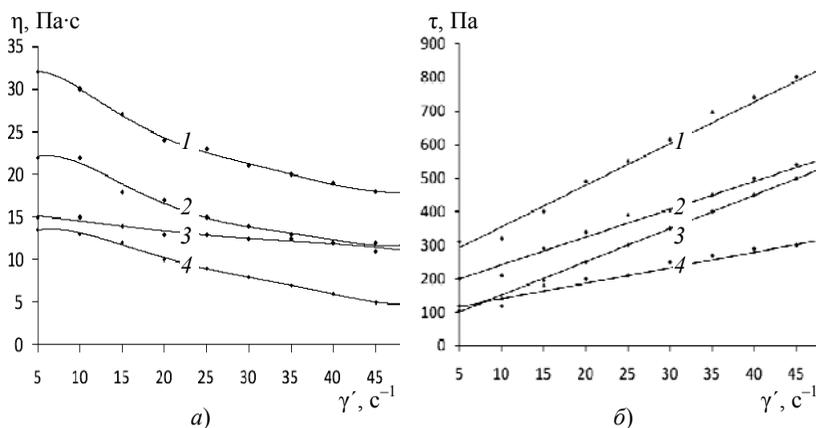


Рис. 3.5. Зависимость вязкости (а) и напряжения сдвига (б) помадных масс от скорости деформации для различной дисперсности порошка крапивы: 1 – $0,08 \dots 0,14 \text{ мм}$; 2 – $0,14 \dots 0,20 \text{ мм}$; 3 – $0,20 \dots 0,25 \text{ мм}$; 4 – $0,25 \dots 0,50 \text{ мм}$

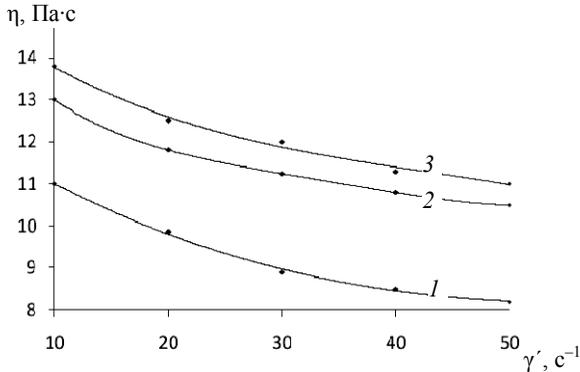


Рис. 3.6. Зависимость вязкости помадной массы от скорости деформации при температуре:

1 – 90 °C; 2 – 85 °C; 3 – 80 °C

Для математического описания полученных в ходе экспериментов зависимостей было получено уравнение, описывающее влияние скорости деформации и дисперсности крапивного порошка на вязкость помадной массы:

$$\eta(\gamma') = d \exp(-0,001a\gamma' \cdot 2) (1 + 0,000001b(\gamma' - c) \cdot 3), \quad (3.1)$$

где η – вязкость, Па·с; γ' – скорость деформации, с⁻¹; a , b , c , d – коэффициенты, зависящие от дисперсности используемой добавки.

После аппроксимации зависимости вязкости помадной массы с фитодобавкой разной дисперсности от скорости деформации получаем зависимость от двух переменных:

$$f(\gamma', D) = d(D) e^{-0,001a(D)\gamma'^2} \left[1 + 10^{-6} b(D)(\gamma' - c(D))^3 \right], \quad (3.2)$$

где D – дисперсность фитодобавки, мм.

Результаты исследований процесса структурообразования помадных масс, приготовленных с добавлением порошка из листьев грецкого ореха, фитопаст или нутовой муки, также подтверждают, что продолжительность структурообразования снижается на 40...50% (30...35 мин по сравнению с контролем 50...55 мин). При использовании добавок изменяется состав жидкой фазы, что приводит к изменению концентрации сахарозы в ней, в результате чего повышается коэффициент пересыщения, и процесс структурообразования происходит значительно быстрее [110, 113, 120]. Замена сахарозы на изомальтулозу приводит к увеличению максимального усилия нагружения на помадную массу, усилие деформации возрастает на 36...38%, а сам полуфабрикат имеет более выраженную упруговязкопластичную структуру [6].

3.3. Изменение агрегатного состояния помады в зависимости от температуры

Температура, °С	Агрегатное состояние
>80	Вязкая хорошо текучая масса
40...60	Вязкопластичная масса, способная к течению
25...40	Образование кристаллической корочки на поверхности с сохранением высоковязкой массы внутри
<25	Кристаллическая структура по всему объёму

В результате исследования реологических свойств сахарных помадных масс можно проследить изменение их агрегатного состояния в зависимости от температуры (табл. 3.3).

Оценка реологических характеристик помадной массы на стадии темперирования и поиск их взаимосвязи со структурой готовых помадных конфет позволит производителю путем варьирования технологических режимов на последующих стадиях производства добиться необходимых свойств готового продукта.

3.2. РЕОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЖЕЛЕЙНЫХ ПОЛУФАБРИКАТОВ И КОНФЕТ, ИЗГОТОВЛЕННЫХ НА ИХ ОСНОВЕ

Желейный полуфабрикат представляет собой студнеобразную некристаллическую массу, а готовые изделия имеют упругоэластичную консистенцию. Желейные конфетные массы готовят увариванием патоки и сахара с добавлением студнеобразователей (агара, агароида, пектина, фуцелларана, желатина и др.). Выбор конкретного студнеобразователя и его концентрации осуществляется исходя из требуемой структуры желейного студня [57].

Студень представляет собой поликомпонентную систему, состоящую из высокомолекулярного соединения и низкомолекулярной жидкости с преобладающим содержанием последней и проявляющую способность к высокой обратимой деформации при практически полном отсутствии текучести. Наличие такого устойчивого взаимодействия между макромолекулами высокомолекулярных соединений или их агрегатами обуславливает создание пространственной сетки (каркаса), в которой отдельные её элементы не имеют кинетической самостоятельности [86].

Студни можно разделить на две большие группы:

- представляющие собой набухшие сшитые полимеры с молекулярной пространственной сеткой (студни первого типа);

- пространственный каркас имеет не молекулярный, а фазовый характер (студни второго типа).

Студни каждого типа имеют свои особенности, наиболее важными из которых являются механизмы образования и поведение в процессах деформирования.

Особенностью пектина как студнеобразователя является способность формировать гели в водных растворах только в присутствии сахара и кислоты. Для образования прочного студня в трёхкомпонентной системе пектин–сахар–кислота необходимо их оптимальное соотношение, которое не носит абсолютного характера, а зависит от вида пектина, определяющего пределы соотношения компонентов рецептурной смеси [147, 149].

Образование пектинового студня происходит за счёт упорядочивания (параллельного выравнивания) и постепенного упрочнения пектиновой сетки. При этом дисперсионная среда, заполняющая внутреннее пространство каркаса, остаётся относительно жидкой по сравнению с самими пектиновыми цепями, а различные слои сеток соединяются между собой дополнительно посредством вторичных сил, которые могут разрушаться при приложении напряжения и восстанавливаться при его снятии.

Исследования структуры пектино-сахаро-кислотных студней цитрусовых пектинов (рис. 3.7, 3.8) методами атомно-силовой и электронной микроскопии свидетельствуют о том, что каждая нить пространственного каркаса студня состоит из четырёх перекрученных пектиновых молекул, при этом на поверхности каждой молекулы иммобилизовано ~47 молекул сахарозы [140, 141, 146].

Пространственная структура студня представляет собой ячеистую структуру, пронизывающую всю массу, образованную длинными и гибкими макромолекулами студнеобразователя за счёт внутри- и межмолекулярного взаимодействия. Свободное пространство структурного каркаса студня заполняется дисперсионной средой, представленной

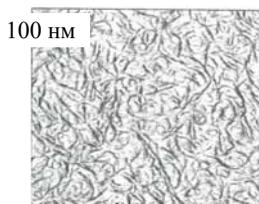


Рис. 3.7. Структура пектино-сахаро-кислотных студней цитрусовых пектинов

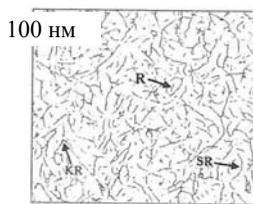


Рис. 3.8. Структура студня, состоящая из стержней (R), сегментированных стержней (SR), перекрученных стержней (KR) или комбинаций этих элементов, связанных на одном из концов

концентрированным водным раствором сахаров, патоки и кислоты. При этом вследствие взаимодействия дисперсной фазы и дисперсионной среды образуется вторичная коагуляционная структура, представленная структурированными оболочками дисперсной среды вокруг молекул студнеобразователя.

Ассоциация цепей молекул ведёт к образованию студня (геля). Структурирование при застудневании раствора идёт непрерывно, сопровождаясь постепенным увеличением относительной вязкости системы [29, 38, 39].

Агар – самый сильный желирующий агент. Студни, приготовленные на его основе, в отличие от всех других студнеобразователей характеризуются стекловидным изломом. Он представляет собой смесь полисахаридов агарозы и агаропектина, в основе которых лежит галактоза. Студнеобразующая способность агара зависит от длины цепочек молекул, что определяется молекулярной массой.

Наиболее важной характеристикой агаровых студней, определяющей их структурно-механические свойства, является величина заряда высокомолекулярного аниона, который обусловлен числом сульфитных групп в единице массы студнеобразователя и природой катиона [38, 39]. Вводя в молекулу агара тот или иной катион, можно в заранее известном направлении изменять величину заряда высокомолекулярного аниона, а, следовательно, и физико-химические свойства студнеобразователя.

Основные закономерности образования пектинового студня приемы к объяснению образования агаровых студней. Только в данном случае присутствие сахара не обязательно, а кислота, наоборот, разрушающе действует на молекулу агара. Полагают, что агар больше связывает воду, чем пектин, и количество присутствующей воды недостаточно для полной гидратации молекул агара. Агар диссоциирует в растворе на ионы. Для регулирования величины заряда высокомолекулярного аниона агара в рецептурную смесь добавляют соли щелочных металлов и слабых органических кислот. Эти соли не только уменьшают гидролизующее действие кислоты на молекулу агара, но, нейтрализуя отрицательный заряд диссоциированных молекул, способствуют их взаимодействию, в результате чего образуется студень [39].

Подходящий тип студнеобразователя подбирается таким образом, чтобы полученный продукт имел температуру студнеобразования ниже заданной температуры формования. Тем самым избегают преждевременного желирования, которое может отрицательно повлиять на текстуру студня.

Высокомолекулярные соединения связывают в продукте свободную воду. Если в процессе получения студня и его последующей обработки требуемый эффект связывания воды достигается не полностью, проявляется тенденция к «сжатию» геля с выделением воды – синерезису (молекулы студнеобразователя сближаются и выдавливают

связанную воду из решётки студня). Возникновение сильного синерезиса в готовых изделиях снижает органолептические и приводит к изменению структурно-механических характеристик продукта [39].

Для студней, полученных в оптимальных условиях, в связи с высоким содержанием сухих веществ синерезис не характерен. Он проявляется лишь в случае механического разрушения структуры студня и усиливается в процессе дальнейшего хранения. Поэтому наиболее частой причиной синерезиса в данном случае является несоблюдение технологических режимов (неполное растворение студнеобразователя, преждевременное желирование) и рецептурных соотношений (слишком низкая дозировка пектина).

Таким образом, для выбора подходящего вида студнеобразователя следует учитывать следующие основные критерии: температуру формования; консистенцию готового продукта; реакцию среды; состав среды.

Желейный полуфабрикат представляет собой студнеобразную некристаллическую массу, а готовые изделия имеют упругоэластичную консистенцию. Желейные конфетные массы готовят увариванием патоки и сахара с добавлением студнеобразователей (агара, агариода, пектина, фуцелларана, желатина и др.). Выбор конкретного студнеобразователя и его концентрации осуществляется исходя из требуемой структуры желейного студня [56].

Для получения конфетной массы с необходимой массовой долей влаги и вязкостью в смесь добавляют соли модификаторы (буферные соли), изменяющие свойства сахаропаточного сиропа: лактат натрия, цитрат натрия, ацетат натрия, фосфат натрия и др. Добавление их приводит к уменьшению вязкости рецептурной смеси, понижению температуры студнеобразования на 10...30 °С, увеличению времени студнеобразования. Понижение вязкости смеси позволяет уваривать её до меньшей остаточной влажности, рН среды от действия буферных солей повышается на 0,1...0,7, поэтому в процессе уваривания нарастание редуцирующих веществ не происходит или оно идёт медленно [56].

Прочность получаемого студня играет основную роль в качественной характеристике желейных конфет. Слишком большая прочность придаёт изделиям резинообразное состояние и жёсткость, малая прочность приводит к деформации отформованных корпусов, а также к быстрому выделению из них жидкой фазы (синерезис). В зависимости от используемого студнеобразователя, условий производства и ведения технологического процесса можно получать желейные студни различной прочности [43].

Обзор исследований, посвящённых изучению реологических характеристик желейных масс и структурно-механических характеристик студней, приведён в табл. 3.4.

Применение различных видов студнеобразователей и варьирование их количества позволяет добиваться заданных структурно-механических и физико-химических свойств готовых конфет.

3.4. Обзор реологических исследований жележных масс и студней

Задачи исследования	Методы исследования	Результаты исследования	Авторы, источник
<p>Исследование возможности использования CO₂-экстрактов и шротов пряно-ароматических трав в качестве добавок при производстве жележных мармеладов в целях придания функциональных свойств. Исследование влияния этих добавок на реологические свойства мармеладных масс</p>	<p>Не указаны</p>	<p>Определены концентрации CO₂-экстрактов и шротов, позволяющие получать прочный мармеладный студень с низкой адгезионной способностью, обладающий повышенной пищевой ценностью и улучшенными органолептическими характеристиками</p>	<p>В. А. Обозняя [78]</p>
<p>Разработка технологии изготовления жележного мармелада на агаре диабетического, лечебно-профилактического, функционального назначения с добавлением ягод</p>	<p>Определение структурно-механических свойств студней проводили на структуромере СТЗ</p>	<p>Определены оптимальные значения дозировок рецептурных ингредиентов (сахара и малинового пюре) для достижения оптимального значения пластической прочности мармеладной массы</p>	<p>Г. О. Магомедов и др. [60]</p>
<p>Исследование влияния гидроколлоидов различного происхождения на текстуру продукта</p>	<p>Реологические свойства масс определяли методами ротационной вискозиметрии</p>	<p>Изучены качественные характеристики текстуры продуктов с добавлением различных гидроколлоидов и наполнителей и их различным соотношением. Получены количественные характеристики динамической вязкости систем с использованием модифицированных крахмалов, карбоксиметилцеллюлозы, камеди рожкового дерева, гуара, тары, карайи, высоко- и низкометоксилированных пектинов, каппа, йота и лямбда каррагинанов, агара микробиологического, камеди ксантана, желатиновой камеди</p>	<p>А. Ю. Золотин и др. [37]</p>

Продолжение табл 3.4

Задачи исследования	Методы исследования	Результаты исследования	Авторы, источник
<p>Моделирование и оптимизация реологических характеристик жележных масс; обоснование выбора способа формирования мармеладных изделий</p>	<p>Традиционные и специальные методы исследований – аналитические, физико-химические</p>	<p>Проведено моделирование и оптимизация реологических характеристик жележных масс. Получено оптимальное соотношение дозировки сахара 55,8% и малинового пюре из деформированных ягод 22,3% и значение пластической прочности $-49,62 + 2,1$ кПа. Предложен новый прогрессивный способ формирования и упаковки мармеладных изделий с помощью вакуумного шприца непрерывного действия</p>	<p>И. Х. Арсанукаев [5]</p>
<p>Изучение возможности использования полидекстрозы в качестве заменителя легкоусвояемых углеводов рецептуры. Исследование влияния полидекстрозы на структурно-механические свойства мармелада</p>	<p>Не указаны</p>	<p>Обоснована возможность полной замены патоки в рецептуре мармелада на полидекстрозу. Доказано, что применение полидекстрозы способствует повышению скорости гелеобразования и прочности мармеладного студня</p>	<p>Е. Г. Полунин [101]</p>
<p>Обоснование возможности использования обезжиренного облепихового шрота, полученного после приготовления облепихового масла, в технологии производства жележного мармелада</p>	<p>Не указаны</p>	<p>Доказано, что использование обезжиренного облепихового шрота положительно влияет на структурно-механические свойства мармелада: сокращается продолжительность студнеобразования жележных батонов и повышается прочность мармеладного студня</p>	<p>Г. В. Иванова [41]</p>
<p>Разработка научно обоснованных технологических решений по созданию жележных термостабильных начинок на основе пектина</p>	<p>Определение относительной вязкости с использованием капиллярного вискозиметра Оствальда</p>	<p>Установлена зависимость студнеобразующей способности пектинов от температуры. Проведены комплексные исследования реологических и физико-химических показателей качества термостабильных начинок</p>	<p>Д. В. Хрундин [131]</p>

Исследование влияния фитодобавок на реологические свойства желейных масс и кинетики студнеобразования	Реологические свойства желейных масс определяли методами ротационной вискозиметрии на приборе НААКЕ VT7-Rplus, структурно-механические свойства студней – на текстурном анализаторе СТ3 Texture Analyzer	Установлены закономерности влияния концентрации и дисперсности фитодобавок на реологические свойства желейных масс, пластическую прочность пектиновых студней. Определены температурные и временные режимы процесса студнеобразования	С. И. Дворецкий, Е. И. Муратова [25]
Исследование влияния рецептурных ингредиентов и режимных параметров на реологические свойства желейных полуфабрикатов	Реологические свойства желейных масс определяли методами ротационной вискозиметрии на приборе НААКЕ VT7-Rplus, структурно-механические свойства студней – на текстурном анализаторе СТ3 Texture Analyzer	Разработаны рецептура и технология производства желейных конфет, обогащённых концентрированным водным экстрактом листьев крапивы двудомной и аскорбиновой кислотой, позволяющие получать конфеты с заранее заданными качественными характеристиками	Д. В. Леонов [54]
Разработка моделей, позволяющих прогнозировать влияние рецептурных и режимных параметров на реологические свойства желейных полуфабрикатов	Реологические свойства желейных масс определяли методами ротационной вискозиметрии на приборе НААКЕ VT7-Rplus, структурно-механические свойства студней – на текстурном анализаторе СТ3 Texture Analyzer	Построены нелинейные регрессионные уравнения, описывающие влияние концентрации пектина, лимонной кислоты и экстракта крапивы на вязкость желейной массы и пластическую прочность студней. Установлено оптимальное рецептурное соотношение исследуемых ингредиентов, позволяющее получать желейные студни заданной прочности	Д. В. Леонов, Е. И. Муратова [53]

Для обоснования возможности использования лекарственных трав в качестве ингредиентов для получения жележных конфет функционального назначения авторами был проведён комплекс исследований, результаты которых представлены ниже.

Для обоснования выбора конкретной марки пектина, формы добавки крапивы двудомной и определения предельных температур формирования жележных масс исследовали влияние рецептурных ингредиентов и режимных параметров на напряжение сдвига и вязкость жележной массы.

На основе проведённых экспериментальных исследований (рис. 3.9) установлено, что в диапазоне скоростей деформации $10 \dots 60 \text{ c}^{-1}$ течение

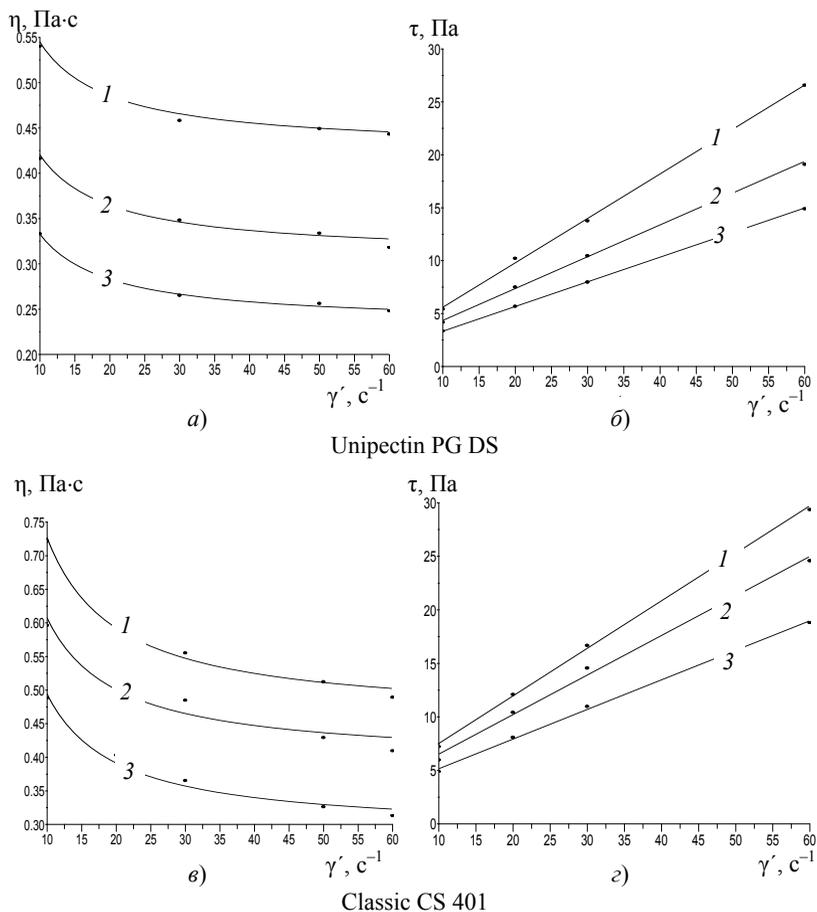
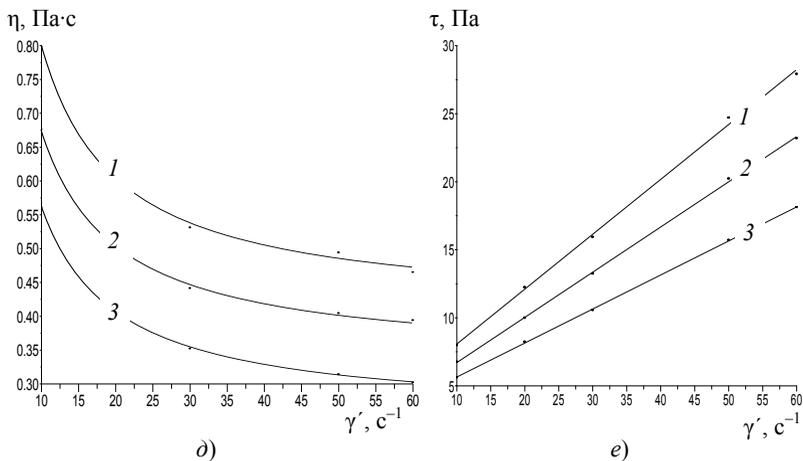


Рис. 3.9. Кривые вязкости (а, в, д) и течения (б, з, е) жележных масс при температуре $100 \text{ }^\circ\text{C}$ и концентрации пектинов: 1 – 2%; 2 – 1,5%; 3 – 1%



APC 105

Рис. 3.9. Продолжение

желейных масс удовлетворительно описывается уравнениями Бингама (1.2). Вязкость масс интенсивно снижается при увеличении скорости деформации до 30...35 с⁻¹, после чего остаётся практически постоянной, что свидетельствует о приближении к предельной степени разрушения структуры.

Анализ значений предельного напряжения сдвига позволяет сделать вывод о том, что желейная масса является не структурированной жидкостью, а малопрочным твердообразным (бингамовым) телом (табл. 3.5).

3.5. Коэффициенты уравнения Бингама

Марка пектина		τ_0	$\eta_{пл}$	Коэффициент достоверности аппроксимации
Unipectin PG DS	1,0%	1,0030	0,2330	0,9998
	1,5%	1,3550	0,3004	0,9992
	2,0%	1,3900	0,4200	0,9996
Classic CS 401	1,0%	2,4030	0,2763	0,9992
	1,5%	2,8290	0,3692	0,9980
	2,0%	3,0750	0,4441	0,9994
APC 105	1,0%	3,132	0,2504	0,9999
	1,5%	3,385	0,3322	0,9998
	2,0%	4,0280	0,4037	0,9992

При фиксированной концентрации пектинов вязкость масс увеличивается в направлении: Unipectin PG DS > Classic CS 401 > APC 105. Так, вязкость масс на APC 105 выше, чем на Classic CS 401 в среднем на 13%, а на Unipectin PG DS на 58%. При этом для всех рассмотренных пектинов при увеличении концентрации на 0,5% вязкость возрастает в среднем на 0,12 Па·с.

В массах на Унипектине PG DS разрушение структуры наблюдается в интервале 20...40 с⁻¹, при использовании пектинов Classic этот интервал сужается до 20...30 с⁻¹. Значения вязкости желейных масс для разных видов и концентраций пектинов представлены в табл. 3.5.

Такие различия в реологических свойствах масс могут быть связаны с величиной молекулярной массы и заряда пектиновых молекул. Известно, что при прочих равных условиях вязкость растворов пектинов возрастает с увеличением молекулярной массы и количества свободных карбоксильных групп [29].

Для подтверждения данного факта исследовали вязкость 2%-ных пектиновых растворов в дистиллированной воде (табл. 3.6).

Анализ данных табл. 3.6 показывает, что по вязкости растворов исследуемые пектины расположены в порядке: Classic CS 401 > Unipectin PG DS > APC 105. Таким образом, полученные данные подтверждают выдвинутое предположение, а более высокая вязкость масс на пектине APC 105 может быть связана с более низкой степенью этерификации, обуславливающей его меньшую растворимость и особенностями микроструктуры цепей полисахарида (содержанием галактоуроновой кислоты, типом распределения свободных и этерифицированных карбоксильных групп и др.), однако в связи со сложностью строения пектиновых веществ этот вопрос требует отдельного более глубокого исследования и не рассматривается в данной работе.

Установлено, что внесение добавок крапивы приводит к резкому возрастанию вязкости и предельного напряжения сдвига желейной массы, однако степень их влияния различна (рис. 3.10, табл. 3.7). Внешение аскорбиновой кислоты (до 0,2%) не оказывает заметного влияния на реологические свойства желейных масс.

При использовании порошков повышение вязкости массы связано в первую очередь с двумя причинами: появлением в однородной системе дисперсных частиц, размеры которых значительно превышают размеры

3.6. Значения вязкости растворов пектина и степень этерификации

Марка пектина	Эффективная вязкость, мПа·с	Степень этерификации, %
Unipectin PG DS	77,6±0,48	60,1
Classic CS 401	80,0±0,46	61,0
APC 105	68,0±0,48	59,3

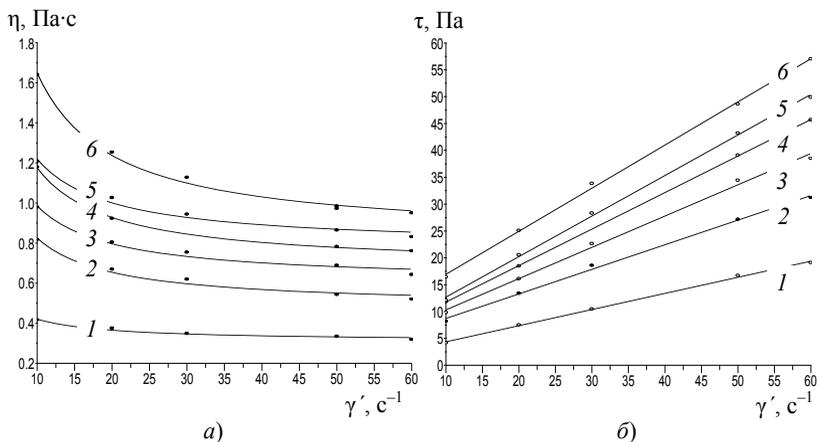


Рис. 3.10. Кривые вязкости (а) и течения (б) железных масс при температуре 100 °С:

- 1 – контроль; 2 – с добавлением 0,5% концентрированного водного экстракта; 3 – с добавлением 1% спиртового экстракта;
 4 – с добавлением 0,5% порошка 0,14...0,20 мм;
 5 – с добавлением 0,5% гидратированного порошка 0,14...0,20 мм;
 6 – с добавлением 0,5% гидратированного порошка 0,20...0,25 мм

3.7. Коэффициенты уравнений Бингама

Образец	τ_0	$\eta_{пл}$	Коэффициент достоверности аппроксимации
Контроль	1,3550	0,3004	0,9992
Концентрированный водный экстракт	4,1090	0,4581	0,9987
Спиртовой экстракт	4,4790	0,5823	0,9982
Порошок (0,14...0,20 мм)	4,9360	0,6802	1,0000
Гидратированный порошок (0,14...0,20 мм)	5,141	0,7543	0,9994
Гидратированный порошок (0,20...0,25 мм)	8,8970	0,8023	0,9995

агрегатов пектиновых макромолекул, за счёт чего перемещение этих частиц будет затруднено; поглощением влаги частицами порошка в процессе набухания, что приводит к возрастанию концентрации студнеобразователя и массовой доли растворимых сухих веществ в системе.

Коэффициенты уравнений Бингама представленных графических зависимостей приведены в табл. 3.7.

Существенное влияние на степень увеличения вязкости оказывает размер частиц порошка и форма внесения. Так, сухой порошок увеличивает вязкость в 2,0 – 2,6 раза (отмечены трудности с равномерным распределением частиц порошка в вязкой желейной массе), гидратированный – в 2,2 – 3,0 раза, а гидратированный порошок с размером частиц 0,20...0,25 мм – в 2,9 – 4,1 раза.

Более сильное влияние гидратированных порошков может быть связано, помимо описанных выше явлений, с восстановлением полимерных структур порошка в процессе его гидратации, диссоциацией органических и аминокислот, которые способны участвовать в процессе студнеобразования, что приводит к упрочнению структуры масс, соответственно, и к возрастанию вязкости [86].

Возрастание вязкости масс с увеличением размеров частиц порошка, с одной стороны, объясняется увеличением размеров механических примесей, а с другой – тем, что при более глубоком измельчении растительного сырья происходит частичное механическое разрушение структур полисахаридов и, соответственно, снижается степень их влияния на формирование пространственного каркаса.

Влияние экстрактов на реологические характеристики желейных масс менее выражено и определяется, в первую очередь, природой экстрагента, концентрацией и составом экстрактивных веществ.

При использовании 70% спиртового экстракта в связи с малой концентрацией экстрактивных веществ (~8...12%) повышение вязкости желейных масс в 1,7 – 2,3 раза, по-видимому, обусловлено влиянием этанола на взаимодействие пектиновых молекул.

Добавление 0,5% концентрированного водного экстракта увеличивает вязкость массы в 1,5 – 2,0 раза. Так как экстрагентом в данном случае является вода, можно сделать вывод, что такое воздействие связано с присутствием в составе экстракта углеводов (моно-, полисахаридов и пектиновых веществ), органических кислот, аминокислот и солей поливалентных металлов.

Для исследования влияния конкретных химических групп веществ, входящих в состав экстрактов крапивы, на образование пространственных структур проведены исследования зависимости вязкости 2% пектиновых растворов с экстрактами крапивы, сахарозой и аскорбиновой кислотой.

Вязкость раствора пектина при скорости сдвига 50 с^{-1} составляет $0,08 \pm 0,00048 \text{ Па}\cdot\text{с}$, введение 0,5% спиртового экстракта приводит к возрастанию вязкости системы до $0,1 \pm 0,00048 \text{ Па}\cdot\text{с}$, что подтверждает способность этанола оказывать дегидратирующее действие на пектиновые молекулы, тем самым обуславливая упрочнение структуры массы. Введение 0,5% концентрированного водного экстракта приводит к двукратному увеличению вязкости ($0,168 \pm 0,00056 \text{ Па}\cdot\text{с}$).

Так как известно, что химического взаимодействия сахаров и органических кислот с молекулами пектина не происходит, можно считать, что влияние углеводов и кислот, присутствующих в составе экстракта, незначительно, что подтверждается экспериментальными данными. При внесении в раствор пектина 0,15% сахарозы и 0,01% аскорбиновой кислоты вязкость системы остаётся приблизительно на том же уровне.

Исследованиями [127] подтверждено, что поливалентные катионы металлов с пектином в кислой среде образуют многоядерные комплексы, способствующие образованию пектиновой сетки в системе пектин–сахар–кислота. Таким образом, обобщая полученные экспериментальные и известные литературные данные, можно сделать вывод, что при внесении концентрированного экстракта, содержащего растворимые соли поливалентных металлов (Ca, Mg и Fe), происходит дополнительное сшивание пектиновых цепочек через ионы кальция, так как активность его наиболее высока. При этом снижение pH среды, ускоряющее данный процесс, обеспечивается переходом в раствор органических кислот, представленных в крапиве. Полученное в нашем случае практически двукратное увеличение вязкости раствора пектина и железной массы полностью согласуется с известными результатами и объясняется увеличением молекулярной массы пектина в 2 раза [42].

Исследование влияния температуры на реологические свойства железных масс. В связи с тем, что в производственных условиях при конкретной рецептуре регулирование большинства технологических процессов практически может осуществляться только изменением температурного режима, было проведено исследование влияния температуры на реологические свойства железной массы.

Известно, что с понижением температуры вязкость растворов полимеров увеличивается. Это может быть связано либо с образованием новых межмолекулярных связей, либо с увеличением числа связей, которые нужно преодолеть при элементарном акте течения [18, 83].

По скорости нарастания вязкости и изменению значений вязкости разрушенной и неразрушенной структур можно судить о приближении к предельной температуре формования масс (температуре садки), которая может в значительной мере отличаться для различных видов пектина. Установление предельной температуры является важной технологической задачей, так как при механическом воздействии (темперирование, формование и др.) на массы при более низкой температуре происходит разрыв их сплошности вследствие необратимого разрушения пектинового каркаса, что приводит к снижению его пластической прочности, ухудшению органолептических показателей, неравномерному распределению массы в крахмальных формах и др.

Анализ температурных зависимостей вязкости жележных масс свидетельствуют о том, что упрочнение их структуры начинается при 85...90 °С (рис. 3.11). При достижении 70...75 °С происходит интенсивный (12-кратный) рост вязкости, что свидетельствует о приближении к студнеобразному состоянию.

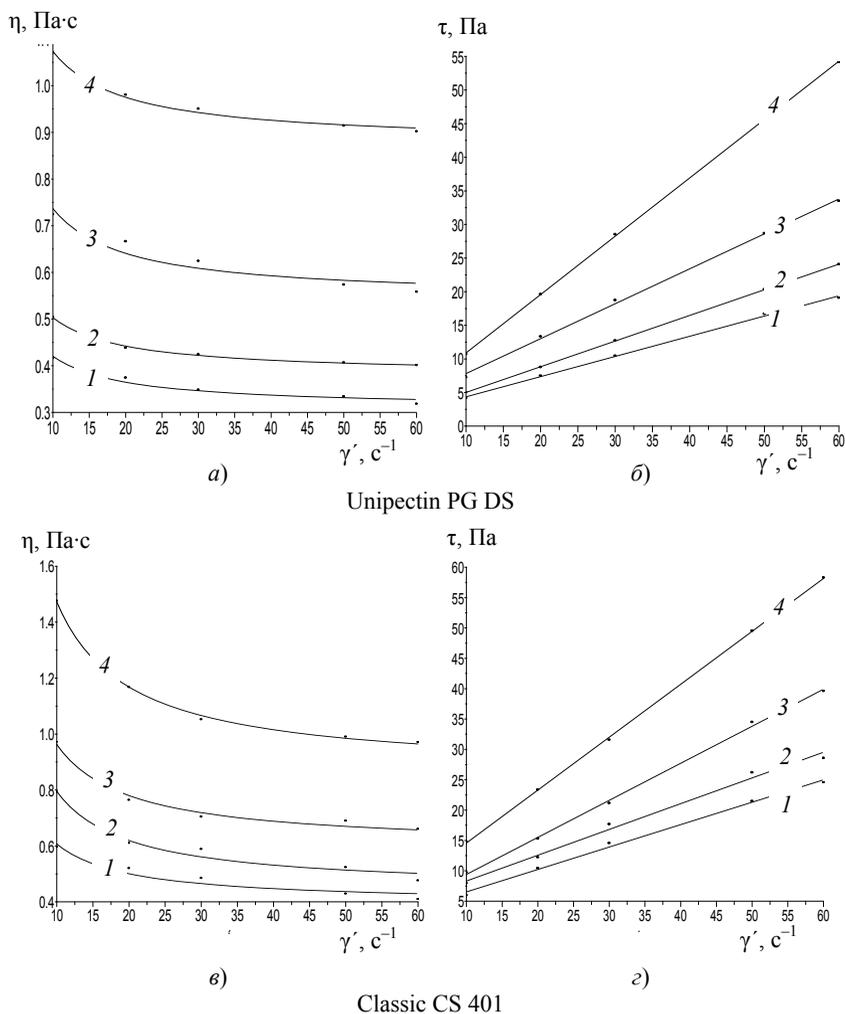


Рис. 3.11. Кривые вязкости (а, в, д) и течения (б, г, е) жележных масс с 1,5%-ным содержанием пектинов при температурах: 1 – 100 °С; 2 – 90 °С; 3 – 85 °С; 4 – 80 °С

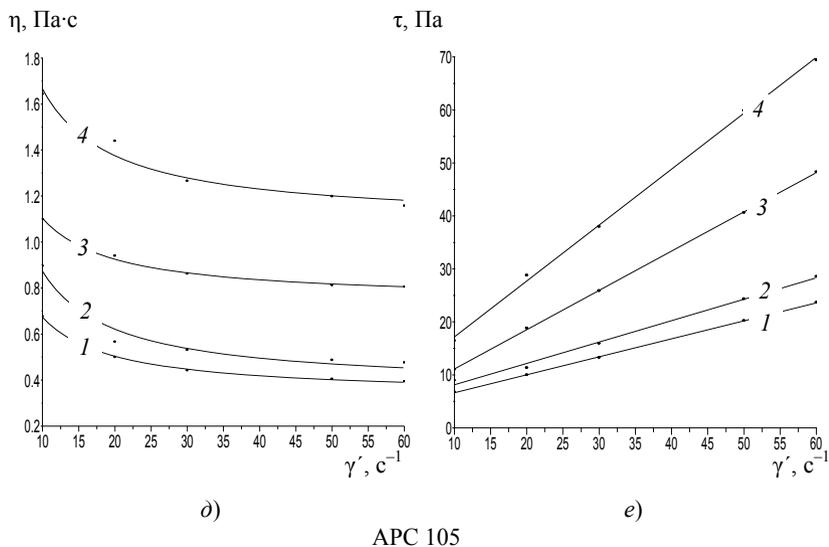


Рис. 3.11. Продолжение

3.8. Коэффициенты уравнения Бингама

Марка пектина		τ_0	$\eta_{пл}$	Коэффициент достоверности аппроксимации
Unipectin PG DS	100 °C	1,3550	0,3004	0,9992
	90 °C	1,3670	0,3815	1,000
	85 °C	2,6130	0,5198	0,9991
	80 °C	2,2150	0,8678	0,9999
Classic CS 401	100 °C	2,8290	0,3692	0,9980
	90 °C	4,0850	0,4241	0,9956
	85 °C	3,2890	3,2890	0,9993
	80 °C	5,8450	0,8718	0,9999
APC 105	100 °C	3,2440	0,3390	0,9999
	90 °C	4,0930	0,4035	0,9973
	85 °C	3,7070	0,7413	0,9999
	80 °C	6,6260	1,0550	0,9994

Для жележных масс на основе Classic CS 401 и APC 105 при снижении температуры ниже 75 °С наблюдается изменение характера кривых течения (значительное рассогласование с уравнением Бингама, а в случае с CS 401 и снижение напряжения сдвига с ростом скорости деформации), что свидетельствует о переходе масс в студнеобразное состояние и нарушении их сплошности в процессе деформации (рис. 3.12).

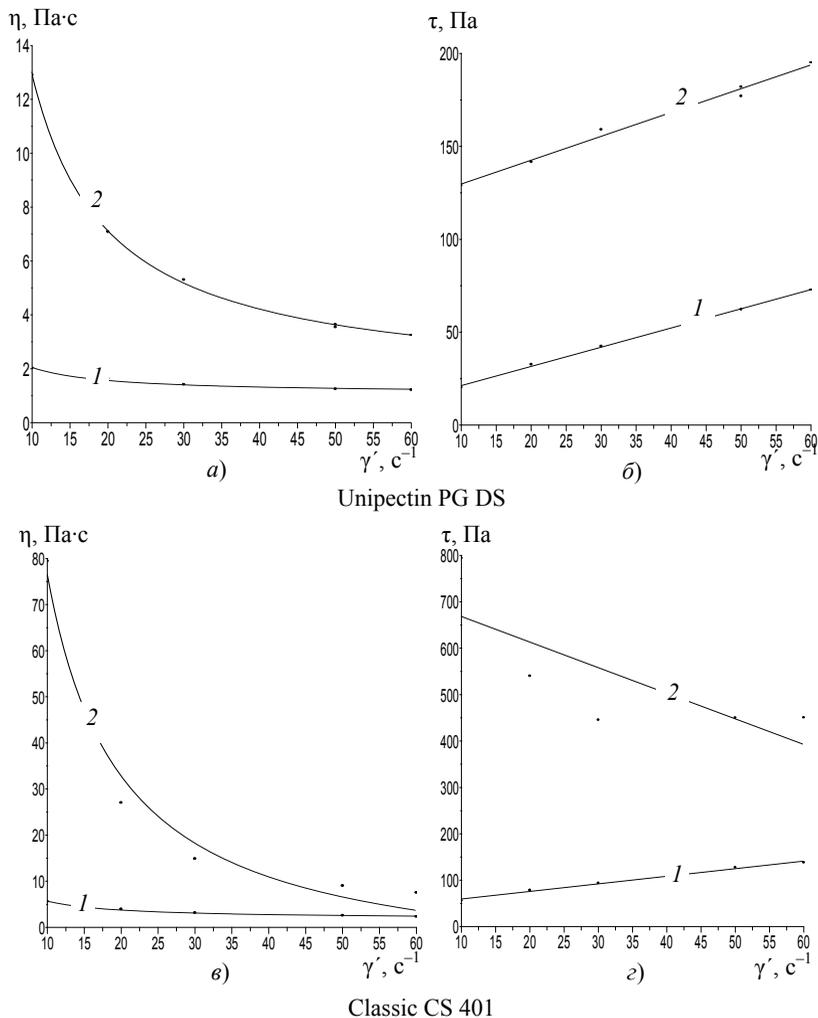


Рис. 3.12. Кривые вязкости (а, в, д) и течения (б, г, е) жележных масс с 1,5%-ным содержанием пектинов при температурах: 1 – 75 °С; 2 – 70 °С

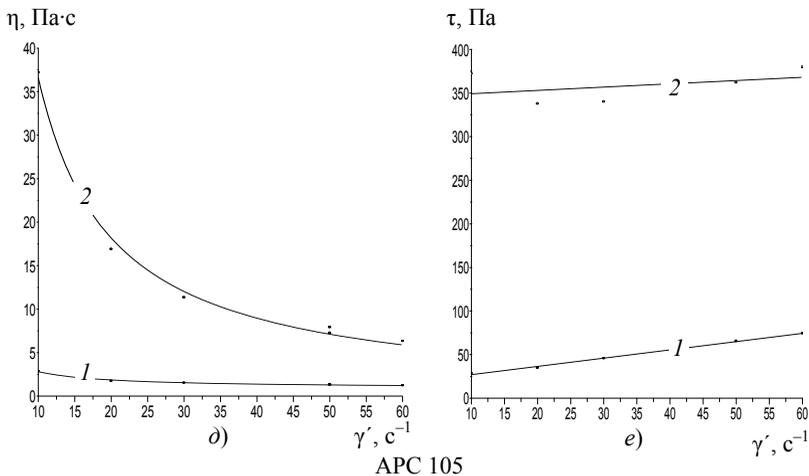


Рис. 3.12. Продолжение

Предельное напряжение сдвига желейных масс возрастает с уменьшением температуры в интервале 90...100 °С. При дальнейшем охлаждении (85...90 °С) наблюдается обратная зависимость, что свидетельствует об изменении структуры массы – отдельные молекулы пектина и их агрегаты переориентируются в пространстве, наблюдается тенденция к параллельному расположению нитей и сокращению расстояния между ними, в результате чего происходит одновременное упрочнение первичной и вторичной коагуляционных структур (рис. 3.13), приводящее к образованию студня.

Сделанное предположение подтверждается дальнейшим возрастанием предельного напряжения сдвига в интервале 75...80 °С и нарушением сплошности масс при 70...75 °С. При обобщении полученных данных установлены температуры начала процессов, начала желирования и студнеобразования желейных масс (табл. 3.9).

Таким образом, установлено, что в рассмотренных желейных массах сшивание отдельных участков пектиновых молекул в единый пространственный каркас начинается при охлаждении ниже 85...90 °С с последующим его упрочнением и переходом массы в студнеобразное состояние.



Рис. 3.13. Схема упрочнения вторичной коагуляционной структуры:
1 – частица дисперсной фазы; 2 – сольватная оболочка; 3 – дисперсионная среда

3.9. Температуры начала процессов желирования и студнеобразования желейных масс с 1,5%-ным содержанием пектина

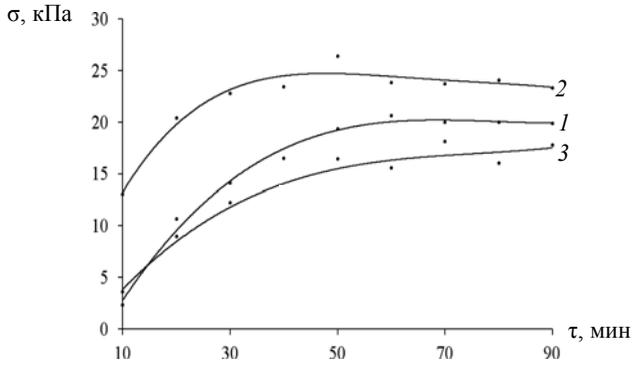
Марка пектина	Unipectin PG DS	Classic CS 401	APC 105
Температура начала желирования, °С	85	90	90
Температура начала студнеобразования, °С	75...80	80...85	80...85

При этом предельные температуры формования исследуемых масс уменьшаются в направлении Classic CS 401 > APC 105 > Unipectin PG DS. Установленные температуры 75...85 °С выше средних температур садки, характерных для масс на основе медленно- и среднежелирующих пектинов 60...79 °С, что может быть связано с различиями в химическом составе сырья, рецептурных соотношениях, технологиях изготовления и технологических характеристиках (массовая доля СВ, pH и др.) желейных масс, исследованных в данной работе и описываемых производителями пектинов.

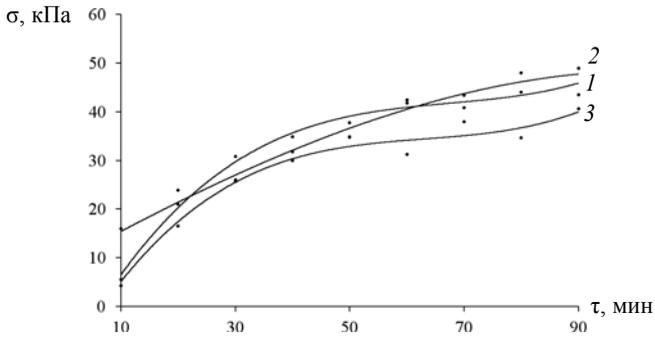
Вид, концентрация пектина и температура воздуха оказывают значительное влияние на процесс студнеобразования желейных масс, поэтому для определения режимов процесса выстойки исследовали изменение пластической прочности и температуры желейных студней на основе рассматриваемых пектинов в процессе выстойки (рис. 3.14, 3.15)

Анализ экспериментальных данных позволяет сделать вывод о том, что продолжительность студнеобразования желейных масс при температуре воздуха в процессе выстойки 25 °С составляет 50...60 мин (до достижения температуры внутри корпусов конфет 36...38 °С), после чего дальнейшего повышения пластической прочности либо не наблюдается, либо скорость его незначительна.

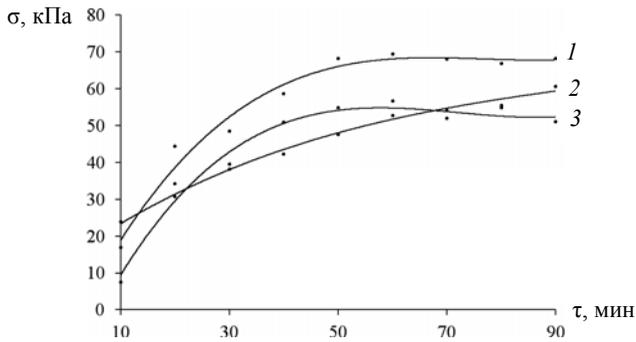
Завершение процесса студнеобразования в данном интервале температур может быть связано с приближением к температурной области конформационного перехода клубок–спираль и потерей растворимости пектиновыми молекулами [86]. Процесс перехода растянут во времени, так как между областью начала спирализации молекул и областью потери растворимости существует температурный интервал, величина которого зависит от строения пектиновых молекул, что и обуславливает некоторое незначительное упрочнение структуры в отдельных случаях при дальнейшем остывании (кривые 2, рис. 3.14, б и в).



a)



б)



в)

Рис. 3.14. Изменение пластической прочности жележных студней с различным содержанием пектинов (а – 1%; б – 1,5%; в – 2%) в процессе выстойки: 1 – Unipectin PG DS; 2 – CS 401; 3 – APC 105

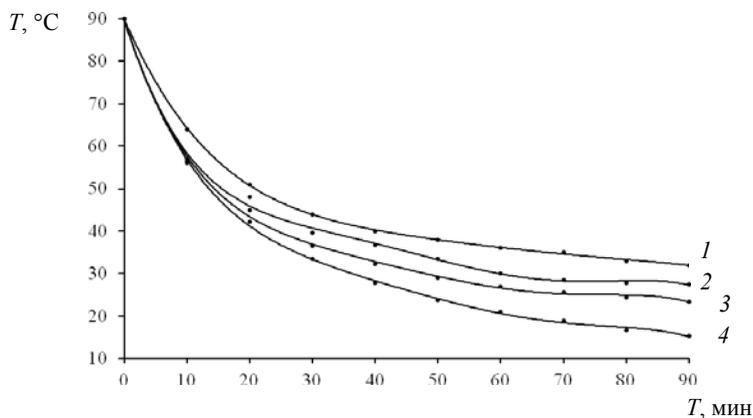


Рис. 3.15. Изменение температуры корпусов конфет в процессе выстойки при температуре воздуха, °C:
 1 – 8,0; 2 – 18,5; 3 – 22,5; 4 – 25,0

Температура 36...38 °C корпуса конфет достигается при режиме выстойки: 22,5 °C за 35...40 мин; 18,5 °C за 28...31 мин; 8 °C за 24...26 мин (рис. 3.16). Зависимость времени выстойки от температуры воздуха при значениях последней ниже 18,5 °C имеет линейный характер, а при её повышении наблюдается излом кривой и продолжительность выстойки резко возрастает (рис. 3.17).

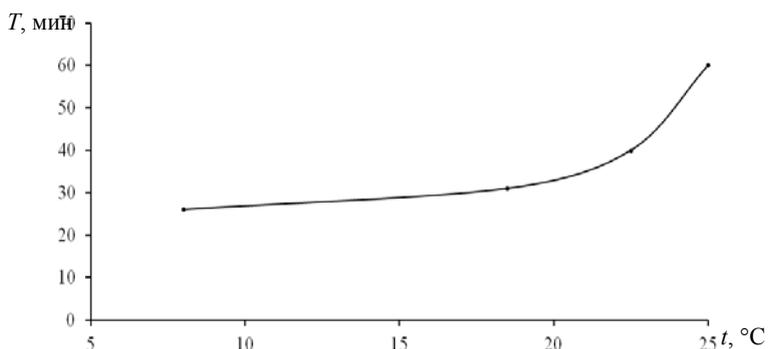


Рис. 3.16. Зависимость продолжительности выстойки от температуры охлаждающего воздуха (линейный участок: $y = 0,476x + 22,19$; нелинейный участок: $y = 0,884x^2 - 34,01x + 357,6$)

Установлено, что изменение концентрации пектина в интервале 1...2% не оказывает влияния на продолжительность процесса студнеобразования, а при увеличении концентрации на 0,5% пластическая прочность студней возрастает в среднем на 17,5 кПа.

Наименее прочные студни ожидаемо образуются на основе пектина APC 105, что связано с более низким значением СЭ данной марки пектина, поэтому при прочих равных условиях для достижения требуемой величины прочности потребуется большая концентрация APC 105.

Поведение других рассмотренных пектинов не столь однозначно. При малых концентрациях (1%) прочность студней на основе Classic CS 401 наивысшая, что также согласуется с его наибольшей молекулярной массой и СЭ. Однако по мере повышения концентрации (1,5%) прочность студней на его основе и на Unipectin PG DS становятся практически равны, а при увеличении до 2% ниже, чем на Unipectin PG DS.

Характер изменения пластической прочности может быть связан с особенностями структуры полученных студней. Известно, что прочность студней возрастает по мере уменьшения расстояния между нитями пространственного каркаса и повышения равномерности размеров и распределения ячеек структуры [137, 139].

Таким образом, можно сделать вывод, что по мере увеличения концентрации пектина марки Unipectin PG DS происходит образование более равномерной, упорядоченной структуры пектинового каркаса с наименьшим расстоянием между узлами сетки, т.е. большей степенью сшивания полимера, что полностью согласуется с рассмотренными ранее данными по вязкости желейных масс.

В более вязкой массе на основе Classic CS 401 переориентация макромолекул и их агрегатов затруднена, поэтому формирование упорядоченного пространственного каркаса в данном случае не успевает завершиться полностью до момента потери растворимости пектиновыми молекулами, что и обуславливает более слабое нарастание прочности по мере увеличения концентрации пектина.

Анализ экспериментальных исследований влияния функциональных ингредиентов на процесс студнеобразования желейных масс показал, что использование порошка и концентрированного водного экстракта листьев крапивы приводит к снижению пластической прочности студней на 22 и 40% соответственно (рис. 3.17).

Такое влияние порошков на структурно-механические свойства желейных студней можно объяснить комплексом причин. Во-первых, повышающаяся вязкость желейных масс при их введении затрудняет переориентацию пектиновых макромолекул и их агрегатов. Во-вторых, частицы порошков размером 0,14...0,20 мм значительно превышают размеры «отверстий» (пор) пектиновой сетки (150...700 нм²) [137, 139]

и в процессе формирования каркаса студня приводят к образованию локальных расширений и сужений сетки (рис. 3.18).

В комплексе описанные явления приводят к образованию неравномерного пространственного каркаса со значительным разбросом в размерах пор равномерных и неравномерных участков каркаса, тем самым снижая общую прочность студня. При этом исследованиями установлено, что гидратированные порошки могут повышать прочность мармеладного студня и этот эффект снижается по мере уменьшения концентрации. Очевидно, что существенную роль при этом будет иметь дисперсность порошков, вид растительного сырья и способы подготовки, поэтому данный вопрос требует более полных всесторонних исследований [87, 116].

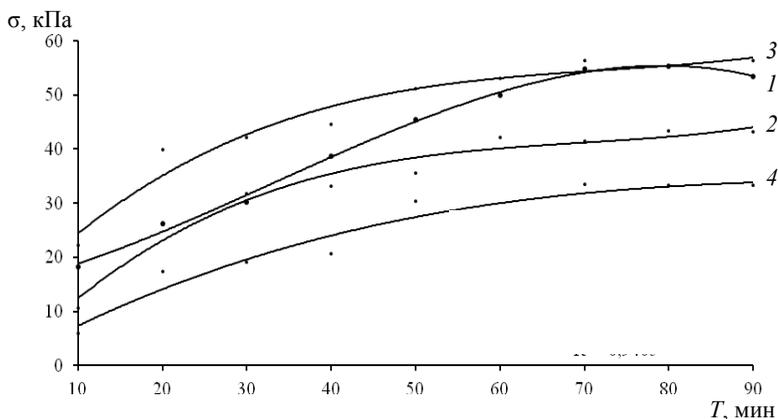


Рис. 3.17. Изменение пластической прочности студней в процессе выстойки корпусов конфет при температуре воздуха 25 °С:

1 – контроль; 2 – с добавлением 0,5% гидратированного порошка 0,14...0,2 мм; 3 – с добавлением 1% спиртового экстракта; 4 – с добавлением 0,5% концентрированного водного экстракта

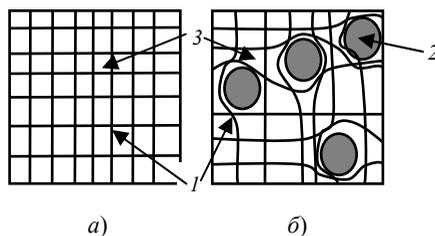


Рис. 3.18. Схематичное изображение сетки каркаса пектинового студня без добавок (а) и с добавлением порошка крапивы (б):

1 – нити пектиновых молекул; 2 – частицы порошков; 3 – поры

Снижение прочности студня при использовании концентрированного водного экстракта связано, в первую очередь, с увеличением молекулярной массы пектина при взаимодействии с ионами кальция и, соответственно, со смещением оптимума студнеобразующей активности.

Внесение спиртового экстракта приводит к увеличению прочности студня на начальной стадии выстойки и постепенному её выравниванию до значений прочности образцов, изготовленных по традиционной рецептуре, к концу процесса. Данный эффект связан с дегидратирующими свойствами этанола и практически полным его испарением на завершающей стадии процесса.

Внесение аскорбиновой кислоты (до 0,2%) не оказывает значительного влияния на течение процесса студнеобразования.

По результатам исследований установлено, что спиртовой и концентрированный водный экстракты крапивы целесообразно вносить в количестве до 5% к общей железной массе. При дальнейшем увеличении содержания добавок до 7% по массе в случае со спиртовым экстрактом отмечено ухудшение структуры студня. Студень становится менее прочным и упругим, увеличивается доля необратимых деформаций.

При увеличении содержания порошков до 2% структура студня становится неравномерной, появляются включения агрегатов частиц порошков. При этом следует обратить особое внимание на дисперсность добавок, так как при использовании порошков с размером частиц более 0,2 мм текстура студня становится неоднородной.

Таким образом, варьированием рН железной массы, концентрацией экстракта и студнеобразователя можно добиться получения студней заданной прочности.

3.3. РЕОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СБИВНЫХ МАСС И СБИВНЫХ КОНФЕТ

Сбивные конфетные массы представляют собой кондитерские пены, обладающие нежной кремообразной консистенцией, их получают сбиванием пенообразователей с агаро-сахаро-паточным сиропом с добавлением в пенообразную массу вкусовых и ароматических веществ [3]. Сбивные изделия сочетают свойства пены и студня, имеют пышную пористую структуру.

Пены – это дисперсные системы, состоящие из двух фаз – газовой и жидкой. Газовой фазой является воздух в виде равномерно распределённых пузырьков, которые разделены тонкими прослойками агаро-сахаро-паточной массы с включением различных вкусовых и ароматизирующих компонентов. Для получения устойчивой высокодисперсной пены используют стабилизатор пены и пенообразователь. Они

облегчают вспенивание и препятствуют слипанию пузырьков воздуха. Пенообразователем для сбивных конфетных масс чаще всего является яичный белок, стабилизатором – агар [39, 114].

В зависимости от особенностей технологического процесса различают сбивные конфетные массы лёгкого типа и их разновидности (плотностью менее 1000 кг/м^3): кремово-сбивные, молочно-сбивные, орехово-сбивные и фруктово-сбивные и массы тяжёлого типа (плотностью более 1000 кг/м^3).

Пены представляют собой ячеисто-плёночную систему, в которой отдельные пузырьки связаны друг с другом разделяющими их плёнками в общий каркас. Плотная упаковка пузырьков достигается при определённом соотношении объёмов жидкой и газовой фаз, от этих же условий зависит геометрическая форма газовых пузырьков.

По Ребиндеру пены относятся к структурированным системам, но являются термодинамически неустойчивыми, так как имеют сильно развитую поверхность раздела фаз [106].

При пенообразовании часть работы идёт на увеличение свободной поверхностной энергии системы, общий запас свободной энергии стремится уменьшиться [34, 39]. В связи с этим процессы в пенах имеют тенденцию к коалесценции, связанной с сокращением поверхности. Устойчивое состояние системы соответствует полной коалесценции, т.е. расслоению системы с превращением в две объёмные фазы с минимальной поверхностью раздела. Поэтому для придания устойчивости пены необходимо присутствие в жидкости поверхностно-активных веществ – пенообразователей.

В качестве пенообразователя используются яичный белок, белок молока и кровяной альбумин. Наиболее популярен яичный белок, для которого характерна высокая пенообразующая способность (600% в течение 1,5...3,0 мин).

Белки – амфотерные полиэлектролиты. Суммарный заряд белковой молекулы определяется соотношением в ней кислых и основных радикалов аминокислот и величиной их констант диссоциации, значения которых колеблются в широких пределах.

Каждый белок при каком-то определённом значении рН будет иметь суммарный электрический заряд, равный нулю. Такое состояние белка и величина рН, его обуславливающая, называется изоэлектрической точкой. В этой точке белок имеет наименьшую растворимость в воде, белковые растворы обладают минимальной устойчивостью и минимальным осмотическим давлением [39].

Поскольку белок является более сильной кислотой, чем основание, то его изоэлектрическая точка соответствует рН ниже 7. Для достижения изоэлектрической точки в растворе белка должно содержаться некоторое количество кислоты, подавляющее избыточную иониза-

цию кислотных групп. Так как в изоэлектрической точке число взаимодействующих основных и кислотных групп в молекуле одинаково, то гибкая молекула белка в этом состоянии свёртывается в клубок. На форму макромолекул влияет не только изменение pH среды, но и введение в раствор индифферентного электролита. Очевидно, эти факторы должны влиять и на те свойства раствора, которые зависят от формы растворённых макромолекул, например вязкость. При добавлении электролита происходит сдвиг изоэлектрической точки, одновременно с этим смещается и максимум пенообразования [34, 39].

Устойчивость пен определяется кинетическим, структурно-механическим и термодинамическим факторами. Устойчивость пены связана со стеканием жидкости под влиянием силы тяжести и всасыванием жидкости в участки плёнки, обладающие большей толщиной. В местах, где соединяются плёнки пены, образуются углы, в которых жидкость имеет вогнутую поверхность. Объём и форма образованных таким образом каналов (Гиббса–Плато) (рис. 3.19) зависят от кратности пены.

С увеличением кратности форма пузырьков изменяется от шаровидной до формы пятигранника. Соответственно в местах контакта плёнок таких пузырьков будут изменяться объём и форма каналов. При кратности пены $n > 40$ допускают цилиндрическую форму каналов. Плёнка находится в равновесии с окружающим её каналом, когда капиллярное давление равно расклинивающему давлению.

Одной из важнейших характеристик пены является её дисперсность, которая определяет многие свойства и процессы, протекающие в ней, а также технологические качества пены [39]. Кинетика изменения дисперсности отражает скорость внутреннего разрушения структуры пены в результате коалесценции.

Быстрота разрушения пены, когда давление в нижних слоях пены превысит внешнее давление и начинается вытекание жидкости, определяется гидродинамическими характеристиками пены (размером и формой каналов, вязкостью жидкой фазы и т.д.) и интенсивностью внутреннего разрушения структуры. Скорость вытекания жидкости из пены (синерезис) зависит от кратности пены, типа и концентрации пенообразователя, концентрации электролита и других добавок, вязкости жидкой фазы, температуры пены, присутствия в жидкой фазе твёрдых частиц [39].

Авторами проведены исследования влияния вводимых добавок на свойства белковой пены. Выявлено, что пенообразующая способность (ПОС) яичного альбумина при использовании овощного порошка в количестве более 30% активно снижается (рис. 3.20).

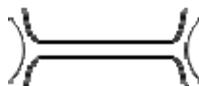


Рис. 3.19. Поперечное сечение каналов Гиббса–Плато

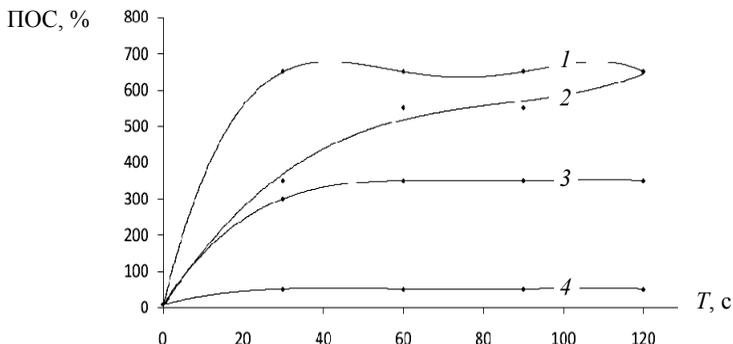


Рис. 3.20. Зависимость пенообразующей способности белка от продолжительности сбивания при добавлении морковного порошка:
1 – 0%; 2 – 25%; 3 – 50%; 4 – 75%

Это связано с увеличением поверхностного натяжения и уменьшением поверхностной активности молекул, что приводит к повышению вязкости системы и затрудняет пенообразование. Кроме того, изменение пенообразующей способности связано с мицеллообразованием, поскольку при достижении критической концентрации мицеллообразования происходит завершение формирования адсорбционного слоя, который в этот момент приобретает максимальную механическую прочность. Если увеличивать концентрацию поверхностно-активных веществ в растворе (выше значения критической концентрации мицеллообразования), скорость диффузии молекул в поверхностный слой уменьшается, чем и объясняется снижение пенообразующей способности.

Стабильность пены (СП), напротив, повышается (рис. 3.21).

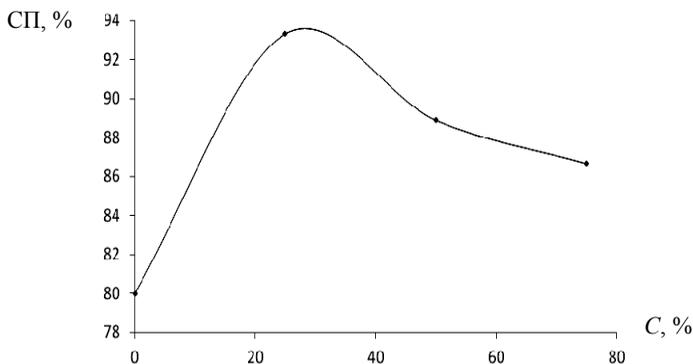
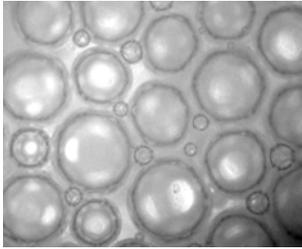
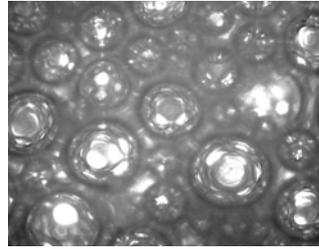


Рис. 3.21. Изменение стабильности пены в зависимости от концентрации морковного порошка



a)



б)

Рис. 3.22. Микроструктура пены (увеличение $\times 100$):

a – в виде пузырьков (контроль); *б* – в виде объёмных многогранников (добавление морковного порошка в количестве 30% к яичному альбумину)

Качество пены характеризуется её устойчивостью. При малой концентрации дисперсной фазы образуются пузырьки сферической формы, способные к взаимному перемещению, образуется седиментационная неустойчивость. Полиэдрические пены образуют каркас в результате адсорбции молекул в тонком слое жидкости оболочки пены, который придает ей агрегативную устойчивость (рис. 3.22).

В результате изменения поверхностного натяжения на границе раздела фаз замедляется отток жидкости из пены и её утончение, что приводит к увеличению времени жизни пены. Адсорбционный слой полисахаридов изменяет структуру поверхности границы фаз и определяет механическую прочность границы этой структуры [34].

При получении сбивных полуфабрикатов пенная масса смешивается с горячим агаро-сахаро-паточным сиропом, чем достигается фиксирование образованной пены и придание ей необходимой механической прочности. После смешивания температура всей массы повышается, адсорбированный в плёнках яичный белок коагулирует, образуя прочные плёнки. При остывании происходит желирование агарового раствора и формирование студнеобразного каркаса, окружающего воздушные пузырьки.

Вязкость сбивной массы (при прочих равных условиях) зависит от плотности, которая является характеристикой насыщенности массы воздухом. Чем ниже плотность массы, тем больше в ней воздуха, тем выше вязкость. Вязкость и температура массы взаимосвязаны между собой, поэтому о вязкости часто судят по температуре. Сбивные массы имеют неустойчивую структуру, поэтому при механическом воздействии происходит частичное или полное её разрушение. В связи с этим при ведении технологических процессов необходимо следить за тем, чтобы полученная структура сбивной массы не была разрушена,

поэтому формование чаще всего осуществляют методом размазки с последующей резкой.

Кремово-сбивные массы обладают меньшей пластичностью, чем массы типа «Суфле», так как введение смеси сгущённого молока и сливочного масла (кондитерского жира) приводит к повышению плотности массы, жир выступает в роли пеногасителя и снижает прочность конфетной массы. Однако для обеих масс применения различных способов формования изделий возможно при наличии определённых вязкопластичных свойств, позволяющих обеспечить чёткую форму.

Обзор исследований, посвящённый изучению реологических характеристик сбивных масс и структурно-механических характеристик студней, приведён в табл. 3.10.

Для обоснования выбора формы функциональной добавки, определения предельных температур формования сбивной конфетной массы были проведены исследования влияния рецептурных ингредиентов и режимных параметров на напряжение сдвига и вязкость массы.

Использование в рецептурах конфетных масс овощных порошков приводит к увеличению эффективной вязкости (рис. 3.23, табл. 3.11), что связано с включением частиц, значительно превосходящих по размерам агрегаты частиц, образующих сбивной студень.

Кроме того, овощные порошки, обладающие высокой водосвязывающей способностью, набухая, образуют пространственную сетку с прочными межмолекулярными связями, что вызывает уменьшение толщины прослоек дисперсионной среды и увеличение силы сопротивления [85].

Существенное влияние на степень увеличения вязкости оказывает форма внесения порошка. Так, добавление сухого порошка от 2 до 10% в сбивную массу увеличивает вязкость в 3 – 10 раз, гидратированного – в 3,5 – 11,0 раз. Такое влияние гидратированных порошков связано с восстановлением полимерных структур порошка в процессе его гидратации и набухания, диссоциацией органических и аминокислот, которые способны участвовать в процессе студнеобразования, что приводит к упрочнению структуры масс и, соответственно, возрастанию вязкости (рис. 3.24, табл. 3.12).

В связи с тем, что температура является главным режимным параметром при регулировании технологического процесса, исследовали её влияние на реологические характеристики исследуемых конфетных масс.

Температура структурообразования конфетных масс является главным фактором для определения режимов формования. О предельной температуре формования можно судить по изменению значений вязкости, при которых происходит разрушение структуры.

3.10. Обзор исследований, посвящённый изучению реологических характеристик сбивных масс и структурно-механических характеристик студней

Задачи исследования	Методы исследования	Результаты исследования	Авторы, источник
<p>Изучение влияния ингредиентов полисахаридной природы и технологических факторов на показатели качества пенных и гелевых систем</p>	<p>Гелеобразующую способность оценивали по увеличению вязкости суспензии, прошедшей термическую обработку и термостабилизацию. Вязкость белковых и белково-полисахаридных суспензий определяли на вискозиметре Брукфильда (Brookfield LV DV II+). Прочность белковых и белково-полисахаридных гелей определяли по предельному напряжению сдвига на пенетрометре</p>	<p>Разработана новая технология зефира с применением сухой пшеничной клейковины, обеспечивающей увеличение прочности пенно-гелевых систем на 15,6%. Определено значение гелевой точки сухой пшеничной клейковины (20%) при термической обработке (100 °С) в течение 45 мин</p>	<p>О. Ю. Студенникова [117]</p>
<p>Исследование пенообразующих свойств молочных продуктов: молочной сыворотки и белково-сывороточного концентрата под влиянием различных факторов; изучение влияния добавок полисахаридов и лекарственных трав на пенообразующую способность молочных продуктов</p>	<p>Величину пенообразующей способности рассчитывали как отношение увеличения объёма смеси после сбивания к объёму смеси до сбивания</p>	<p>Выявлены оптимальные параметры сбивания молочной сыворотки и белково-сывороточного концентрата: концентрация – 20%; температура набухания – 60...80 °С; время набухания – 10...60 мин. Выявлены синергетические эффекты повышения пенообразующей способности молочных продуктов при введении смесей полисахаридов (Na-КМЦ-гуммиарабик, Na-КМЦ-каррагинан) как в водной, так и в среде экстрактов лекарственных трав</p>	<p>А. В. Головачева [19]</p>

Продолжение табл. 3.10

Задачи исследования	Методы исследования	Результаты исследования	Авторы, источник
Изучение изменения свойств пастилы профилактического назначения при хранении	Органолептическая оценка консистенции. Влажность определяли по ГОСТ 5900–73	Исследовано изменение консистенции и влагосодержания образцов, приготовленных на яблочно-алычевом и сливовом пюре, при хранении	З. Т. Бухтоярова, М. Ю. Тамова, Г. М. Зайко [14]
Исследование процесса взбивания и на основе полученных данных определение рациональных параметров процесса и режимов работы аппарата	Качество взбивания определяли по пенообразующим свойствам – степени взбитости, плотности и устойчивости пены	Определены факторы, влияющие на качество газонасыщения, рассмотрено влияние коэффициента заполнения аппарата, частоты вращения ротора, зазора между ротором и статором, а также продолжительности нахождения продукта в рабочей камере	А. Ю. Просеков [105]
Разработка теоретической модели, учитывающей реологические свойства рецептурной смеси, геометрические и кинематические параметры эмульсатора, для обеспечения направленного выхода на оптимальный режим по показателям качества готового продукта	Не указаны	Получены зависимости для практических расчётов и теоретического анализа процесса выработки пенообразных пищевых продуктов в роторном эмульсаторе	М. Ю. Березовский [12]
Подбор ингредиентов для рецептуры сбивных конфет, которые позволяют сохранить качество изделий в течение 6 месяцев	Органолептическая оценка	Установлено, что введение инвертазы и сорбита в рецептуру сбивных конфет предотвращает засахаривание корпусов и замедляет их усушку при хранении	Н. К. Сергеева [111]

Исследование влияния полидекстрозы и бетаина на потребительские характеристики зефира	Органолептическая оценка структуры. Определение активности воды на приборе Hydro-Palm AW1/	Выявлено, что замена сахара на полидекстрозу приводит к синерезису. Совместное применение полидекстрозы и бетаина обеспечивает более мягкую и нежную структуру вследствие снижения активности воды	Е. Г. Полунин [101]
Разработка белковых полуфабрикатов на пектине	Не указаны	Установлено, что сбивные полуфабрикаты на яблочном пектине позволяют получить пену, которая лучше и легче взбивается, быстрее образуется, более стабильна, имеет лучшую пористость, больший удельный объём, более устойчива к жирам и избытку массы	Т. И. Овсяк, Г. Н. Игнатьева [82]
Определение параметров формования для сбивных конфетных масс	Характеристики сдвига определены на ротационном вискозиметре «Реотест-2». Изучение тиксотропных свойств – методом петли гистерезиса	Отмечено, что при проектировании формующей машины необходимо учитывать тиксотропные свойства сбивных масс, которые проявляются при скоростях сдвига более 9 с^{-1} . Целесообразная скорость сдвига при формировании $0,17...5,00 \text{ с}^{-1}$	Ю. Ф. Белокрылов [11]
Изучение адгезионных свойств конфетных масс для обоснования способов формирования конфет	Структурно-механические характеристики корпусов конфет определяли на текстурном анализаторе СТ3 Texture Analyzer	Изучено влияние рецептурных ингредиентов и режимов формования на адгезионные характеристики сбивных масс	П. М. Смолина, Е. И. Муратова [115]

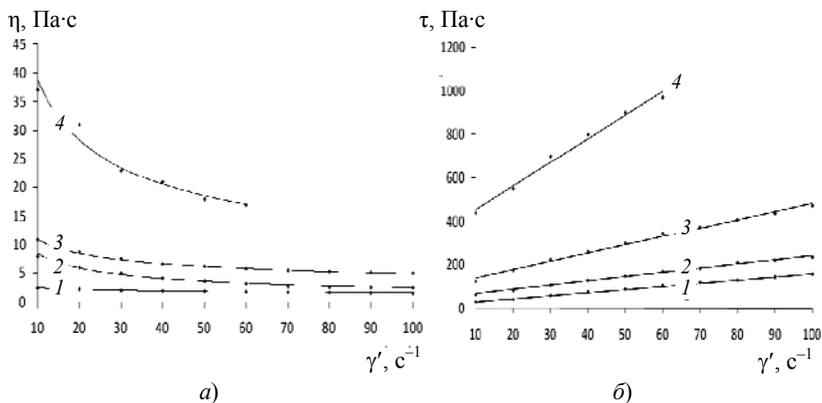


Рис. 3.23. Кривые вязкости (а) и течения (б) сбивных масс при температуре 50 °С:

1 – контроль; 2, 3, 4 – с добавлением 2%, 5% и 10% овощного порошка соответственно

3.11. Коэффициенты уравнения Оствальда де Вилля

Коэффициенты уравнения	Контроль	2%	5%	10%
K	4,166	10,24	28,34	131,7
n	0,7882	0,6912	0,6087	0,4866
Коэффициент достоверности аппроксимации	0,9988	0,9994	0,9995	0,9989

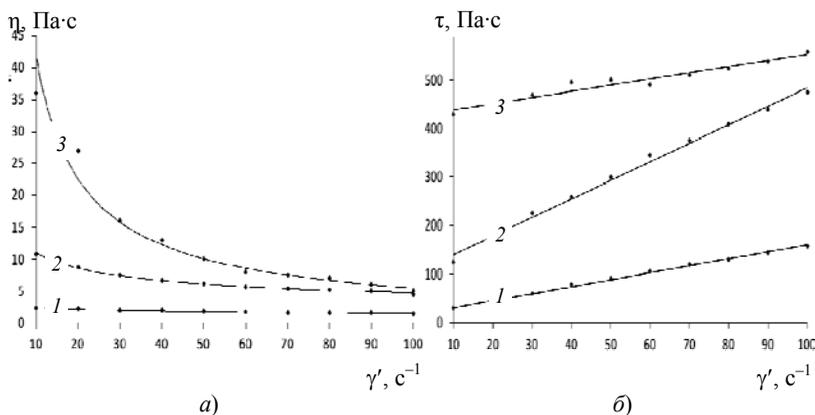


Рис. 3.24. Кривые вязкости (а) и течения (б) сбивных масс при температуре 50 °С:

1 – контроль; 2, 3 – с добавлением 5% сухого и 5% гидратированного овощного порошка соответственно

3.12. Коэффициенты уравнения Оствальда де Виля

Коэффициенты уравнения	Контроль	С добавлением 5% морковного порошка	
		сухой	гидратированный
K	4,166	10,24	333,3
n	0,7882	0,6912	0,1014
Коэффициент достоверности аппроксимации	0,9988	0,9994	0,9996

Коэффициент консистенции K , входящий в уравнение Оствальда де Виля, наиболее чувствителен, по сравнению с индексом течения n , к изменению температуры материала, что подтверждает зависимость реологических свойств конфетных масс от температурных режимов технологического процесса [135].

Это особенно важно при осуществлении процесса формования, успешность которого зависит от совокупности факторов. При низких температурах происходит ускорение процесса структурообразования и при механическом воздействии происходит необратимое разрушение каркаса: нарушение сплошности студня, снижение его пластической прочности; разрушение структуры пены в результате коалесценции газовых пузырьков с получением неравномерной структуры. В результате возрастает вероятность возникновения брака, возможность изменения физико-химических и структурно-механических показателей конфет как при производстве, так и в процессе хранения.

Анализ температурных зависимостей сбивных масс (рис 3.25, табл. 3.13) показывает, что упрочнение структуры сбивной массы

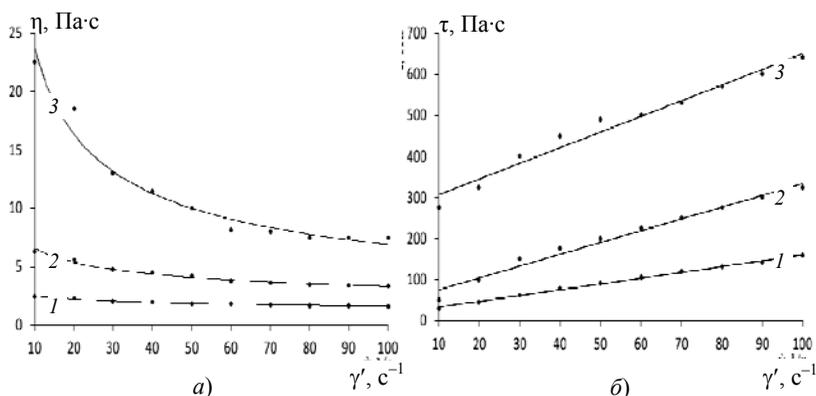


Рис. 3.25. Кривые вязкости (а) и течения (б) сбивных масс при температурах: 1 – 50 °С; 2 – 35 °С; 3 – 25 °С

3.13. Коэффициенты уравнения Оствальда де Виля

Коэффициенты уравнения	50 °С	35 °С	25 °С
<i>K</i>	4,166	13,65	60,72
<i>n</i>	0,7882	0,6873	0,5
Коэффициент достоверности аппроксимации	0,9988	0,9971	0,9996

начинается при 35...40 °С. С понижением температуры уменьшается давление внутри пузырьков и растворимость ПАВ, увеличивается поверхностное натяжение.

Предельное напряжение сдвига увеличивается в 3 раза при изменении температуры с 55...50 до 35...40 °С вследствие ослабления тепловых колебаний адсорбированных молекул и увеличения механической прочности поверхностного слоя, образованного молекулами ПАВ. Сбивная масса имеет способность к течению, связи между частицами после их разрушения успевают вновь восстановиться. Структура массы ещё не разрушается, наблюдается лишь перемещение частиц относительно друг друга.

При достижении 30...35 °С происходит увеличение скорости структурообразования массы, замедляется способность к течению, связи между частицами не восстанавливаются и образуются отдельные агрегаты частиц.

Пластическая прочность корпусов конфет является основным показателем в качестве формоудерживающей способности, а по изменению прочности можно судить о течении процесса студнеобразования. Скорость процесса студнеобразования имеет большое значение для выбора режимов формования и выстойки конфетных масс (рис. 3.26).

Возможное снижение пластической прочности сбивных конфет в результате уменьшения рецептурного количества сахара и, как следствие, снижения вязкости жидкости в плёнках и стабильности пены компенсируется добавлением овощных порошков. Так, гидратированный порошок увеличивает прочность в 2 раза, сухой – в 8 раз.

Прочность студней возрастает благодаря совместному действию агаровых молекул и пектиновых веществ, содержащихся в овощных порошках в большом количестве. При использовании гидратированного порошка прочность сбивной массы увеличивается вследствие дополнительного заполнения пространственного каркаса, окружающего пузырьки, набухшими волокнами овощного порошка. Структурообразование происходит в течение 40 мин после отливки при температуре

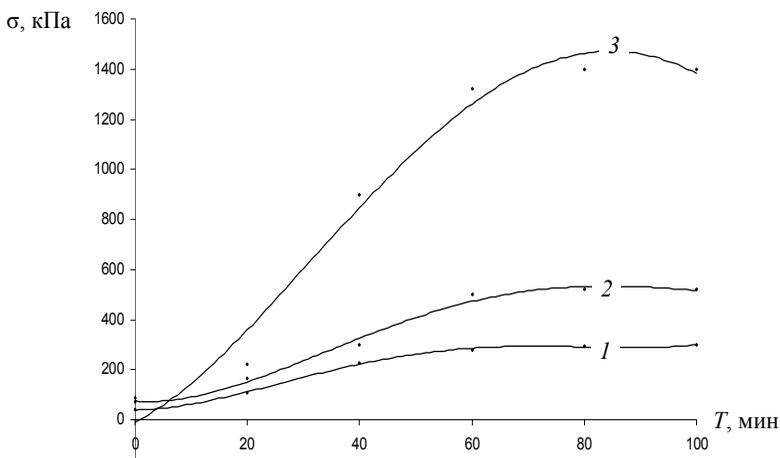


Рис. 3.26. Изменение пластической прочности сбивных студней в процессе выстойки:

1 – контроль; 2 – с добавлением 5% гидратированного овощного порошка; 3 – с добавлением 5% сухого овощного порошка

20...22 °С, но большое количество набухших полисахаридов делают массу водянистой и склонной к синерезису.

При наличии избыточной влаги установление гидростатического равновесия невозможно. Под действием силы тяжести происходит вытекание сиропа из пены, давление в каналах понижается, соответственно повышается капиллярное и расклинивающее давление, что ускоряет коалесценцию пузырьков и разрушение столба пены [39].

В образцах, полученных с сухим порошком, синерезиса удастся избежать за счёт сужения каналов, увеличения шероховатости их стенок и образования локальных «затворов» из частиц, не прилипших к пузырькам [39]. Однако присутствие твёрдых частиц может оказывать и противоположное влияние: на них может происходить адсорбция поверхностно-активных веществ, что понижает их концентрацию в растворе. Это приводит к повышению поверхностного натяжения раствора и понижению дисперсности пены, в результате чего возможно увеличение скорости синерезиса.

Волокна овощного порошка распределяются в каналах системы, образованных в местах контакта плёнок жидкой фазы, разделяющих газовые пузырьки (рис. 3.27).

Полисахариды адсорбируются в плёнках воздушных пузырьков пены и способствует увеличению их прочности. Набухание

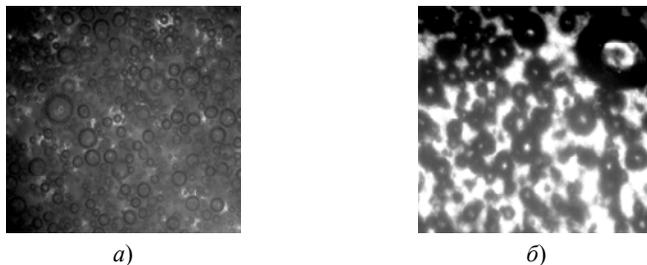


Рис. 3.27. Микроструктура сбивной массы (увеличение $\times 100$):
a – контроль; *б* – с добавлением 5% овощного порошка

пектиновых веществ и полисахаридов происходит за счёт жидкости, находящейся в сбивной массе, что способствует гидростатическому равновесию системы.

3.4. ИССЛЕДОВАНИЕ АДГЕЗИОННЫХ СВОЙСТВ КОНФЕТНЫХ МАСС

Адгезия пищевых масс зависит от многих факторов, основными из которых можно считать энергию образующихся на границе раздела связей и количество этих связей; величину остаточных напряжений, действующих в соединении на границе раздела; состояние границы раздела и структуру межфазных слоёв [35].

Адгезия кондитерских пищевых масс является особенно сложной, так как они являются структурированными системами. Адгезия как поверхностное явление связана с реологическими параметрами, характеризующими объёмные свойства кондитерских масс. Эта связь прослеживается в формировании площади контакта и адгезии, а также в процессе нарушения адгезионного взаимодействия [35].

Исследование адгезионных свойств конфетных масс позволяет оценить возможность использования различных методов формования для изготовления корпусов конфет.

Во всех механических и термомеханических процессах пищевых производств происходит контактное взаимодействие обрабатываемого материала с поверхностью рабочих органов машин, устройств и аппаратов. Поэтому учёт поверхностных свойств пищевых материалов необходим при изучении и совершенствовании многих технологических процессов [67].

Так, при формировании помадных, желейных и сбивных масс отливкой адгезионные явления отрицательно сказываются на конечной стадии процесса – отделении корпусов конфет от форм, поэтому адгезионное напряжение должно быть минимальным.

3.14. Зависимость прочности адгезии от температуры помадной массы

Температура кондитерской массы, °С	27	28	29	30
Прочность адгезии, кПа	1,70	1,94	2,36	2,86

Адгезия помадной массы определяется свойствами самого продукта, его влажностью и температурой, а также от поверхности контакта [35]. Так, прочность адгезии для помадной массы «Русский узор» при давлении контакта 17,2 кПа и длительности контакта 30 с в зависимости от температуры представлена в табл. 3.14.

Рост адгезии объясняется снижением вязкости продукта и увеличением площади истинного контакта в результате заполнения выемов шероховатой поверхности.

Зависимость адгезии кондитерских масс от температуры определяется не только абсолютным значением этой температуры, но и разностью температур самой массы и подложки. При изменении температуры поверхности, с которой соприкасается масса, изменяется температура той части массы, которая непосредственно соприкасается с твёрдой поверхностью. Взаимное влияние температуры подложки и структурированной помадной массы представлено в табл. 3.15 [36].

Рост температуры помадной массы в большей степени оказывает влияние на прочность адгезии, чем температура подложки. Абсолютные значения прочности адгезии для относительно холодной (0 °С) подложки больше, чем для конфетной массы при низкой температуре (2 °С) [35].

3.15. Взаимовлияние температуры подложки и помадной массы на прочность адгезии

Прочность адгезии помадной массы при температуре стальной поверхности (Сталь 15) 20 °С в зависимости от температуры полуфабриката

Температура помадной массы, °С	2	20	40	70
Прочность адгезии, кПа	11,6	13,0	17,4	38,4

Прочность адгезии помадной массы при температуре полуфабриката 70 °С в зависимости от температуры поверхности

Температура поверхности, °С	0	10	20	40	70
Прочность адгезии, кПа	30,0	34,5	38,4	41,5	46,0

Влияние температуры на адгезионную прочность можно представить в обобщённом виде. На основе полученных экспериментальных данных по адгезии молочной помадной массы в зависимости от температуры массы и поверхности предложена эмпирическая формула. С помощью этой формулы можно рассчитать прочность адгезии помады к стальной поверхности в зависимости от скорости отрыва $v_{отр}$:

$$F_{отр} = -1799 + 233t_{п} - 471t_{м} + 607v_{отр}, \quad (3.3)$$

где $t_{п}$, $t_{м}$ – температура поверхности и кондитерской массы, °С; $v_{отр}$ – скорость отрыва, м/с.

Формула (3.3) справедлива для помадных конфетных масс при скорости отрыва 130 мм/с, когда температура поверхности изменяется от 0 до 70 °С. Расхождение между расчётными, полученными по формуле, и экспериментальными данными не превышают 10%. В большинстве случаев на практике предпочтительнее снижение адгезии, чем её увеличение [36].

Прочность адгезии для помадной массы с добавлением порошка мелиссы представлена на рис. 3.28.

Добавление порошка снижает адгезию помады к нержавеющей стали. С уменьшением дисперсности порошка уменьшается значение адгезионной прочности.

При производстве желейных конфет исследование адгезионных явлений позволит оценить возможность использования различных методов формования для изготовления корпусов конфет. Так, при формовании желейных масс отливкой в формы (крахмальные, силиконовые и др.)

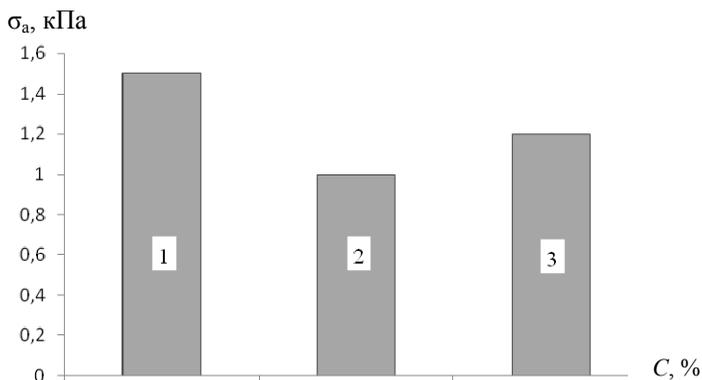


Рис. 3.28. Адгезионное напряжение помадной массы к нержавеющей стали:

1 – контроль; с добавлением 0,5% порошка мелиссы:

2 – 0,14...0,20 мм; 3 – 0,20...0,25 мм

адгезионные явления отрицательно сказываются на конечной стадии процесса – отделении корпусов конфет от форм, поэтому адгезионное напряжение должно быть минимальным.

По результатам анализа экспериментальных исследований установлено, что адгезионное напряжение желеинового студня без добавок составляет 1,18 кПа и уменьшается при внесении добавок крапивы (рис. 3.29).

Наибольшее снижение отмечено при использовании порошков. Сухой и гидратированный порошки (0,14...0,20 мм) в концентрации 0,5% снижают адгезионное напряжение на 55 и 66% соответственно.

Внесение 0,5% экстрактов позволяет снизить адгезионное напряжение на 32% при использовании спиртового и на 26% при использовании концентрированного экстракта.

Таким образом, можно сделать вывод, что использование в рецептурных композициях полуфабрикатов крапивы способствует сокращению потерь на стадиях формования, выстойки и облегчает процессы очистки конфетных корпусов.

По результатам анализа экспериментальных исследований установлено, что адгезионное напряжение желеинового студня без добавок составляет 1,18 кПа и уменьшается при внесении овощного порошка (рис. 3.30).

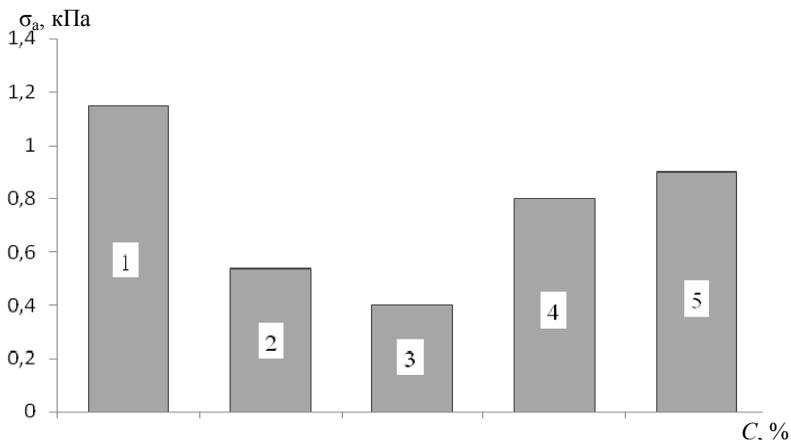


Рис. 3.29. Адгезионное напряжение желеинового студня к нержавеющей стали:

- 1 – контроль; 2 – с добавлением 0,5% порошка 0,14...0,20 мм;
- 3 – с добавлением 0,5% гидратированного порошка 0,14...0,20 мм;
- 4 – с добавлением 1,0% спиртового экстракта; 5 – с добавлением 0,5% концентрированного экстракта

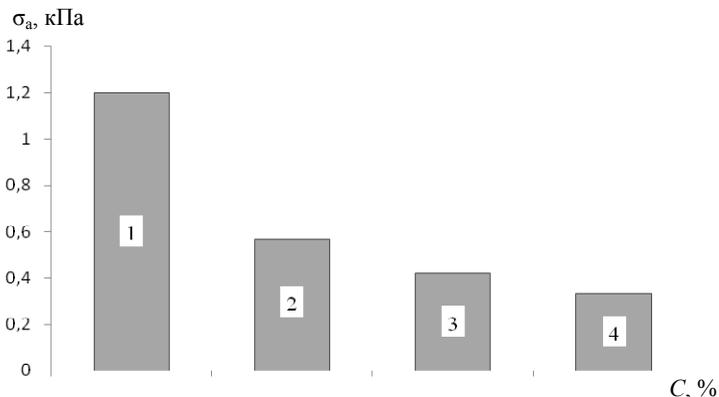


Рис. 3.30. Адгезионное напряжение желеиног студня к нержавеющей стали:
 1 – контроль; 2 – с добавлением 2,5% сухого порошка на стадии темперирования; 3 – с добавлением 2,5% гидратированного порошка на стадии темперирования; 4 – с добавлением 3% тыквенного порошка на стадии приготовления сиропа

Сухой и гидратированный порошки в концентрации 0,5%, внесённые на стадии темперирования, снижают адгезионное напряжение на 55 и 66% соответственно. Добавление 3% порошка на стадии приготовления сиропа снижает адгезионное напряжение на 70%.

Для сбивных масс прослеживается аналогичное влияние овощного порошка – при использовании и в сухом, и в гидратированном виде адгезионное напряжение сбивного студня уменьшается более чем втрое (рис. 3.31).

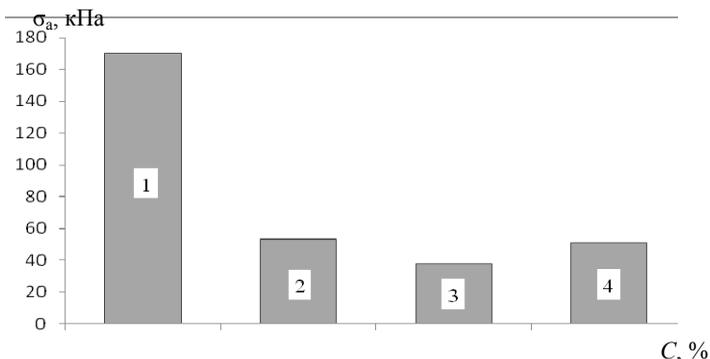


Рис. 3.31. Адгезионное напряжение сбивного студня к нержавеющей стали:
 1 – контроль; 2 – с добавлением 10% сухого порошка; 3 – с добавлением 10% гидратированного порошка; 4 – с добавлением 10% сухого порошка в комплексе с жиродержащим сырём

Значительное снижение адгезионного напряжения к нержавеющей стали сбивных студней с добавлением порошков связано с уменьшением площади контакта за счёт увеличения шероховатости поверхности образцов, а также влагоудерживающей способностью овощных порошков.

При формировании адгезионного соединения конфетных масс в комбинированном корпусе в контакт вступают высоковязкие массы. В этом случае для описания процесса формирования контакта важнейшее значение приобретают реологические характеристики адгезива и условия формирования контакта [9, 23].

На характер адгезионного взаимодействия оказывают влияние процессы, протекающие на границе субстрат–адгезив. Формирование адгезионного контакта упругопластических масс происходит в три стадии: образование площади номинального контакта, формирование площади фактического контакта, протекание вторичных процессов [35].

При формировании площади номинального контакта происходят макрореологические процессы, зависящие от способности структурированной массы течь и подвергаться деформации. Формирование площади фактического контакта связано с микрореологией, помимо процессов, протекающих на первой стадии, в зоне контакта происходит диффузия адгезива в микропоры субстрата. Структурообразование в процессе выстойки характеризуют третью стадию [35].

Образование адгезионного контакта происходит в результате формирования кондитерских изделий, при этом выбор способа формования зависит от реологических свойств полуфабрикатов.

Формование комбинированных желеино-сбивных конфет можно производить методами ко-экструзии, размазки с последующей резкой, отливки.

Практика формования методом ко-экструзии показала, что для каждого отдельного производства необходима разработка новых технологий с учётом конструктивных особенностей формирующего оборудования. При этом необходимо, чтобы кондитерские массы для комбинированных слоёв обладали тиксотропными свойствами и были близки по реологическим характеристикам [81].

Формование конфет отливкой и размазкой позволяет минимизировать механическое воздействие на формуемые конфетные массы, что не разрушает их структуру и снижает величину остаточных напряжений, действующих на границе раздела фаз. Метод размазки позволяет получать многослойные изделия, но в процессе резки возможны нарушения структур, смещения слоёв в результате деформации.

Формование желеино-сбивных конфет осуществляли методами размазки с последующей резкой и отливки. При обосновании последо-

вательности формирования слоёв исходили из реологических свойств конфетных масс.

Как правило, в многослойных изделиях более плотные и тяжёлые массы используются в качестве нижнего слоя. Сбивная масса обладает воздушной пористой структурой и меньшей плотностью по сравнению с желейной. Однако её высокая вязкость, а также недостаточно продолжительное время пребывания в пластическом состоянии приводит к тому, что в адгезионном соединении на границе раздела образуются поры и пустоты, в результате чего уменьшается фактическая площадь контакта [35]. При этом происходит образование недостаточно прочных адгезионных связей между слоями, а в случае резки пласта при воздействии дискового ножа гладкие поверхности обоих студней легко отделяются друг от друга и формирование корпусов осуществить практически невозможно (рис. 3.32).

Продолжительность достижения максимального (молекулярного) контакта можно уменьшить интенсификацией затекания адгезива в микровпадины на поверхности субстрата и вытеснения из них воздуха, а также повышением подвижности молекул адгезива. Поэтому важным условием при выборе последовательности формируемых слоёв является обоснование температурного режима, позволяющего повысить прочность адгезионного контакта.

Возможность регулирования реологических свойств желейных масс при изменении температурного режима стадии формирования является определяющим при выборе желейного слоя в качестве верхнего. С увеличением температуры вязкость желейных масс нелинейно снижается в среднем при увеличении температуры на 1 °С на 0,01 Па·с. При низкой вязкости жидкий адгезив хорошо смачивает поверхность

субстрата, обеспечивая полный бездефектный контакт со сбивной массой с максимальным заполнением микропор на поверхности, при этом происходит формирование адгезионного взаимодействия и упрочнение адгезионного контакта.

Но даже в этом случае прочность адгезионного контакта недостаточна для полного предотвращения расслоения структуры при механическом воздействии на полуфабрикат при резке пласта, полученного методом размазки, или при выемке корпусов,



Рис. 3.32. Адгезионное разрушение при формировании комбинированных корпусов методом размазки и резки

полученных методом отливки в крахмальные формы (рис. 3.33).

Одним из эффективных способов повышения адгезионной прочности является подготовка и модификация субстрата. Так, положительно влияет на увеличение адгезионной прочности снижение внутренних напряжений за счёт введения наполнителей и оптимизации температурно-временного режима формирования адгезионного соединения [13].

Введение овощных порошков позволяет изменить свойства межфазной границы и увеличить поверхность межфазного контакта. Исследования показали, что при испытании контрольных образцов происходит, как правило, адгезионный или смешанный разрыв, а при испытании образцов с добавлением овощных порошков – преимущественно когезионный.

При введении овощных порошков в сбивной слой в количестве менее 2% данные адгезионной прочности между слоями корпуса не существенно отличаются от показателей, полученных для комбинированных корпусов без добавок. Использование порошков в сбивной слой в количестве более 10 масс. % приводит к чрезмерной развитости микрорельефа, что отрицательно сказывается на достижении площади максимального контакта: при большом числе связей уменьшается подвижность макромолекул в граничном слое, повышаются внутренние напряжения, изменяется структура поверхностного слоя, что приводит к возникновению дефектных областей, являющихся центрами, на которых начинается разрушение адгезионных соединений. Проведённые исследования показали, что максимальная адгезия между слоями конфетных масс достигается при введении овощного порошка в сбивной слой в количестве 5...10 мас. %, в желейный – не более 3%.

На основании вышеизложенного можно сделать вывод, что внесение морковного порошка в сбивную массу позволяет увеличить площадь контакта адгезив–субстрат и повысить прочность адгезионного соединения за счёт образования шероховатой поверхности сбивной массы и максимального заполнения микродефектов желейной массой. Кроме того, постоянство структурно-механических свойств сбивной массы в результате укрепления каркаса пены грубыми волокнами морковного порошка обеспечивает формоудерживающую способность



Рис. 3.33. Смешанное разрушение адгезионного соединения при формировании комбинированных корпусов методом размазки и резки

сбивного слоя и позволяет выполнить операцию отливки желейной массы плотностью 1350 кг/м^3 через 45...60 мин после формования. Обладающие высокой водосвязывающей способностью овощные порошки адсорбируют влагу с поверхности конфетных масс, что улучшает их сцепление с комбинируемым слоем.

Добавление порошков в желейную массу снижает прочность студня и позволяет изменить адгезионное напряжение на его поверхности, что положительно сказывается на качестве адгезионного контакта со сбивной массой.

Введение добавок в конфетные массы, изменяя их физико-химические свойства, вызывает явление контракции, при этом прочность адгезионных контактов возрастает более чем на 30% по сравнению с контрольными образцами (рис. 3.34, 3.35).

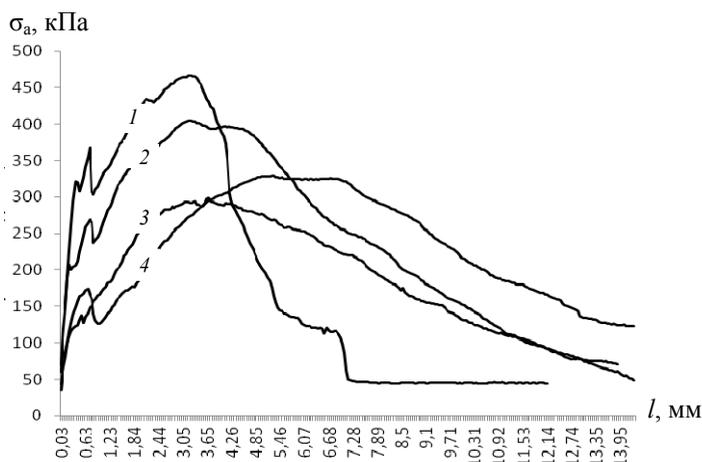


Рис. 3.34. Зависимость прочности адгезионных контактов от глубины отрыва при содержании порошков в сбивной массе и температуре формования желейного слоя:

1 – 5%, 105 °C; 2 – 5%, 95 °C; 3 – без порошков, 95 °C; 4 – без порошков, 105 °C



Рис. 3.35. Резка комбинированных корпусов с добавлением:
5% морковного порошка в сбивной слой; 3% тыквенного порошка в желейный слой

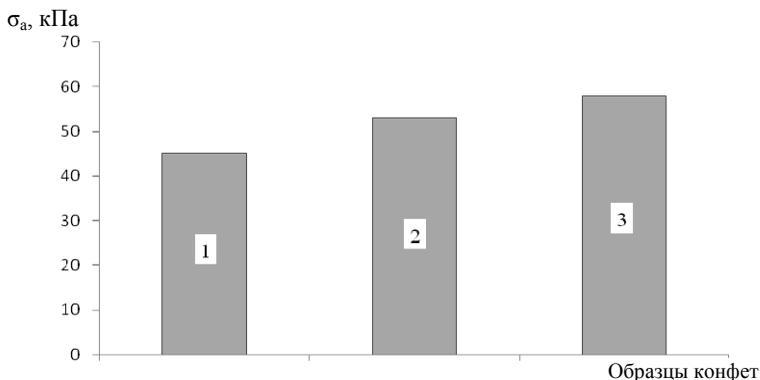


Рис. 3.36. Прочность адгезионных контактов в зависимости от массового соотношения слоёв корпуса железный:сбивной, %:
 1 – 70:30; 2 – 50:50; 3 – 30:70

Характерной особенностью прочности адгезионных соединений является её зависимость от толщины слоя адгезива. Как правило, с уменьшением толщины слоя адгезива прочность адгезионного соединения возрастает [21, 23, 104].

Комбинированные корпуса готовили с соотношением сбивного и железного слоёв (30...70%):(70...30%) при высоте корпуса 16 мм. При уменьшении толщины железного слоя прочность адгезионного взаимодействия повышается на 6,0...7,5 кПа (рис. 3.36).

Эта зависимость может быть объяснена масштабным фактором. Согласно статистической теории прочности твёрдых тел, значительно меньшая для многих материалов реальная прочность по отношению к теоретической объясняется дефектностью реальных тел [21]. Поэтому прочность образцов небольших размеров оказывается выше прочности более массивных, в которых вероятность наличия дефектов больше.

Другой причиной зависимости прочности адгезионного соединения от толщины слоя адгезива могут быть внутренние напряжения [99]. Суммарный эффект действия напряжений, приводящий к ослаблению адгезионной связи, оказывается выше в случае более толстых слоёв адгезивов.

Таким образом, изменение адгезионного взаимодействия кондитерских полуфабрикатов и поверхности частей оборудования между массами в сложных изделиях, возможно за счёт модификации свойств кондитерских масс и рациональной технологии: изменения влажности, состава, введения некоторых добавок, соблюдения технологических режимов и времени контакта кондитерских масс между собой или с поверхностью оборудования.

Глава 4

РЕОЛОГИЯ МУЧНЫХ КОНДИТЕРСКИХ ИЗДЕЛИЙ

Мучные кондитерские изделия отличаются от сахаристых тем, что в их состав входит мука. В зависимости от рецептуры и способа приготовления кондитерское тесто может быть жидким, вязкопластичным или упруговязкопластичным. К основным реологическим свойствам теста относятся вязкость, упругость и прочность. Указанные показатели формируют структурно-механические характеристики готовых изделий, например, для вафель – хрусткость, для пряников – мягкость, затяжистость.

4.1. РЕОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КОНДИТЕРСКОГО ТЕСТА

Пряничное тесто пластично-вязкое, хорошо воспринимает и сохраняет свою форму, тесто образуется в условиях ограниченного набухания коллоидов муки, поэтому продолжительность замеса теста должна быть минимальной и температура ниже, чем температура теста, например, обладающего упруговязкопластичными свойствами.

Кондитерское пряничное тесто как и все тестообразные массы является структурированной дисперсной системой и состоит из трёх фаз: твёрдой, жидкой и газообразной. Твёрдую фазу представляют лиофильные коллоиды муки – водонерастворимые белковые комплексы и крахмал пшеничной муки.

Жидкая фаза представляет собой многокомпонентный водный раствор веществ, предусмотренных рецептурой теста (инвертный сироп, вода, раствор сахара, патоки, соли, гидрокарбоната натрия, карбоната аммония, и др.). Соотношение между твёрдой и жидкой фазами зависит от вида теста, его влажности, количества и качества клейковины.

Газообразную фазу составляет воздух, который захватывается при замесе теста, диспергируется и удерживается в тесте. Кроме того, воздух входит с мукой, водой и другими видами сырья и полуфабрикатов. Газообразная фаза может достигать в тесте 10%.

Степень разрыхления теста зависит от реологических свойств теста и от равномерного распределения в тесте химических разрыхлителей. Особенно увеличивается пористость и объём заготовок из пластичного пряничного теста.

Прежде всего, свойства теста определяются качеством муки, качеством и количеством клейковины. В производстве пряников применяется пшеничная мука со средней или слабой клейковиной [39].

Вторым по значению компонентом теста является сахар в виде сахара-песка или сахарной пудры. Сахар оказывает влияние на тесто благодаря своим дегидратирующим свойствам. В водном растворе молекулы сахара покрываются гидратными оболочками. При температуре 20 °С молекулы сахарозы связывают и удерживают 8 – 12 молекул воды. Оболочки увеличивают молекулярный объём, снижая скорость диффузии и осмотическое набухание белков. С увеличением количества сахара снижается количество свободной воды в жидкой фазе теста и ограничивается набухание коллоидов муки.

Изменяя физико-химические свойства теста, сахар влияет на его структуру и реологические свойства. Тесто становится мягким, вязким, пластичным. При высоком содержании сахара повышается адгезия теста к рабочим поверхностям машин (прокатывающим, формующим, к стальной ленте печной камеры). При выпечке тестовые заготовки расплываются.

На качество теста оказывает влияние размер частиц сахара. Для получения пластичного теста с малым содержанием воды следует применять сахарную пудру. Это обеспечивает растворимость в воде всего количества сахара. В противном случае качество изделий ухудшается из-за присутствия на поверхности нерастворимых кристаллов. Высокое содержание сахара и отсутствие в рецептуре жира делают изделия чрезмерно твёрдыми.

Степень набухания коллоидов муки регулируют жиры, но механизм их действия иной. Жиры, адсорбируясь на поверхности коллоидных частиц, ослабляют взаимную связь между частицами, препятствуют проникновению влаги, увеличивая содержание жидкой фазы теста. Тесто становится более пластичным. Чем тоньше плёнки жира и чем больше их в тесте, тем более пористую и хрупкую структуру имеют получаемые изделия. Поэтому целесообразно использовать жиры в пластичном состоянии или вводить в тесто в виде тонкодиспергированной эмульсии [45]. Преимущество имеют жиры, сохраняющие пластичность в широком интервале температур. Это достигается сочетанием твёрдых и жидких жиров с различными температурами плавления. Жидкое растительное масло выделяется из изделий.

В рецептуру пряничного теста в небольшом количестве входит инвертный сироп или патока, с которыми вносятся гигроскопичные редуцирующие вещества, повышающие намокаемость изделий. С повышением количества патоки возрастает влажность и липкость теста.

Для разрыхления пряничного теста применяется химический способ разрыхления, так как высокое содержание сахара и жира угнетающе действуют на дрожжи. В зависимости от вида изделия рецептурами предусмотрено использование гидрокарбоната натрия (0,4...0,7%) и карбоната аммония (0,5...0,8 %). Допускается варьирование количества разрыхлителей в зависимости от качества муки.

Соль повышает температуру клейстеризации крахмала. При небольших дозах соль увеличивает набухание белков муки, улучшает свойства теста, повышает его прочность.

В зависимости от технологии приготовления пряничные изделия подразделяются на заварные (с заваркой муки) и сырцовые (без заварки муки), пряники с начинкой и без неё.

Структурно-механические свойства пряников дают наиболее полное представление о существенных аспектах их качества – консистенции и структуре.

Вафельное тесто является слабоструктурированной дисперсной системой, представляющей суспензию частичек муки, покрытых гидратными оболочками в водной жидкой фазе. Тесто должно иметь жидкую консистенцию и минимальную вязкость, позволяющую равномерно и быстро растекаться на поверхности вафельных форм, предназначенных для выпечки. Введение в рецептуру компонентов, обладающих поверхностной активностью (яйцепродуктов, фосфолипидов, моноглицеридов), способствует стабилизации вафельного теста, снижению его вязкости и получению изделий со специфическими хрустящими свойствами. В процессе выпечки вафельных листов большую роль играют вносимые в тесто разрыхлители. При производстве вафель используются химические разрыхлители, в частности гидрокарбонат натрия, который при температуре разлагается с выделением диоксида углерода, что создаёт пористую структуру.

Обзор исследований, посвящённый изучению реологических характеристик мучных полуфабрикатов и готовых изделий, приведён в табл. 4.1.

Анализ информационных источников по технологии производства вафель показал, что для улучшения реологических свойств вафельного теста и структурно-механических характеристик вафельного листа требуется корректировка рецептур вафельного теста и использование различных пищевых добавок: ферментных препаратов, органических кислот, нетрадиционных видов сырья, лецитина, пищевых волокон. При этом вид и количество вводимой добавки зависит от состава муки, используемой в производстве.

4.1. Обзор реологических исследований мучных полуфабрикатов и готовых изделий

Задачи исследования	Методы исследования	Результаты исследования	Авторы, источник
Разработка и исследование полуфабрикатов и кондитерских изделий с применением комплексного порошкообразного обогатителя	Общепринятые структурно-механические методы исследования	Определена рациональная дозировка при замене сахарной пудры продуктом экструдирования из зернового сырья, вторичных продуктов мукомольного производства и порошков лекарственных растений для обеспечения оптимальной вязкости вафельной начинки и увеличения её формоудерживающей способности	О. А. Сергеева [112]
Исследование влияния CO ₂ -шротов лекарственных и пряно-ароматических растений на структурные характеристики пряничного теста	Не указаны	Установлено, что внесение CO ₂ -шротов из растительного пряно-ароматического сырья положительно влияет на реологические свойства теста, приготавливаемого для заварных и сырцовых пряничных изделий. Определены оптимальные дозировки сборов CO ₂ -шротов для заварных и сырцовых пряничных изделий – 1,5% к массе муки в тесте, обуславливающие высокие структурно-механические показатели готовых изделий	И. Н. Безуглая [10]

Продолжение табл. 4.1

Задачи исследования	Методы исследования	Результаты исследования	Авторы, источник
<p>Исследование реологических, структурно-механических свойств полуфабрикатов и структурно-механических свойств готовых вафельных изделий с добавлением овсяной муки и ячменного солодового экстракта</p>	<p>Исследование реологических характеристик вафельного теста и начинки проводили на приборах «Реотест-2» и структуромере СТ1</p>	<p>Доказано, что замена 30% пшеничной муки овсяной позволяет добиться стабильной вязкости вафельного теста на протяжении всего времени его расхода за счёт снижения количества набухаемых белков в тесте. Установлено оптимальное количество ячменного солодового экстракта в вафельной жировой начинке: введение 3,0%-ного солодового экстракта не изменяет структурно-механические свойства начинки. Внесение солодового экстракта более 3% приводит к уменьшению адгезионных свойств начинки</p>	<p>И. Я. Аминаева [2]</p>
<p>Выявление влияния стевиозида, неосветлённых свекловичных волокон и сухой молочной сыворотки на реологические характеристики модельных структурированных дисперсных систем</p>	<p>Определение реологических характеристик полуфабрикатов и готовых изделий проводили на приборах «Реотест-2» и структуромере СТ1</p>	<p>Отмечено значительное повышение степени структурообразования начинки по сравнению с контрольным образцом. Установлены оптимальные режимы приготовления жировой начинки с внесением стевиозида, неосветлённых свекловичных волокон и сухой молочной сыворотки: длительность вымешивания 13 мин, продолжительность структурообразования 7 мин</p>	<p>Н. А. Тарасенко [119]</p>

Продолжение табл. 4.1

<p>Изучение влияния порошкообразного плавленого сыра на структурно-механические свойства жировой начинки вафель при введении его в рецептуру взамен жира</p>	<p>Измерения пластической прочности проводили на коническом пластометре</p>	<p>Установлено продолжительность структурообразования начинки и определена её пластическая прочность. Получена математическая модель зависимости вязкости вафельной начинки и пластической прочности от массовой доли порошкообразного плавленого сыра и вафельной крошки в жировой смеси</p>	<p>Д. Н. Евсюков [32]</p>
<p>Повышение биологической ценности вафель путём добавления шрота облепихового обезжиренного</p>	<p>Органолептическая оценка</p>	<p>Установлено, что при увеличении массовой доли шрота намокаемость вафельного листа возрастает незначительно вследствие упрочнения структуры теста. Полная замена муки или сахара на облепиховый шрот отрицательно сказывается на качестве готовых изделий</p>	<p>Г. В. Иванова, Е. О. Никулина [40]</p>
<p>Изучение влияния заменителей сахара на реологические свойства вафельного теста и готовой продукции</p>	<p>Хрупкость характеризовали с помощью показателя относительной деформации, определяемой на специальном приборе, согласно авторской методике как отношение предела прочности к модулю Юнга</p>	<p>Определены оптимальные комбинации заменителей сахара, а также их общее содержание к массе муки для улучшения реологических свойств теста и структурно-механических характеристик готовых изделий. Улучшаются хрупкость изделий, пластические свойства</p>	<p>В. С. Попов, О. А. Тимошенко, В. Н. Красильников [103]</p>

Окончание табл. 4.1

Задачи исследования	Методы исследования	Результаты исследования	Авторы, источник
Получение мучных кондитерских изделий с функциональными свойствами	Не указаны	Установлено, что добавление CO ₂ -шротов лекарственных и пряно-ароматических растений в тесто увеличивает его прочность. Готовые изделия имеют равномерную мелкую пористость и гладкую поверхность	И. Б. Красина [49]
Исследование влияния порошков мушмулы на структурно-механические характеристики бисквитного теста и готовых полуфабрикатов	Эффективную вязкость теста определяли на ротационном вискозиметре «Реотест-2», пористость – с помощью прибора для определения пористости бисквитного полуфабриката	Установлено, что при внесении добавок вязкопластичные и упругие свойства мякиша бисквитных полуфабрикатов возрастают по сравнению с контролем, уменьшаются показатели деформационных характеристик	А. С. Джабоева [27]
Исследование влияния свойств модифицированных жиров на показатели качества теста и печенья	Реологические свойства теста исследовали на приборе Вейлера–Ребиндера	Установлено влияние поверхностного натяжения, плотности, температуры кристаллизации жиров на реологические характеристики теста и качество готового изделия. Показано, что для получения пластичного теста для сахарного печенья рекомендуется поверхностное натяжение жира не более $44 \cdot 10^{-3}$ н/м. Для получения затяжного теста с требуемой пластичностью плотность жиров должна быть не более 910 кг/м^3 . Температура кристаллизации жиров – не выше температуры замеса теста	Т. С. Вайншенкер [16]

В большинстве известных рецептов вафельного теста применяются яйцапродукты, но их поверхностная активность проявляется только при значительном количестве (свыше 90 кг на тонну полуфабриката). Кроме того, данный компонент является экономически затратным для производителя, поэтому представляет интерес использования комплексных улучшителей муки, обладающих высокой эффективностью и снижающих себестоимость готовых изделий [65].

Чтобы вафельное тесто обладало требуемыми реологическими свойствами, а вафельные листы имели заданную структуру, при замесе теста необходимо максимально ограничить набухание белков муки.

Технологические свойства муки, которые характеризуют возможность получения из неё вафельных листов высокого качества, определяются, прежде всего, количеством и качеством клейковины. Анализ изменения качества вафельного теста из муки с различным содержанием сырой клейковины показывает, что при содержании сырой клейковины более 25% вафельное тесто имеет большую вязкость и густую консистенцию из-за сильного набухания клейковинных белков. Это затрудняет перекачивание теста насосом и равномерное распределение теста на поверхности формы, что неблагоприятно влияет на качество готовых изделий, поскольку при повышении содержания клейковины в муке заметно возрастает прочность вафельных листов и они теряют хрустящие свойства. Таким образом, высокое содержание клейковинных белков в муке для производства вафельного листа нежелательно. В то же время слишком низкое содержание клейковины в муке также отрицательно сказывается на качестве готовых изделий, так как содержание клейковины в исходной муке определяет белковую ценность и обуславливает вкус и аромат вафельных листов [50].

Основными белковыми фракциями клейковины являются глютеин и глиадин. Молекулярная масса глютеина превосходит молекулярную массу глиадина, что во многом обуславливает различия в их структурно-механических свойствах: выделенный из муки гидратированный глютеин представляет собой резинообразную упругую массу, а глиадин – сильно растяжимую, вязкотекучую, липкую, неупругую массу. Для вафельного производства наиболее ценной фракцией является глиадин: именно его наличие и свойства определяют текучесть теста.

Обычно клейковину муки оценивают не только с количественной, но и с качественной стороны, определяя степень её растяжимости, упругости и эластичности. Однако эти свойства клейковины отражают главным образом свойства глютеиновой фракции, оказывающей отрицательное влияние на формирование структуры вафельного теста и готовых изделий [30, 66].

Исходя из вышеизложенного, следует, что наилучшие результаты можно получить при использовании муки, содержащей не более 25% клейковины. Но следует иметь в виду, что хотя мука с содержанием клейковины более 25% нежелательна, так как тесто приобретает вязкую консистенцию и вафельные листы получаются жёсткими, она вполне пригодна при соблюдении правильных технологических режимов замеса теста и внесении добавок, влияющих на реологические свойства теста.

Добавление ферментных препаратов серии «Альфамальт LQ» заметно влияет на вязкость теста. Внесение протеаз способствует расщеплению белка клейковины и препятствует коагуляции протеина. Тесто получается без комочков и не забивает форсунок при заливке в формы для выпечки. Энзиматические препараты благотворно влияют на вязкость вафельного теста даже при пониженном содержании воды, что обеспечивает снижение энергозатрат на перекачку теста и удаление влаги при выпечке. Готовые вафельные листы получаются однородными и менее ломкими [126].

Большое значение имеет разработка новых липидсодержащих биологически активных добавок, позволяющих сохранить хрустящие свойства вафель в течение всего срока хранения. Практический интерес для мучной кондитерской промышленности представляют подсолнечные активированные фосфолипиды, в частности, полученная на их основе путём обезжиривания БАД Витол, которую можно использовать в качестве улучшителя теста при производстве вафельных листов. Были проведены эксперименты по замене яичного желтка на БАД Витол. Установлено, что новый вид вафель имеет показатели качества, соответствующие требованиям ГОСТ, как для свежеработанных вафель, так и для образцов в процессе хранения. Следует отметить, что их срок хранения может быть увеличен до 2 месяцев без ухудшения качества [17].

В качестве стабилизирующих эмульсий используют лецитины и фосфатидные концентраты, моно- и диглицериды жирных кислот, другие сложные эфиры, фосфаты, создают и стабилизируют эмульсию, вследствие этого сохраняется консистенция исходного продукта и продлевается его свежесть. Кроме того, внесение лецитина улучшает отделение вафель от форм, убирает карамелизацию вафельниц, снижает расход жиров, придаёт продукции золотистый цвет, улучшает блеск и хруст вафель, делает поверхность продукции гладкой, снижает набухание листов [2, 30].

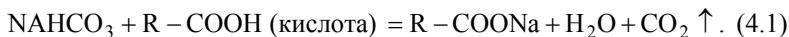
Целью исследований авторов являлось совершенствование технологии производства вафель на основе результатов изучения влияния технологических добавок на реологические свойства вафельного теста (табл. 4.2).

4.2. Влияние технологических добавок на вязкость вафельного теста

Исследуемые образцы	Количество, %	Вязкость, Па·с				
		после замеса	10 мин	20 мин	30 мин	40 мин
Контрольный		1,65	1,66	1,67	1,68	1,70
С добавлением лимонной кислоты	0,063	1,5	1,47	1,43	1,41	1,39
	0,094	1,25	1,26	1,25	1,18	1,13
	0,125	1,23	1,23	1,14	1,10	1,05
С добавлением аскорбиновой кислоты	0,006	1,42	1,42	1,38	1,36	1,35
	0,013	1,38	1,36	1,35	1,34	1,33
	0,250	1,34	1,33	1,31	1,30	1,28
С добавлением лецитина и растительного масла	1,000	1,6	1,61	1,62	1,63	1,65
	1,500	1,58	1,59	1,60	1,61	1,63
	2,000	1,55	1,56	1,57	1,58	1,59
С добавлением углекислотной соли	0,250	1,54	1,51	1,50	1,48	1,46
	0,330	1,36	1,35	1,33	1,30	1,29
	0,500	1,28	1,24	1,23	1,22	1,21
С добавлением ферментного препарата	0,010	1,27	0,79	1,16	1,14	1,07
	0,020	0,90	0,79	0,72	0,64	0,63
	0,030	0,83	0,73	0,69	0,63	0,56
С добавлением крахмала	2,500	1,68	1,68	1,68	1,68	1,68
	3,750	1,68	1,68	1,68	1,68	1,68
	5,000	1,69	1,68	1,68	1,68	1,68
С добавлением пищевого волокна	0,400	1,69	1,69	1,68	1,68	1,68
	0,300	1,69	1,68	1,68	1,68	1,68
	0,200	1,68	1,67	1,67	1,67	1,67

На основании приведённых данных получены зависимости вязкости вафельного теста, изготовленного по разным рецептурам, от продолжительности выстойки теста (рис. 4.1).

Использование лимонной кислоты уменьшает вязкость вафельного теста с течением времени и по сравнению с контрольным образцом, у которого вязкость с продолжительностью выстойки увеличивается. Это происходит из-за того, что при взаимодействии разрыхлителя – соды происходит следующая реакция:



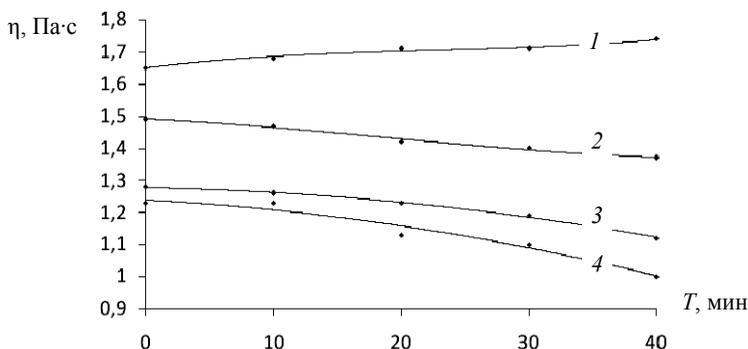


Рис. 4.1. Зависимость изменения вязкости теста от продолжительности выстойки для образцов с различным содержанием лимонной кислоты:
 1 – контроль; 2 – 0,06%; 3 – 0,09%; 4 – 0,12%

Таким образом, при разложении гидрокарбоната натрия выделяется диоксид углерода, что делает вафельное тесто менее вязким.

При внесении углеаммонийной соли (рис. 4.2) вязкость вафельного теста уменьшается.

Наиболее существенно на снижение вязкости влияет добавление ферментного препарата Альфамальт LQ15080 (рис. 4.3).

Снижение вязкости объясняется тем, что внесение протеаз способствует расщеплению белка клейковины и препятствует коагуляции протеина, что благотворно влияет на вязкость вафельного теста даже при пониженном содержании воды. Готовые вафельные листы получаются однородными и менее ломкими.

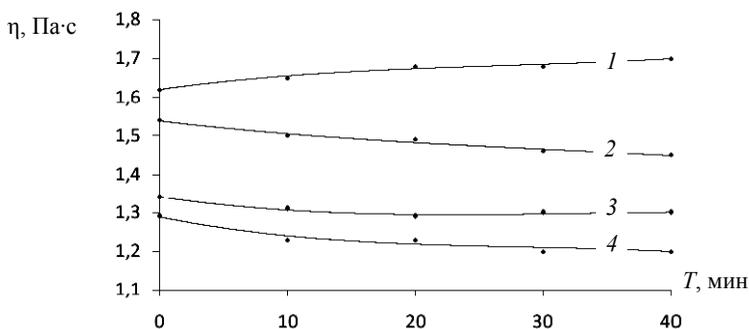


Рис. 4.2. Зависимость изменения вязкости теста от продолжительности выстойки для образцов с различным содержанием углеаммонийной соли:
 1 – контроль; 2 – 0,25%; 3 – 0,30%; 4 – 0,50%

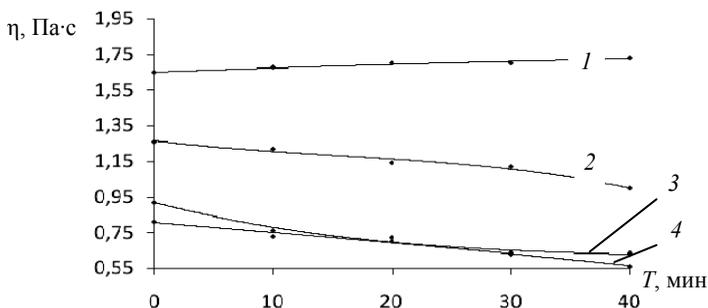


Рис. 4.3. Зависимость изменения вязкости теста от продолжительности выстойки для образцов с различным содержанием ферментного препарата:
 1 – контроль; 2 – 0,01%; 3 – 0,02%; 4 – 0,03%

Введение в базовую рецептуру крахмала и пищевых волокон приводит к увеличению вязкости за счёт увеличения количества сухих веществ, внесённых в виде нерастворимых волокон и крахмала. Следует отметить, что вафельное тесто обладало более стабильными реологическими свойствами и его вязкость практически не изменялась во времени.

Для повышения биологической ценности, получения требуемой консистенции и обеспечения стабильности реологических свойств вафельного теста возможно использование муки различного качества [2].

Влияние различного количества овсяной муки на свойства вафельного теста исследовали на основе базовой рецептуры с заменой пшеничной муки овсяной в количестве 10, 20, 30 и 40%.

Концентрация овсяной муки выбиралась по совокупности технологических свойств полуфабрикатов и функциональных свойств готовых изделий. Чем выше содержание овсяной муки в изделиях, тем выше его биологическая ценность. Влияние количества овсяной муки на реологические показатели теста приведены в табл. 4.3.

4.3. Результаты измерения вязкости вафельного теста

Исследуемые образцы	Вязкость, Па·с						
	после замеса	5 мин	10 мин	15 мин	20 мин	25 мин	30 мин
Контрольный	1,48	1,57	1,58	1,61	1,62	1,62	1,62
С добавлением овсяной муки							
10%	1,52	1,85	1,89	1,94	1,97	1,97	1,97
20%	1,84	2,14	2,29	2,34	2,38	2,39	2,40
30%	2,08	2,40	2,69	2,75	2,77	2,78	2,79
40%	2,18	2,55	3,79	3,90	3,99	4,21	4,23

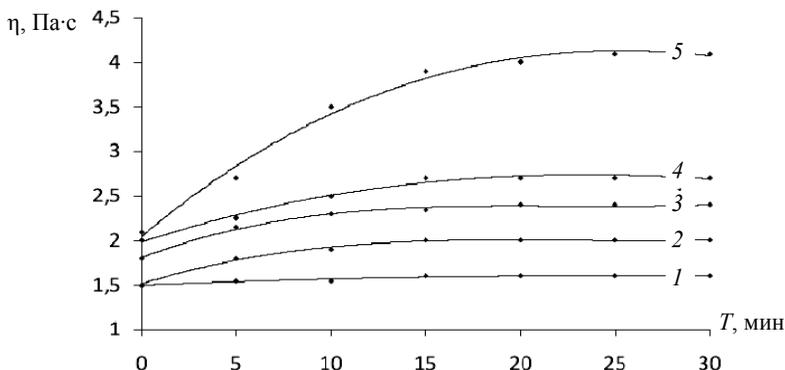


Рис. 4.4. Влияние количества вносимой овсяной муки на вязкость вафельного теста:

1 – контроль; 2 – 19%; 3 – 20%; 4 – 30%; 5 – 40%

Из рисунка 4.4 видно, что вязкость теста увеличивается пропорционально количеству вносимой овсяной муки. При внесении 40% овсяной муки происходит заметное увеличение вязкости во времени расхода теста, тогда как вязкость контрольного замеса, а также образцов теста с 10 и 20% овсяной муки стабильна во времени. Замена 30 и 40% пшеничной муки овсяной выводит значение вязкости вафельного теста за рабочий диапазон (1,6...1,8 Па·с) и возможна только при использовании технологических добавок, понижающих вязкость теста.

Для стабилизации реологических свойств вафельного теста с добавлением 30% овсяной муки исследовано влияние лимонной кислоты, углеаммонийной соли и ферментного препарата Альфамальт LQ15080 на вязкость полуфабриката (табл. 4.4).

При добавлении лимонной кислоты происходит выделение диоксида углерода, углеаммонийной соли – аммиака, которые делают вафельное тесто менее вязким, но не выводят значения вязкости в желаемый интервал. Увеличение дозировок вносимых добавок для снижения вязкости приводит к заметному ухудшению органолептических показателей вафельных листов.

Добавление ферментного препарата Альфамальт LQ15080 приводит к гидролизу белка клейковины, препятствуя коагуляции протеина и снижению вязкости теста. Для снижения вязкости вафельного теста рекомендуется использовать ферментный препарат в концентрации 0,03 кг на 100 кг муки.

При реализации предложенной рецептуры на производстве рекомендуется использовать тесто в течение 15 мин после замеса, когда показатель вязкости является наиболее желательным для дозирования теста на формы для выпечки.

4.4. Результаты измерения вязкости вафельного теста

Исследуемые образцы	Количество, %	Вязкость, Па·с						
		после замеса	5 мин	10 мин	15 мин	20 мин	25 мин	30 мин
С добавлением лимонной кислоты	0,09	1,90	2,03	2,25	2,40	2,40	2,40	2,41
	0,11	1,79	1,91	2,15	2,22	2,23	2,23	2,23
	0,13	1,70	1,81	2,07	2,15	2,16	2,16	2,17
С добавлением углеаммонийной соли	0,30	2,08	2,18	2,38	2,49	2,63	2,67	2,72
	0,40	1,99	2,07	2,29	2,34	2,45	2,48	2,65
	0,50	1,95	2,04	2,22	2,31	2,41	2,46	2,58
С добавлением ферментного препарата	0,02	1,14	1,42	1,52	1,58	1,75	1,80	1,80
	0,03	1,04	1,31	1,34	1,45	1,59	1,60	1,60
	0,04	0,98	1,22	1,28	1,41	1,49	1,5	1,5

Кривые течения вафельного теста адекватно описываются уравнением Гершеля–Балкли. Установлено, что предельное напряжение сдвига для всех образцов теста близко к нулю, что связано с жидкой консистенцией вафельного теста. Наибольшие значения предельного напряжения сдвига наблюдаются у образцов теста с добавлением 40% овсяной муки. Индекс течения у всех образцов меньше 1, что характеризует вафельное тесто как неньютоновскую псевдопластичную систему.

Окончательные выводы о корректировке рецептов вафельного теста можно сделать только после изучения структурно-механических и органолептических оценок вафельных листов.

4.2. СТРУКТУРНО-МЕХАНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВАФЕЛЬНЫХ ЛИСТОВ

Рецептурные ингредиенты, положительно влияющие на технологические свойства вафельного теста, могут оказывать негативное влияние на структурно-механические и органолептические характеристики готовых изделий. Подобный характер влияния на качество вафельных листов наблюдался для всех приведённых в табл. 4.2 технологических добавок.

Так, при внесении ферментного препарата Альфамальт LQ15080 в количестве 0,04 кг на 100 кг муки вафельное тесто имеет стабильно низкую вязкость, но наблюдается существенное (на 35...40%) снижение прочности вафельных листов (рис. 4.5), что приводит к увеличению брака при резке вафельных пластов и увеличению количества возвратных отходов.

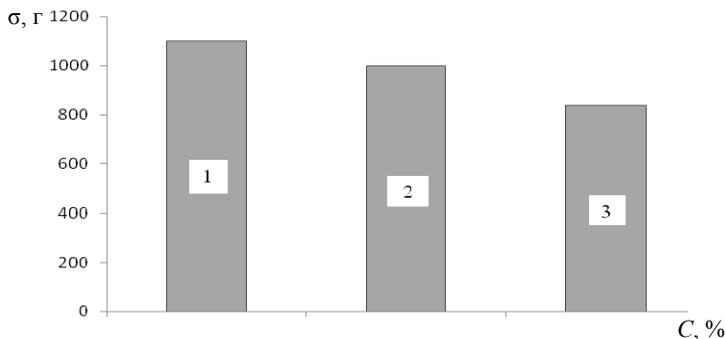


Рис. 4.5. Влияние количества вносимого ферментного препарата Альфамальт LQ 15880 на прочность вафельного листа:
 1 – 0,02%; 2 – 0,03%; 3 – 0,04%.

При содержании 40% овсяной муки и выше происходит значительное уменьшение прочности вафельных листов, что приводит к большому количеству лома (рис. 4.6).

Это обусловлено содержанием в овсяной муке в большей степени глютелиновой фракции белка, оказывающей отрицательное влияние на формирование структуры вафельного теста и готовых изделий.

Дальнейшие исследования прочности вафельных листов проводили для образцов с содержанием 30% овсяной муки и внесением различных видов технологических добавок (рис. 4.7).

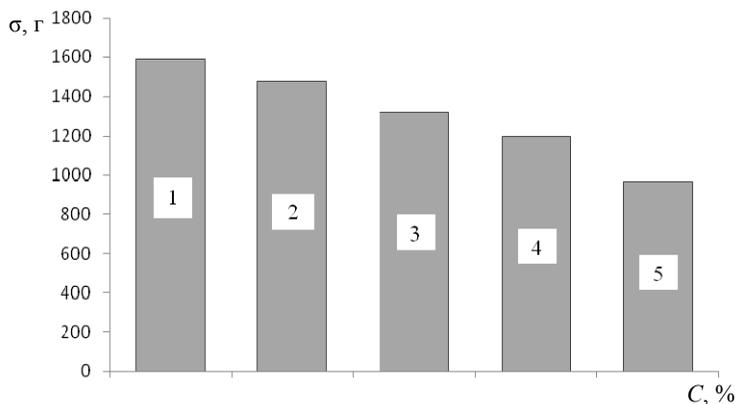


Рис. 4.6. Влияние количества вносимой овсяной муки на прочность вафельного листа:
 1 – контроль; 2 – 10%; 3 – 20%; 4 – 30%; 5 – 40%.

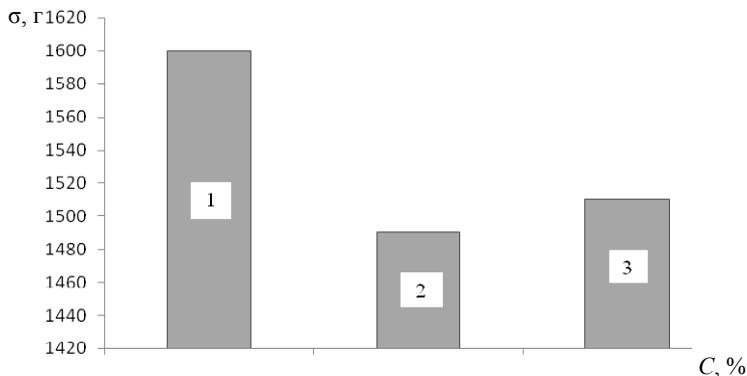


Рис. 4.7. Прочность вафельных листов с добавлением:
 1 – лимонной кислоты; 2 – углеаммонийной соли;
 3 – ферментного препарата Альфамальт LQ 15880

При введении в базовую рецептуру лимонной кислоты в количестве 0,125 кг на 100 кг муки, углеаммонийной соли – 0,5 кг и ферментного препарата – 0,03 кг, улучшается структура вафельного листа по показателям «пористость» и «хруст» (см. рис. 4.7).

Органолептическая оценка вафельных листов с добавками по показателю «хруст» значительно выше, чем у контрольного образца. При повышении концентрации указанных добавок изменялись оценки по показателям «пористость» и «ломкость». Проведение сравнительного анализа структурно-механических свойств вафельных листов дегустаторами и показателей инструментальной оценки позволило выявить взаимосвязь между балльной и инструментальной оценкой образцов (табл. 4.5).

Приведенные исследования показали, что введение пищевых волокон придаёт изделиям жёсткость, добавление лецитина с растительным маслом делает их менее крошкими и ломкими, а крахмал увеличивает пористость. Как эффективную добавку в вафельном тесте можно рекомендовать лимонную кислоту и ферментный препарат Альфамальт LQ 15880, которые улучшают структуру и хрустящие свойства изделий, повышают их прочность.

4.5. Соответствие балльной и инструментальной оценки вафельных листов

Балльная оценка	Отлично (5 баллов)	Хорошо (4 балла)	Удовлетворительно (3 балла)	Неудовлетворительно (2 балла)
Прочность, г	1200...1350	1350...1500	1500...1650	Более 1650 или менее 1200

4.3. СТРУКТУРНО-МЕХАНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРЯНИКОВ

О реологических свойствах пряничного теста судят по изменению касательного напряжения сдвига и динамической эффективной вязкости как самым объективным показателям оценки свойств полуфабрикатов и готовых изделий.

Некоторые результаты исследований зависимости касательных напряжений сдвига и динамической вязкости пряничного теста от градиента скорости при различных температурах приведены в табл. 4.6 [45].

4.6. Результаты реологических исследований пряничного теста

Температура, °С	Скорость деформации, с ⁻¹	Напряжение сдвига, Па	Вязкость, Па·с
40	0,16	104,88	631,81
	0,30	157,32	524,40
	0,33	144,21	432,67
	0,60	209,76	349,600
	1,00	262,2	262,20
	1,80	367,08	203,93
	3,00	498,18	166,06
	5,40	458,85	84,97
	9,00	891,48	99,05
	16,20	1258,56	77,69
	27,00	1651,86	61,18
	48,60	2084,49	42,89
81,00	2333,58	28,81	
60	0,6	62,93	104,88
	1,0	78,66	78,66
	1,8	104,88	58,23
	3,0	144,21	48,07
	5,4	207,14	38,36
	9,0	270,07	30,01
	16,2	380,19	23,47
	27,0	603,06	22,34
	48,6	943,92	19,42
	81,0	970,14	11,98
145,8	1389,66	9,53	

Анализ данных показывает, что с повышением температуры пряничного теста и скорости сдвига напряжение сдвига возрастает, а вязкость понижается экспоненциально, что характерно для сдвобного теста [4, 45].

Это позволяет отнести исследуемое пряничное тесто к неньютоновским упруговязкопластичным телам и сделать вывод о том, что оно обладает предельным напряжением сдвига, соответствующим упругой составляющей деформации. Упругая деформация накапливается в тесте, потому что его твёрдые составляющие деформируются при течении окружающей их жидкой фазы [4].

Из-за упругих свойств пряничного теста полного разрушения структуры достигнуть невозможно, она частично сохраняет внутренние связи. Эффективная вязкость уменьшается с увеличением скорости деформации, что обусловлено значительной хаотичностью расположения частиц в неподвижной среде – пряничном тесте – и все большей ориентацией частиц в направлении его течения под действием возрастающей скорости [45].

При разработке новых видов мучных кондитерских изделий с использованием подсластителей необходимо учитывать традиционное направление вкуса готового продукта, а, следовательно, одной из важнейших задач является подбор оптимальных доз их внесения. Использование стевииозидов в качестве натурального подсластителя предполагает внесение его в таком количестве, чтобы в результате были получены пряничные изделия, по степени сладости адекватные аналогичным изделиям с сахарозой [48].

Сладость стевииозидов по отношению к сахару составляет 160... 180 единиц, его дозировка при приготовлении заварных пряников составляла 0,23; 0,25 и 0,27% к массе муки. Для компенсации массы сахара в тесто авторами предложено внесение свекловичных пищевых волокон от 5 до 20% [48].

Основными критериями оценки качества теста являются его реологические характеристики, в частности, упругая и пластическая деформация, величина которых зависит от рецептурного состава, а также от параметров технологического процесса. Особенности реологических свойств теста являются фактором непосредственного формирования потребительских свойств готового изделия.

На рисунке 4.8 приведены данные по комплексному влиянию стевииозидов и свекловичных пищевых волокон на пластичность теста в зависимости от их дозировки.

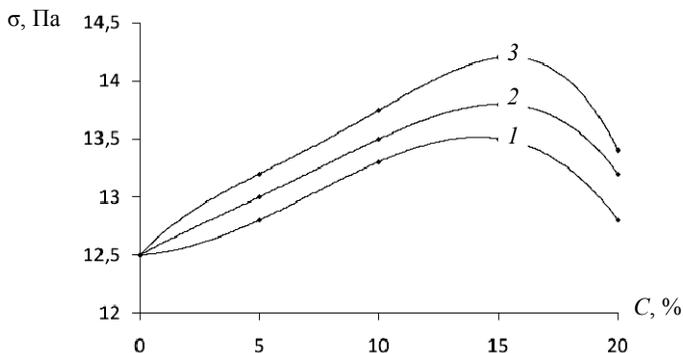


Рис. 4.8. Влияние дозировки свекловичных пищевых волокон на пластическую прочность пряничного теста при внесении стевиозида: 1 – 0,23%; 2 – 0,25%; 3 – 0,27%

Увеличение дозировки свекловичных пищевых волокон приводит к позитивному изменению реологических свойств теста, которое выражается в уменьшении величины сопротивления образцов деформирующей нагрузке, т.е. увеличению пластичности пропорционально дозе добавки. Внесение добавок в количестве 10...15% к массе муки приводило к повышению пластичности теста на 10...14% при одновременном снижении упругих свойств [48].

Результаты определения адгезии в тесте с различными концентрациями свекловичных пищевых волокон и стевиозида в пряничном тесте представлены на рис. 4.9.

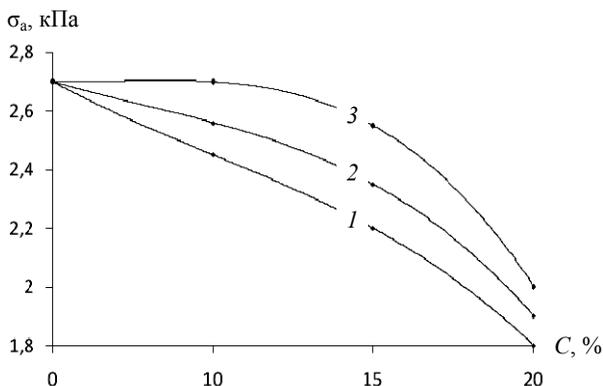


Рис. 4.9. Зависимость адгезионных свойств пряничного теста от содержания свекловичных пищевых волокон при внесении стевиозида: 1 – 0,23%; 2 – 0,25%; 3 – 0,27%

Уменьшение адгезии, вероятнее всего, связано с тем, что пищевые волокна обладают высокой водосвязывающей способностью, в результате чего они связывают свободную влагу и тесто получается менее липким. Следовательно, уменьшается взаимодействие тестовой заготовки с поверхностью, на которую они отсаживаются.

Одной из механических характеристик теста, определяющих его консистенцию, является вязкость, зависящая от природы и химического состава рецептурных компонентов. Из приведённых диаграмм (рис. 4.10) видно, что повышается степень структурообразования в опытных образцах по сравнению с контрольным, что позволяет рекомендовать их для регулирования технологического процесса. Тесто становится более пластичным и эластичным, что ведёт к уменьшению нагрузок и энергии, затрачиваемой на формирование изделий, и получению пряников более высокого качества [48].

При внесении CO₂-шротов лекарственных и пряно-ароматических растений в тесто в количестве 1% происходит снижение пластической и увеличение упругой деформации. Дальнейшее увеличение концентрации шротов приводит к увеличению пластических и уменьшению упругих свойств, что, вероятнее всего, связано с особенностями химического состава вносимых добавок. Шроты содержат большое количество белковых веществ и клетчатки, обладающих высокой адсорбирующей и влагопоглощительной способностью. Аналогичные зависимости наблюдаются как для заварного, так и для сырцового пряничного теста [10].

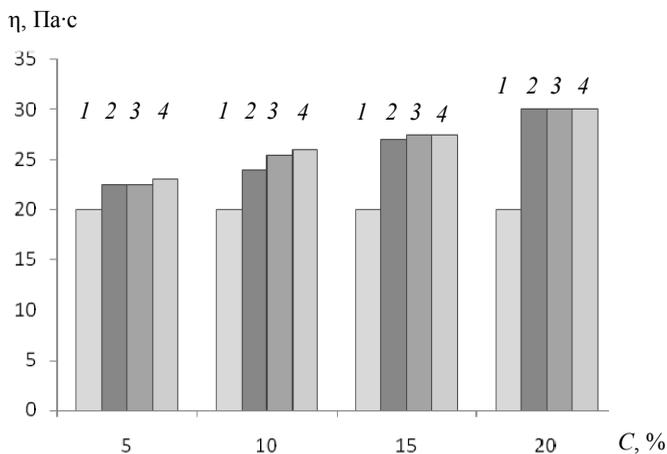


Рис. 4.10. Зависимость вязкости пряничного теста от содержания свекловичных пищевых волокон при внесении стевии:
1 – контроль; 2 – 0,23%; 3 – 0,25%; 4 – 0,27%

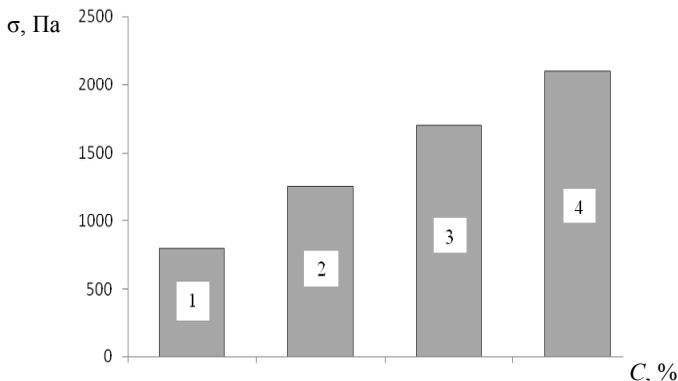


Рис. 4.11. Пластическая прочность пряничного теста с содержанием льняной муки:
 1 – контроль; 2 – 5%; 3 – 10%; 4 – 15%

Авторами проведены исследования пластической прочности заварного пряничного теста при замене части пшеничной муки на льняную (рис. 4.11).

Пластическая прочность теста с увеличением дозировки льняной муки значительно возрастает, что объясняется её высокой влагоудерживающей способностью. Повышение пластических свойств теста при снижении его упругих свойств для заварных и сырцовых пряничных изделий предотвращает его от затягивания.

Рассмотренные добавки положительно влияют на реологические свойства теста, приготавливаемого для заварных и сырцовых пряничных изделий, что позволяет рекомендовать их для регулирования технологического процесса.

Исследование и контроль структурно-механических свойств теста позволяет установить взаимосвязь количественных и качественных характеристик готовых изделий. Начиная с замеса, вплоть до формирования, выпечки, охлаждения, транспортирования, тесто, а затем и готовый продукт, подвергается внешним воздействиям, деформациям в объёме, а также на поверхности. Качество мучных кондитерских изделий зависит от многих факторов – сорта муки, количества и качества клейковины, рецептуры и влажности теста, способа тестоприготовления и др. Учесть долю каждого отдельного фактора в формировании качества изделий трудно, поэтому необходимо выбрать обобщающий критерий, по которому можно прогнозировать свойства готовых изделий и определять пути их регулирования. В качестве такого критерия могут выступать реологические показатели.

Глава 5

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ РЕОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПОЛУФАБРИКАТОВ И ГОТОВЫХ ИЗДЕЛИЙ

Современные принципы проектирования пищевых продуктов основаны на выборе и обосновании определённых видов сырья и таких соотношений компонентов, которые обеспечили бы достижение заданных технологических характеристик полуфабрикатов и прогнозируемого качества готовых изделий. Получение продуктов заданного состава требует использования при их проектировании высокотехнологичных решений – математического обеспечения и программных алгоритмов [26, 70]. В связи с этим необходимость применения математического моделирования для прогнозирования свойств разрабатываемых продуктов не вызывает сомнений ни у исследователей, ни у работников производственной сферы.

Изучая сложные технологические процессы, физико-химические явления, невозможно учесть все факторы: какие-то оказываются существенными, а какими-то можно пренебречь. При этом выдвигается система допущений (гипотез), которая тщательно обосновывается и позволяет выявить и учесть при математическом описании наиболее характерные черты исследуемого объекта. В результате формируется математическая модель исследуемого технологического объекта. В процессе компьютерного моделирования исследователь имеет дело с тремя объектами: системой (реальной, проектируемой, воображаемой), математической моделью и программой ЭВМ, реализующей алгоритм решения уравнений модели.

Практическая реализация возможностей компьютерного моделирования существенно повышает эффективность инженерных разработок особенно при создании принципиально новых, не имеющих прототипов материалов и технологий, что позволяет сократить затраты времени и средств на использование в технике и технологиях передовых достижений фундаментальных наук.

Для комплексной оценки качества кондитерских масс используются реологические показатели, поскольку они зависят от совокупности рецептурных (химический состав, дисперсность, соотношение рецептурных ингредиентов и др.) и режимных (температура, скорость деформации и др.) параметров. Знание особенностей реологического поведения сырья, полуфабрикатов и структурных свойств готового

кондитерского продукта даёт необходимые инженеру сведения для объективного приборного контроля качества продуктов и управления технологическими операциями и процессами.

Оптимальные решения задач при проектировании изделий с заданными свойствами могут быть достигнуты с помощью их формализованных математических описаний – математических моделей, отражающих в аналитическом виде множества функциональных связей между технологическими, реологическими и физико-химическими параметрами сырьевых ингредиентов, требуемыми характеристиками готовых изделий (целевая функция) и рядом ограничений, вытекающих из требований нормативной документации.

В общем виде процесс построения математической модели состоит из отдельных последовательно выполняемых этапов: выбора вида разрабатываемого продукта (объекта проектирования), определения цели исследования, выбора критерия оптимальности, выявления неизвестных и основных ограничений, математической формализации.

Для проектирования рецептур многокомпонентных пищевых систем в основном используются подходы, базирующиеся на методах экспериментально-статистического моделирования и линейного программирования.

С использованием методов математического моделирования получены уравнения, адекватно описывающие взаимосвязь между пенообразующими свойствами яичного альбумина и pH среды при различной массовой доле сухой пшеничной клейковины [117]. Для прогнозирования пенообразующей способности молочной сыворотки со смесью полисахаридов в любых их соотношениях проведены исследования влияния бинарных и тройных смесей полисахаридов на пенообразующую способность молочной сыворотки. При этом проводились опыты с трёхкратной повторностью в соответствии с симплекс-решетчатым планом третьего порядка с получением математического описания результатов исследований в виде уравнения неполной кубической модели [19]. Для определения соотношения рецептурных компонентов помадной массы, обеспечивающих требуемые реологические свойства, применено симплекс-решетчатое планирование эксперимента, определены коэффициенты полиномов второй степени, характеризующие выходные параметры. Путём совмещения симплексов для выбранных показателей установлены рациональные дозировки рецептурных компонентов [113]. Получены функциональные зависимости, описывающие процесс изменения реологических характеристик бисквитного теста в зависимости от дозировки вносимого инулинсодержащего сырья и лекарственно-технического сырья, а также замены части сахара фитосиропами, части сахара и меланжа ингредиентами ST, P95, Synergy1, L85 [57].

Использование реометрических параметров материала, измеренных на конкретном реометре, их связь с другими показателями технологического процесса (температурой, плотностью, компонентным составом дисперсной среды и др.), формализованных в виде математической модели, позволит производить контроль, управление и прогнозирование свойствами продукта.

Рассмотрим примеры разработки математического описания взаимосвязей рецептурного состава и реологических характеристик полуфабрикатов конфет в широком диапазоне изменения режимных параметров.

5.1. ПОСТАНОВКА И РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ ПОЛУЧЕНИЯ ЖЕЛЕЙНЫХ СТУДНЕЙ ЗАДАННОЙ ПРОЧНОСТИ

Для нахождения оптимального рецептурного соотношения, позволяющего получить желейные студни (корпуса конфет) с требуемыми структурно-механическими характеристиками, и установления соответствующего значения вязкости желейной массы в процессе отливки в связи со сложностью аналитического описания изучаемой системы в целом пользовались методами математического планирования эксперимента и регрессионного анализа для обработки полученных данных [75].

На основе анализа априорной информации об объекте исследования известно, что уравнение регрессии первого порядка не может дать удовлетворительного математического описания зависимости реологических характеристик желейных полуфабрикатов от концентрации рецептурных ингредиентов, поэтому использовались методы планирования, позволяющие получить математическую зависимость в виде полинома второй степени [137].

Широкое распространение при оптимизации рецептур кондитерских изделий получило центрально-композиционное планирование эксперимента, предложенное Боксом и Уильсоном, – система планирования, которая в соответствии с общей идеей шагового эксперимента может быть получена путём добавления некоторого количества специальным образом расположенных «звёздных» точек и дополнительных опытов в центре плана к «ядру», и в которой каждая переменная принимает хотя бы три разных значения. Такое планирование требует значительно меньшего числа опытов, чем полный факторный эксперимент [7].

Боксом и Хантером было предложено считать оптимальным планированием второго порядка ротатабельное планирование, позволяющее получать симметричные информационные контуры. Более позд-

ние исследования показали, что ротатбельные планы являются оптимальными и в более широком смысле [75]. Поэтому для оценки одно-временного воздействия трёх факторов, влияющих на реологические характеристики желейных полуфабрикатов: x_1 – дозировка пектина, г; x_2 – дозировка лимонной кислоты, г; x_3 – дозировка концентрированного водного экстракта листьев крапивы, г, был использован ротатбельный центрально-композиционный план эксперимента, учитывающий варьирование трёх факторов на трёх уровнях и содержащий восемь точек «ядра» плана, шесть точек в центре плана и шесть «звёздных» точек (табл. 5.1), позволяющий построить модель в виде полинома второй степени (5.1).

5.1. Матрица планирования эксперимента

№ опыта	Кодированное значение фактора			Натуральное значение фактора			Функция отклика	
	X_1	X_2	X_3	x_1 , г	x_2 , г	x_3 , г	y_1	y_2
1	+1	+1	+1	6,00	6,00	12,00	7,756	59,49
2	+1	+1	+1	6,00	6,00	7,00	11,09	74,35
3	+1	+1	+1	6,00	4,00	12,00	5,365	38,01
4	+1	+1	+1	6,00	4,00	7,00	8,894	52,64
5	+1	+1	+1	3,00	6,00	12,00	0,334	4,92
6	+1	+1	+1	3,00	6,00	7,00	1,298	8,82
7	+1	+1	+1	3,00	4,00	12,00	0,557	12,42
8	+1	+1	+1	3,00	4,00	7,00	1,426	14,86
9	0	0	0	4,50	5,00	9,50	4,121	49,13
10	0	0	0	4,50	5,00	9,50	4,321	47,88
11	0	0	0	4,50	5,00	9,50	5,031	47,52
12	0	0	0	4,50	5,00	9,50	4,954	49,12
13	0	0	0	4,50	5,00	9,50	4,777	48,99
14	0	0	0	4,50	5,00	9,50	4,111	47,53
15	+1,682	0	0	1,98	5,00	9,50	0,221	6,87
16	+1,682	0	0	7,02	5,00	9,50	14,350	82,71
17	0	+1,682	0	4,50	3,32	9,50	1,990	25,24
18	0	+1,682	0	4,50	6,68	9,50	3,511	35,11
19	0	0	+1,682	4,50	5,00	5,30	5,865	31,70
20	0	0	+1,682	4,50	5,00	13,70	2,863	22,14

$$y = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + b_3X_3 + b_{12}X_1X_2 + b_{23}X_2X_3 + b_{13}X_1X_3 + b_{11}X_1^2 + b_{22}X_2^2 + b_{33}X_3^2, \quad (5.1)$$

где $b_n, b_{(n-1)n}, b_{nn}$ – коэффициенты.

Выбор основных уровней и интервалов варьирования факторов обусловлен следующими соображениями: для пектина – минимальной концентрацией студнеобразователя, необходимой для образования студня, рекомендациями производителей пектинов, предварительными экспериментами на желейных массах без добавок; для лимонной кислоты – интервалом pH желейной массы, в котором пектин способен образовывать студень (pH = 3,0...4,0), органолептическими характеристиками; для экстракта крапивы – содержанием БАВ в желейной массе и органолептическими характеристиками готовых изделий.

В качестве критериев оценки влияния указанных факторов на реологические свойства желейных полуфабрикатов приняли вязкость массы y_1 (Па·с) в процессе формования и пластическую прочность студня y_2 (кПа) после выстойки корпусов конфет в крахмальных формах в течение 60 мин при температуре – 25 °С и относительной влажности воздуха 40%. Исследования проводили по схеме, представленной на рис. 5.1.

Статистическая обработка экспериментальных данных проводилась стандартными методами [7, 15, 75] с помощью программного продукта MS Office Excel 2003 и заключалась в вычислении ошибок эксперимента, оценке значимости коэффициентов уравнений регрессии и проверке адекватности полученных уравнений.

В результате получены нелинейные уравнения регрессии, адекватно описывающие зависимости эффективной вязкости массы y_1

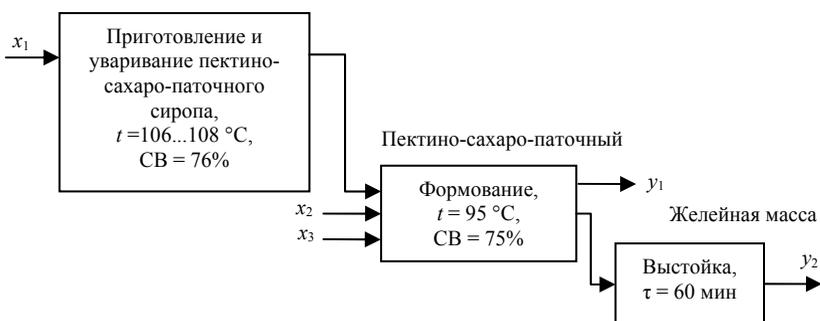


Рис. 5.1. Схема проведения экспериментов

и пластической прочности студней y_2 от концентраций пектина, лимонной кислоты и концентрированного водного экстракта листьев крапивы:

$$y_1 = -14 - 1,55x_1 + 5,44x_2 + 0,68x_3 + 0,41x_1x_2 - 0,17x_1x_3 + 0,4x_1^2 - 0,68x_2^2 - 0,02x_3^2; \quad (5.2)$$

$$y_2 = -233,19 + 3,79x_1 + 46,92x_2 + 25,32x_3 + 4,73x_1x_2 - 0,77x_1x_3 - 0,084x_2x_3 - 0,55x_1^2 - 6,4x_2^2 - 1,208x_3^2. \quad (5.3)$$

Максимальное рассогласование экспериментальных и расчётных по модели (5.2) данных составило 2,9%, по модели (5.3) – 6,7%.

Анализ уравнений (5.2), (5.3) показывает, что сила влияния рассмотренных факторов на вязкость желейной массы уменьшается в ряду $x_2 > x_1 > x_3$, а на пластическую прочность студней – $x_2 > x_3 > x_1$.

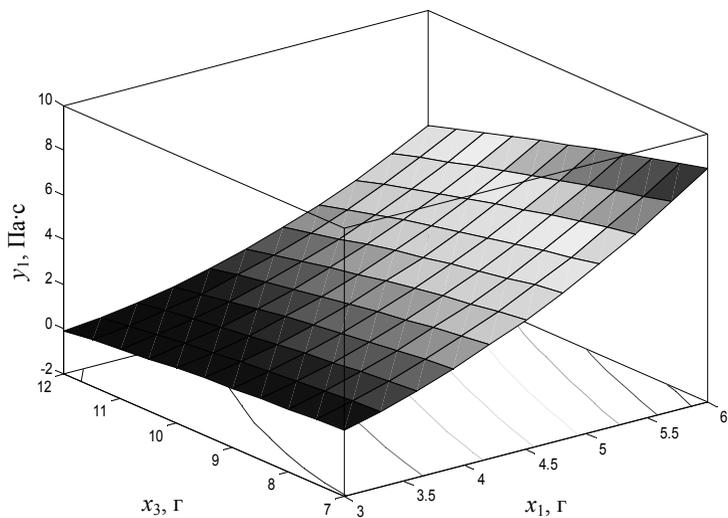
Таким образом, наибольшее влияние на реологические характеристики желейных полуфабрикатов оказывает концентрация лимонной кислоты. Влияние концентрации пектина и экстракта менее выражено, что говорит о важности контроля pH желейной массы на всех этапах технологического цикла и поддержания его на оптимальном уровне.

Графическое изображение уравнений (5.2) и (5.3) в виде поверхностей отклика и линий равного уровня при фиксированном количестве лимонной кислоты $x_2 = 4$ г представлены на рис. 5.2.

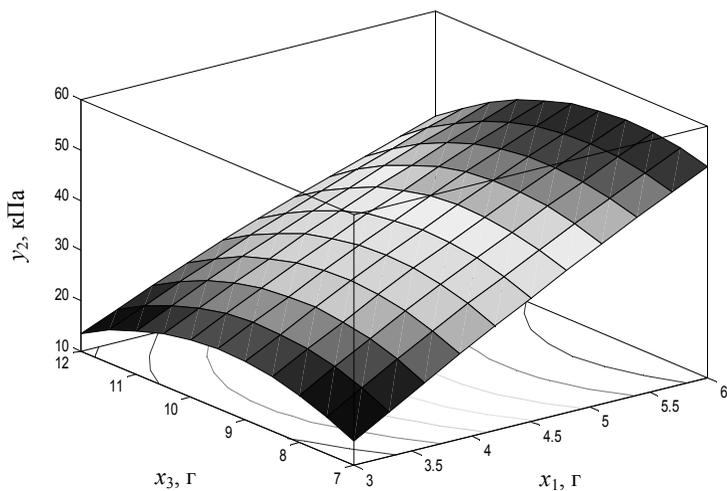
Как отмечалось в гл. 3, при внесении 0,5% концентрированного экстракта происходит увеличение вязкости желейной массы на 65...96% за счёт сшивания пектиновых молекул ионами кальция. Однако при внесении 3...5% – вязкость желейной массы (y_1) незначительно снижается с ростом концентрации экстракта (рис. 5.2, а). Это связано с присутствием в составе экстракта, помимо солей кальция, солей органических кислот моновалентных металлов, которые совместно с используемым по рецептуре цитратом натрия снижают вязкость системы, затрудняя пространственное сближение пектиновых цепочек, за счёт присоединения катионов (K^+ , Na^+) к диссоциированным карбоксильным группам пектиновых молекул.

Прочность студня (y_2) при увеличении концентрации экстракта возрастает, достигая максимума в интервале $x_3 = 8...10$ г (3,3...4,2% от общей желейной массы), а затем снижается.

Известно, что с увеличением содержания ионов кальция в желейной массе прочность студня возрастает, проходит через максимум и затем уменьшается. При этом для студней с соотношением пектин:сахар – 2:65 максимум соответствует 0,8% кальция; 2:45 – 1,04%; 2:30 – 1,26% [42].



a)



б)

Рис. 5.2. Поверхности отклика целевых функций:
 y_1 – вязкость железной массы, Па·с (a); y_2 – пластическая прочность студня, кПа (б) от исследуемых факторов: x_1 – дозировка пектина, г;
 x_3 – дозировка концентрированного экстракта крапивы, г

Учитывая, что в исследуемых студнях соотношение пектин:сахар составляло 2:50...2:100, максимум прочности должен приходиться на концентрацию ионов кальция 0,3...1%. Зная содержание кальция в экстракте, была рассчитана его концентрация в исследуемых студнях, которая составила 0,08...0,10%, что ниже установленного уровня. Соответственно можно сделать вывод, что с молекулами пектина взаимодействуют не только соли кальция, но и других поливалентных металлов (Mg, Fe), присутствующих в экстракте.

Задача определения реологических свойств корпусов жележных конфет формулировалась следующим образом: требуется найти значения независимых переменных x_1 , x_2 и x_3 , при которых пластическая прочность жележного студня достигает значения 40 кПа.

Решение поставленной задачи проводилось средствами программного комплекса MatLab 7.1. Для этого была составлена программа, реализующая алгоритм перебора всех возможных сочетаний факторов и подстановки их в полученное регрессионное уравнение. Далее проводилось сравнение расчётных значений критериев оптимизации (y_2) с заданной величиной 40 кПа и фиксировались такие сочетания факторов ($x_1 : x_2 : x_3$), при которых эта разница была ниже требуемой точности. Листинг программы представлен в прил. 2.

В результате было получено два рецептурных соотношения пектина, лимонной кислоты, экстракта листьев крапивы $x_1 : x_2 : x_3$, в граммах (% от общей жележной массы): 4,23(1,76) : 5,85(2,44) : 7,68(3,2) и 4,75(1,98) : 4,13(1,72) : 10,63(4,43), позволяющие получить студни пластической прочностью 40 кПа.

После этого с помощью регрессионного уравнения (5.2) были рассчитаны значения вязкости жележных масс в процессе отливки корпусов конфет при данных соотношениях рецептурных ингредиентов. В первом случае вязкость составила – 5,53 Па·с, во втором – 5,40 Па·с.

Анализ полученных соотношений показал, что во втором случае при незначительном увеличении (на 0,22%) количества пектина в рецептурной смеси сокращается дозировка используемой лимонной кислоты (на 0,72%) и повышается содержание экстракта крапивы на 1,23%, что приводит к увеличению пищевой ценности готовых конфет и снижению вязкости жележной массы на 0,13 Па·с. Таким образом, на основе анализа полученных данных в качестве оптимального рецептурного соотношения пектина, лимонной кислоты и экстракта крапивы: $x_1 : x_2 : x_3$, г (%), позволяющего получить жележный студень заданной прочностью 40 кПа, выбрано: 4,75(1,98) : 4,13(1,72) : 10,63(4,43), которое в дальнейшем использовалось при расчёте рецептур жележных конфет функционального назначения.

5.2. ПОСТАНОВКА И РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЗАДАННОЙ АДГЕЗИОННОЙ ПРОЧНОСТИ МЕЖДУ СЛОЯМИ КОМБИНИРУЕМОГО КОРПУСА

Для обеспечения прочности адгезионного соединения при формировании конфет с комбинированными желейно-сбивными корпусами было изучено влияние изменения температуры формирования желейной массы от 75 до 110 °С и концентраций овощных порошков в каждую из конфетных масс, образующих слои комбинированного корпуса (табл. 5.2).

5.2. Результаты экспериментальных исследований

№	Кодированное значение			Натуральное значение			Функция отклика
	X_1	X_2	X_3	$x_1, \text{Г}$	$x_2, \text{Г}$	$x_3, \text{°C}$	y_1
1	+	+	+	100,0	5,0	110,0	470,0
2	+	+	+	100,0	5,0	70,0	320,0
3	+	+	+	100,	0	110,0	510,0
4	+	+	+	100,0	0	70,0	340,0
5	+	+	+	50,0	5,0	110,0	350,0
6	+	+	+	50,0	5,0	70,0	280,0
7	+	+	+	50,0	0	110,0	370,0
8	+	+	+	50,0	0	70,0	290,0
9	0	0	0	75,0	2,5	95,0	360,0
10	0	0	0	75,0	2,5	95,0	400,0
11	0	0	0	75,0	2,5	95,0	375,0
12	0	0	0	75,0	2,5	95,0	390,0
13	0	0	0	75,0	2,5	95,0	450,0
14	0	0	0	75,0	2,5	95,0	420,0
15	+1,682	0	0	25,0	2,5	95,0	380,0
16	+1,682	0	0	125,0	2,5	95,0	420,0
17	0	+1,682	0	75,0	1,25	95,0	410,0
18	0	1,682	0	75,0	6,25	95,0	420,0
19	0	0	+1,682	75,0	2,5	155,0	390,0
20	0	0	+1,682	75,0	2,5	35,0	120,0

Выбор основных уровней и интервалов варьирования факторов обусловлен следующими соображениями: для овощных порошков – обеспечением стабильных структурно-механических характеристик и содержанием биологически активных веществ, органолептическими характеристиками; для температуры желейной массы в момент отливки – установление значения вязкости, обеспечивающей полный бездефектный контакт со сбивной массой.

В качестве критериев оценки влияния указанных факторов на реологические свойства полуфабрикатов приняты адгезионную прочность контакта слоёв комбинированного корпуса y_1 (г). Исследования проводили по схеме, представленной на рис. 5.3.

Для обработки экспериментальных данных использовали нейронно-сетевой подход, хорошо зарекомендовавший себя при моделировании технологических процессов в пищевой промышленности [26, 71].

Для обучения сети был сформирован массив входных векторов x (x_1 – количество морковного порошка в сбивном слое, x_2 – количество тыквенного порошка в желейном слое, x_3 – температура отливки желейной массы) для различных значений параметра y (y_1 – прочность адгезионных контактов). Каждое значение параметра y является вектором-эталонном для обучения искусственной нейронной сети.

Создание и обучение нейронной сети запускается программой, созданной в среде MatLab.

Для решения поставленной задачи сформирована шестислойная полносвязанная нейронная сеть, включающая два нейрона во входном слое, по четыре нейрона в слоях 2 – 4, два нейрона в пятом слое и один нейрон в выходном с передаточной функцией purelin (прил. 3).

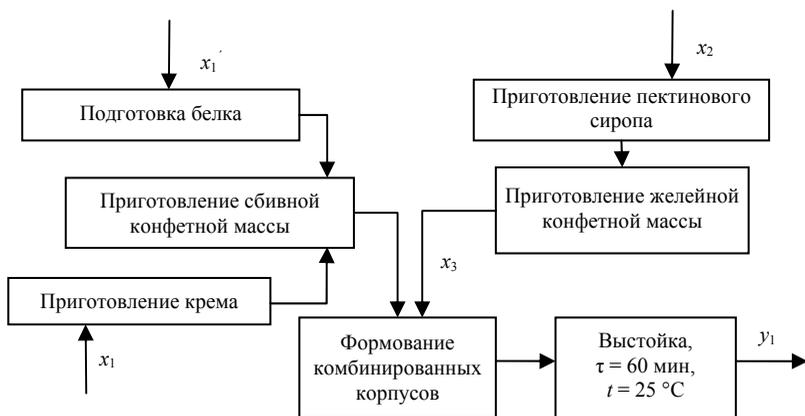


Рис. 5.3. Схема проведения экспериментов

Обучение нейронной сети заключается в определении весов и смещений всех синапсов во всех слоях нейронной сети. Параметры обучения сети: количество циклов обучения (100) и целевая ошибка обучения (0,01).

Для оценки достоверности результатов работы сети пользовались результатами регрессионного анализа, полученными при сравнении эталонных (экспериментальных) значений со значениями, полученными на выходе сети, когда на вход поданы входные векторы тестового массива (рис. 5.4).

Из сравнения компонентов эталонных векторов с соответствующими компонентами выходных векторов сети видно, что экспериментальные данные с расчётными совпадают на 95%, что говорит о правильной работе сети на тестовом массиве.

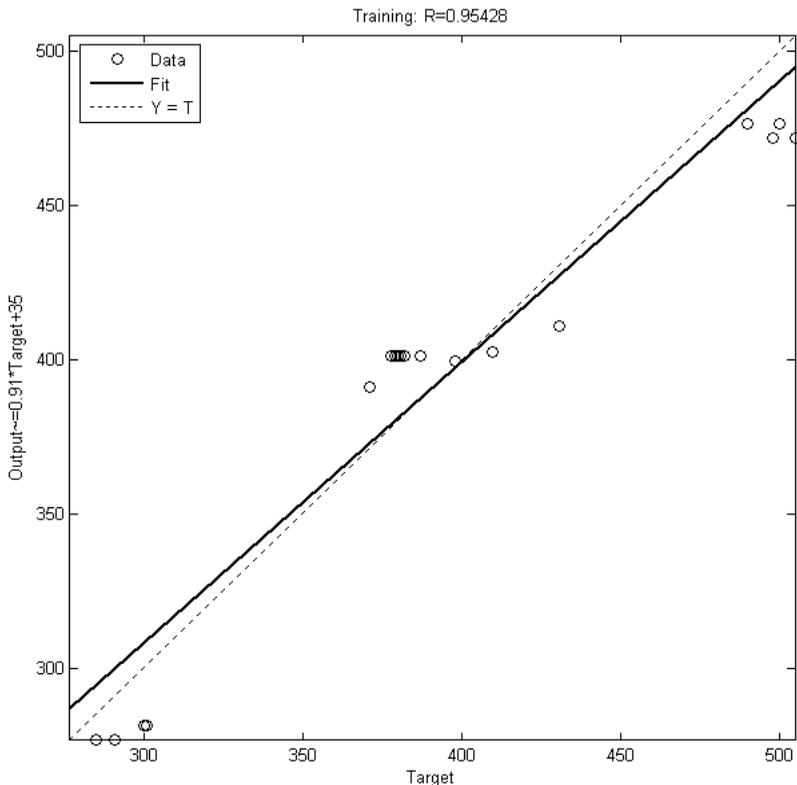


Рис. 5.4. Сравнение эталонных значений с результатами обучения сети

В результате получены нелинейные уравнения регрессии (5.4), (5.5), адекватно описывающие зависимости прочности адгезионных контактов y_1 от количества морковного порошка в сбивном слое (x_1), количества тыквенного порошка в желейном слое (x_2) и температуры отливки желейной массы (x_3):

$$y_1 = 113,19 + 3,79x_1 - 0,198x_2 + 0,02x_1x_2 - 0,04x_1^2 + 0,08x_2^2; \quad (5.4)$$

$$y_1 = -1187 + 6,182x_1 + 25,5x_3 - 0,035x_1x_3 - 0,021x_1^2 - 0,102x_3^2. \quad (5.5)$$

Анализ уравнений (5.4), (5.5) показывает, что сила влияния рассмотренных факторов на прочность адгезионного взаимодействия между слоями комбинированного корпуса уменьшается в ряду $x_3 > x_1 > x_2$.

Таким образом, наибольшее влияние на прочность адгезионного взаимодействия между слоями комбинированного корпуса оказывает температура отливки желейной массы. Концентрация овощного порошка в конфетные массы значительное влияние оказывает на структурно-механические и физико-химические показатели студней.

В результате получена обученная сеть, которая позволяет получить значения выходной переменной при некоторых значениях входных переменных, изменяющихся в том же диапазоне, что и при экспериментальных исследованиях. Графические изображения уравнений (5.4) и (5.5) в виде поверхностей отклика представлены на рис. 5.5, 5.6.

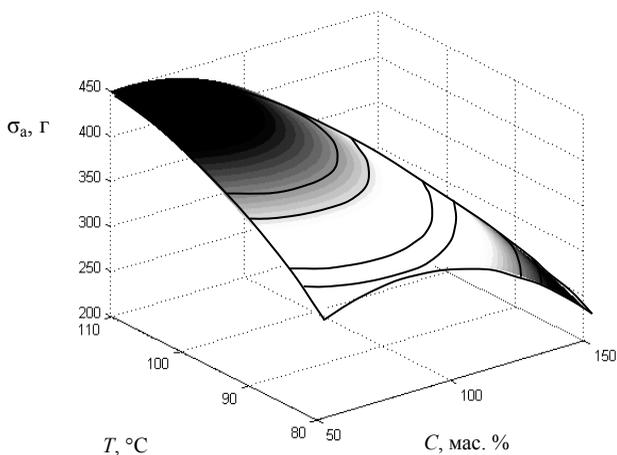


Рис. 5.5. Зависимость адгезионной прочности соединения от количества овощного порошка в сбивном слое и температуры формования желейной массы

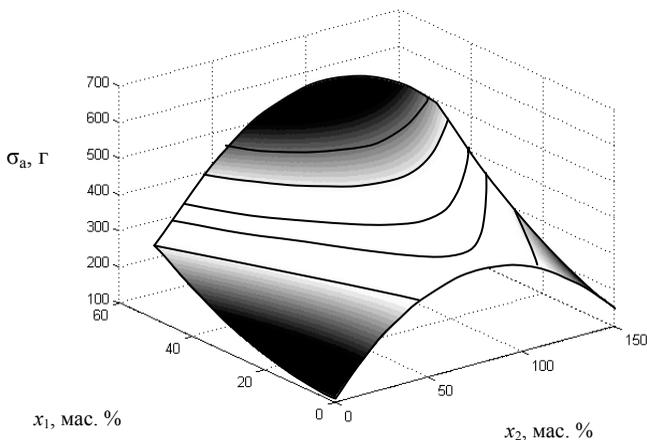


Рис. 5.6. Зависимость адгезионной прочности соединения от количества овощного порошка в сбивном (x_1) и железном (x_2) слоях и температуры формования железной массы 100...105 °С

Добавление 9...10% морковного порошка в сбивной слой обеспечивает пластическую прочность сбивной массы с достаточной формоудерживающей способностью, равной 18 кПа, что позволяет осуществить отливку железного слоя через 60 мин после формования сбивного.

Таким образом, для получения качественных изделий без расслоения структуры в качестве первого слоя целесообразно использовать сбивную массу с содержанием 7...10% морковного порошка формованием размазкой с температурой не ниже 45...50 °С или отливкой с температурой не ниже 50...60 °С. В качестве второго слоя используется железная масса с содержанием 0,5...3,0% тыквенного порошка, температурой не менее 100...105 °С, позволяющей обеспечить вязкость полуфабриката для достижения полного смачивания поверхности контакта.

5.3. ПОСТАНОВКА И РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ РЕОЛОГИЧЕСКОГО ПОВЕДЕНИЯ ПОМАДНЫХ МАСС

Целью разработки математического описания процесса получения помадных масс является его исследование в широком диапазоне изменения режимных и возмущающих воздействий для последующего создания эффективной системы управления, обеспечивающей стабильную консистенцию помадных конфет. Сложность математического описания обусловлена одновременным протеканием массообменных

(растворение и кристаллизация сахарозы), тепловых (уваривание и охлаждение сиропа, темперирование массы), механических (сбивание помады) процессов и химических превращений (гидролиз декстринов и дисахаров).

Как уже отмечалось выше, основное влияние на консистенцию и качество помады оказывают соотношение между твёрдой и жидкой фазами и химический состав жидкой фазы, от которого зависят растворимость сахарозы в жидкой фазе и её вязкость. Поэтому лимитирующими факторами в процессе изготовления являются конечная температура охлаждаемого сиропа, интенсивность и продолжительность сбивания, температурный режим и продолжительность темперирования.

В [33] представлена математическая модель процессов растворения, выпаривания и кристаллизации на примере производства сахарных помадных масс, однако эта модель имеет ряд недостатков: не учитывает рецептурный состав и физико-химические свойства вводимых компонентов и реологические характеристики конфетной массы. Уточнение модели позволит расширить область её применения.

Внесение добавок в помадную массу на стадии темперирования для предотвращения потери влаги при хранении влияет как на соотношение между твёрдой и жидкой фазами, так и на состав жидкой фазы. Влагоудерживающая способность добавки зависит от физико-химических свойств и степени дисперсности, влияющих на количество адсорбированной влаги, степень набухания и вязкость дисперсной системы. Результатом внесения добавок является дополнительное пересыщение жидкой фазы, связанное с этим дополнительная кристаллизация сахарозы и образование более мелких кристаллов.

Анализ температурных режимов приготовления помадной массы указывает на целесообразность введения растительной добавки на стадии темперирования до введения вкусовых и ароматических веществ, что позволит: лучше сохранить её биологически активные вещества (сравнительно невысокая температура и низкая влажность помадной массы); обеспечить максимальное распределение растительной добавки и однородность ингредиентов в объёме системы до начала процесса структурообразования.

Упрощённая схема процесса темперирования, осуществляемого в периодическом режиме, представлена на рис. 5.7, где $G^д$, $G_{ж}^п$, $G_{тв}^п$, $G_{ж}^{км}$, $G_{тв}^{км}$, $G_T^в$, $G_T^п$ – расходы добавок, жидкой фазы помады, твёрдой фазы помады, жидкой фазы конфетной массы, твёрдой фазы конфетной массы, воды и пара в рубашке temperирующей машины соответ-

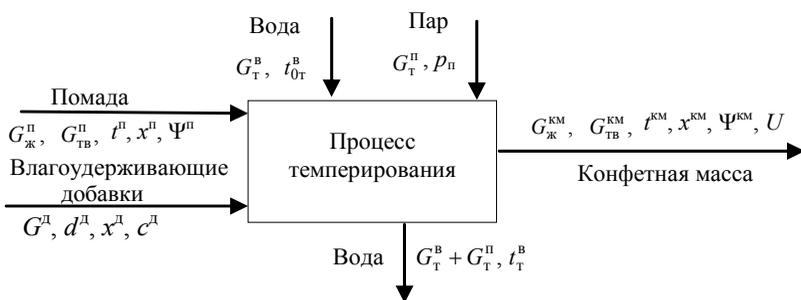


Рис. 5.7. Структурная схема процесса темперирования помадной массы

ственно, кг/с; $t^п, t^{км}, t_{0T}^B, t_T^B$ – температура помады, конфетной массы, воды и воды в рубашке, °С; $x^п, x^{км}$ – концентрация сахарозы в помаде и конфетной массе на выходе из помадосбивальной машины соответственно, кмоль/кг; $\Psi^п, \Psi^{км}$ – плотность распределения кристаллов сахарозы по размеру в помаде и конфетной массе соответственно; $x^д$ – концентрация влагоудерживающих добавок, г/кг; $d^д$ – размер влагоудерживающих добавок, мм; $c^д$ – теплоёмкость влагоудерживающих добавок, Дж/(кг·К); $p_п$ – давление пара в рубашке, МПа.

При составлении математического описания приняты следующие допущения: объём темперiruющей машины рассматривается как объект с сосредоточенными параметрами (зона идеального перемешивания); массообменный процесс в темперiruющей машине лимитируется диффузией; поверхность всех частиц равнодоступна для растворения (кристаллизации).

Уравнение материального баланса по жидкой фазе конфетной массы

$$dG_{ж}^{км} / dt = G_{ж}^п + \rho_{сах} V_c \int_0^{v_{max}} v \psi^{км}(v) \xi(v) dv, \quad (5.6)$$

$$G_{ж}^{км}(0) = G_{ж0}^{км}, \quad (5.7)$$

где $G_{ж}^{км}, G_{ж0}^{км}$ – текущая и начальная массы жидкой фазы при темперировании, кг.

Уравнение материального баланса по твёрдой фазе

$$dG_{тв}^{км} / dt = G_{тв}^п + G^д + \rho_{сах} V_c \int_0^{v_{max}} v \psi^{км}(v) \xi(v) dv, \quad (5.8)$$

$$G_{\text{ТВ}}^{\text{KM}}(0) = G_{\text{ТВ}0}^{\text{KM}}, \quad (5.9)$$

где $\rho_{\text{сах}}$ – плотность сахара, кг/м³; V_c – объём перемешиваемой среды, м³; ν – объём кристаллов, присутствующих в смеси, м³; ν_{max} – максимальный объём кристаллов, присутствующих в смеси, м³; ξ – объёмная скорость кристаллизации, м³/с; τ – продолжительность ведения процесса, с.

Кинетика процесса рекристаллизации определяется закономерностями растворения и роста кристаллов. Разобьём область изменения линейного размера кристаллов на N интервалов и обозначим через ψ_j число частиц сахарозы в единице объёма массы с размером r таким, что $r_{i-1} < r < r_i$ ($i = 1 \dots N$).

Уравнение материального баланса для кристаллов сахарозы с размерами $r > r_1$ записывается из допущения, что увеличение их числа происходит за счёт прихода частиц из фракции с меньшим размером.

Уравнение материального баланса для гранулометрического состава растущих кристаллов из крупных фракций с размером, превышающим r_1 :

$$\frac{d\psi_j}{d\tau} = \frac{\psi_j G_{\text{см}}}{V} + \frac{\psi_{j-1}}{\Delta r_{j-1}} \xi(C_{\text{сах}}, C_{\text{доб}}, r_{j-1}) - \frac{\psi_j}{\Delta r_j} \xi(C_{\text{сах}}, C_{\text{доб}}, r_j); \quad j = 1 \dots N; \quad (5.10)$$

$$\psi_j(0) = \psi_j, \quad (5.11)$$

где $G_{\text{см}}$ – масса смеси, кг; V – технологический объём аппарата, м³; $C_{\text{сах}}$ – концентрация сахара, кг/м³; $C_{\text{доб}}$ – концентрация добавок, кг/м³.

Уравнение энергетического баланса имеет вид

$$dU/d\tau = (G_{\text{ж}}^{\text{п}} c_{\text{ж}}^{\text{п}} + G_{\text{ТВ}}^{\text{п}} c_{\text{ТВ}}^{\text{п}} + G^{\text{л}} c^{\text{л}}) t^{\text{п}} + \Delta H \rho_{\text{сах}} V \int_0^{\nu_{\text{max}}} \nu \psi^{\text{KM}}(\nu) \xi(\nu) d\nu - k^{\text{KM}} F^{\text{KM}} (t_1 - t_2) - q_{\text{пот}}; \quad (5.12)$$

$$U(0) = (G_{\text{ж}}^{\text{п}} c_{\text{ж}}^{\text{п}} + G_{\text{ТВ}}^{\text{п}} c_{\text{ТВ}}^{\text{п}} + G^{\text{л}} c^{\text{л}}) t_{\text{см}}, \quad (5.13)$$

где U – внутренняя энергия смеси, Дж; $c_{\text{ж}}^{\text{п}}$, $c_{\text{ТВ}}^{\text{п}}$ – удельные теплоёмкости жидкой фазы помады и твёрдой фазы помады на выходе из помадосбивальной машины соответственно, Дж/(кг·К); ΔH – удельная теплота растворения (кристаллизации) сахарозы, Дж/кг; k^{KM} – коэффициент теплопередачи, Вт/(м²·К); F^{KM} – активная поверхность теплопередачи, м²; t_1 , t_2 – температура помады до и после темперирования соответственно, °С; $q_{\text{пот}}$ – потери теплоты, Дж/кг; $t_{\text{см}}$ – температура смеси, °С.

Уравнение теплового баланса воды и пара в рубашке temperирующей машины:

$$c_B^T G_B^T \frac{dt_B^T}{d\tau} = G_B^T c_B^T (t_{п0}^B - t_B^T) + G_{п}^T (t_{п0} - c_B^T t_B^T) + k^T F^T (t^T - t_B^T), \quad t_B^T(0) = t_{B0}^T, \quad (5.14)$$

где c_B^T – удельная теплоёмкость воды в рубашке, Дж/(кг·К); k^T – коэффициент теплопередачи, Вт/(м²·К); $t_{п0}$ – температура пара, °С.

Математическая модель процесса temperирования помадной массы (5.6) – (5.14) представляет собой систему обыкновенных нелинейных дифференциальных уравнений, для решения которых используется метод Рунге–Кутты 4-го порядка. Представленная модель может быть использована для управления режимами процессов temperирования и формования помадных масс, что позволит обеспечить стабильность консистенции конфет и работы конфетоотливочного оборудования.

Для прогнозирования влияния концентрации и дисперсности фитодобавок на вязкость помадных масс обработка результатов проводилась по следующему алгоритму:

Экспериментальные данные группируются в таблицу вида (табл. 5.3).

5.3. Матрица экспериментальных данных

№ эксперимента	$Z_j^{(i)} = Z^{(i)}(x_j^{(i)}), j = 1 \dots m_i$				$y_i, i = 1 \dots N$
1	$x_1^{(1)}$	$x_2^{(1)}$	...	$x_{m_i}^{(1)}$	y_1
	$z_1^{(1)}$	$z_2^{(1)}$	...	$z_{m_i}^{(1)}$	
2	$x_1^{(2)}$	$x_2^{(2)}$	...	$x_{m_i}^{(2)}$	y_2
	$z_1^{(2)}$	$z_2^{(2)}$	...	$z_{m_i}^{(2)}$	
...	
N	$x_1^{(N)}$	$x_2^{(N)}$	...	$x_{m_i}^{(N)}$	y_N
	$z_1^{(N)}$	$z_2^{(N)}$	...	$z_{m_i}^{(N)}$	

Каждый i -й эксперимент обрабатывается в два этапа:

1) на первом этапе таблица $\{x_j^{(i)}; z_j^{(i)}\}$, $j=1\dots m_i$ интерполируется кубическим сплайном дефекта 1 («1» = «3» – «2», где «1» – дефект сплайна, «3» – порядок сплайна (степень интерполяционных полиномов), «2» – порядок производной, непрерывной во всех узлах интерполяции), после чего исходная таблица преобразуется в расширенную экспериментальную таблицу $\{\bar{x}_k^{(i)}; \bar{z}_k^{(i)}\}$, $k=1\dots k_r m_i$, где $k_r > 2$ – коэффициент расширения, $\bar{z}_k^{(i)} = S_3(\{x_j^{(i)}, z_j^{(i)}\}, j=1\dots m_i; \{b_j, c_j, d_j\}, j=1\dots m_i; x_k^{(i)})$, $k=1\dots k_r m_i$ – значения сплайна; b_j, c_j, d_j – коэффициенты сплайна. Для случая $k_r = 3$ на рис. 5.8, показано сплайн-расширение экспериментальных данных с учётом, что $K_i = k_r m_i$.

Для i -го эксперимента решается задача аппроксимации

$$F_1(\vec{a}^{(i)}) = \sum_{k=1}^{k_r m_i} [z_k^{(i)} - f_1(\vec{a}^{(i)}; \bar{x}_k^{(i)})]^2 \xrightarrow{\vec{a}^{(i)}} \min, \quad i=1\dots N, \quad (5.15)$$

где $\vec{a}^{(i)}$ – вектор искомых параметров; $f_1(\vec{a}^{(i)}, x)$ – аппроксимирующая зависимость, подбираемая эвристически в диалоговом режиме (вид её для всех экспериментов одинаков);

2) на втором этапе решается задача аппроксимации коэффициентов, входящих в вектор $\vec{a}^{(i)}$ размерности m как функций y_i , $i=1\dots N$:

$$F_2(\vec{s}^{(j)}) = \sum_{i=1}^N [a_j^{(i)} - f_2(\vec{s}^{(j)}; y_i)]^2 \xrightarrow{\vec{s}^{(j)}} \min, \quad j=1\dots m, \quad \dim \vec{s}^{(j)} = l \times 1.$$

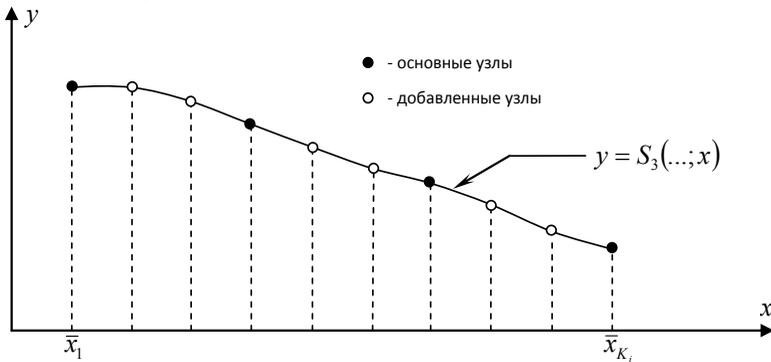


Рис. 5.8. Сплайн-расширение экспериментальных данных

Искомая зависимость $z = f(x, y)$, после проведения двух этапов аппроксимации, следующая:

$$z = f_1(f_2(\mathbf{S}; y); x), \quad (5.16)$$

где \mathbf{S} – матрица размером $m \times l$, по столбцам которой расположены векторы $\vec{s}^{(j)}$.

Моделирование влияния скорости деформации и дисперсности фитодобавок представлено на примере использования крапивного порошка в количестве 0,5% различной дисперсности. Для математического описания полученных в ходе экспериментов зависимостей было проведено их аппроксимирование с помощью компьютерной программы, в результате которого было получено уравнение, описывающее влияние скорости деформации и дисперсности крапивного порошка на вязкость помадных масс. Графики, полученные в результате аппроксимации экспериментальных зависимостей, представлены на рис. 5.9.

$$\eta(\gamma') = d \exp(-0,001a\gamma'^2) (1 + 0,000001b(\gamma' - c)^3), \quad (5.17)$$

где η – вязкость, Па·с; γ' – скорость деформации, с^{-1} ; a, b, c, d – коэффициенты уравнения (табл. 5.4).

Аппроксимируем коэффициенты $a, b, c, d = f(D)$:

$$a(D) = 2,18671D^2 - 1,1103D + 0,878593;$$

$$b(D) = 205,98D^2 - 114,133D + 57,6216;$$

$$c(D) = 35,6765D^2 - 17,2412D + 12,5817;$$

$$d(D) = d = 589,895D^2 - 307,113D + 53,5786.$$

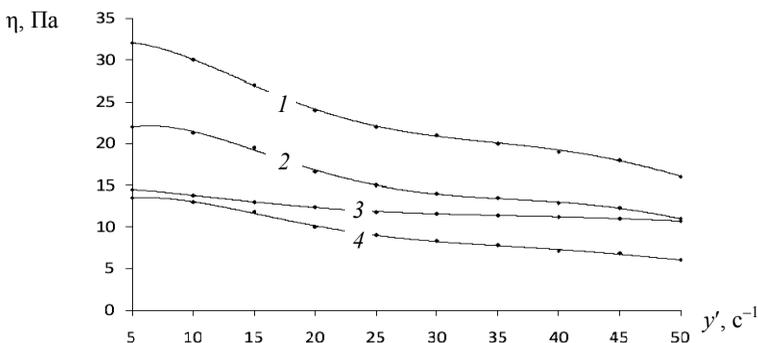


Рис. 5.9. График функции, аппроксимирующей зависимость вязкости от скорости деформации, для помадной массы с добавлением крапивного порошка дисперсностью:

I – 0,08...0,14 мм; *II* – 0,14...0,20 мм; *III* – 0,20...0,25 мм; *IV* – 0,25...0,50 мм

5.4. Коэффициенты уравнения

Дисперсность крапивного порошка, мм		0,08...0,14	0,14...0,20	0,20...0,25	0,25...0,50
Коэффициенты уравнения	<i>a</i>	0,792286	0,866137	0,534297	0,864429
	<i>b</i>	45,3895	61,7101	21,7528	51,8416
	<i>c</i>	11,0571	13,0629	6,54266	12,7887
	<i>d</i>	32,432	23,2354	14,552	14,1307

В итоге получаем следующую зависимость (5.18) от двух переменных, описывающую влияние дисперсности крапивного порошка и скорости деформации на вязкость помадных масс (рис. 5.10):

$$f(\gamma', D) = d(D)e^{-0,001a(D)\gamma'^2} \left[1 + 10^{-6} b(D)(\gamma' - c(D))^3 \right], \quad (5.18)$$

где η – вязкость, Па·с; D – дисперсность, мм; γ' – скорость деформации, c^{-1} ; a, b, c, d – коэффициенты уравнения.

По тому же алгоритму были построены модели, описывающие влияние скорости деформации, концентрации и дисперсности вносимых фитодобавок на напряжение сдвига помадных масс (рис. 5.11).

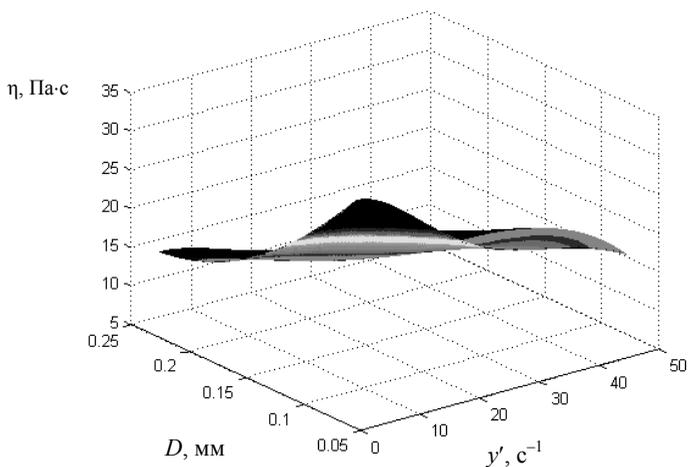


Рис. 5.10. Зависимость вязкости помадной массы от скорости деформации и дисперсности крапивного порошка

5.5. Коэффициенты уравнения

Дисперсность крапивного порошка, мм		0,08...0,14	0,14...0,20	0,20...0,25	0,25...0,50
Коэффициенты уравнения	<i>a</i>	-0,0071674	-0,00538637	-0,00359063	-0,000413009
	<i>b</i>	0,56983	0,400001	0,330034	-0,0318808
	<i>c</i>	0,279992	0,800001	0,990007	7,32306
	<i>d</i>	290	180	110	66,1881

Функция, аппроксимирующая зависимости напряжения сдвига от дисперсности крапивного порошка:

$$\tau(\gamma') = a\gamma'^3 + b\gamma'^2 + c\gamma' + d; \quad (5.19)$$

где τ – напряжение сдвига, Па; γ' – скорость деформации, c^{-1} ; a, b, c, d – коэффициенты уравнения (табл. 5.5).

Аппроксимируем коэффициенты $a, b, c, d = f(D)$:

$$a(D) = 0,137915D^2 - 0,00702409D - 0,00739336;$$

$$b(D) = -16,8024D^2 + 2,28881D + 0,473397;$$

$$c(D) = 473,102D^2 - 119,49D + 7,1644;$$

$$d(D) = 4260,86D^2 - 2710,66D + 478,702.$$

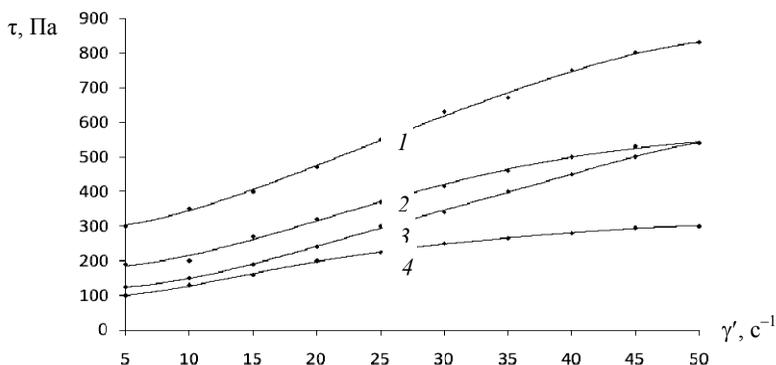


Рис. 5.11. График функции, аппроксимирующей зависимость напряжения сдвига от скорости деформации, для помадной массы с добавлением крапивного порошка дисперсностью:

1 – 0,08...0,14 мм; 2 – 0,14...0,20 мм; 3 – 0,20...0,25 мм; 4 – 0,25...0,50 мм

В итоге получаем следующую зависимость от двух переменных, описывающую влияние дисперсности крапивного порошка и скорости деформации на напряжение сдвига помадной массы:

$$\tau(\gamma', D) = a(D)\gamma'^3 + b(D)\gamma'^2 + c(D)\gamma' + d(D), \quad (5.20)$$

где τ – напряжение сдвига, Па; D – дисперсность крапивного порошка, мм; γ' – скорость деформации, с^{-1} ; a, b, c, d – коэффициенты уравнения.

В результате получаем модель, описывающую влияние скорости деформации и дисперсности частиц крапивного порошка на напряжение сдвига помадных масс (рис. 5.12).

Аналогично описываем влияние концентрации фитодобавок и скорости деформации на напряжение сдвига помадных масс. Графики функции, аппроксимирующей экспериментальные зависимости, представлены на рис. 5.13.

Коэффициенты аппроксимирующей функции представлены в табл. 5.6.

Аппроксимируем коэффициенты $a, b, c, d = f(P, \%)$:

$$a(C) = -0,00203719C^2 + 0,000612896C - 0,000385294;$$

$$b(C) = -0,198084C^2 + 0,465296C - 0,150402;$$

$$c(C) = 19,8397C^2 - 34,7911C + 13,0515;$$

$$P(C) = -19,2259C^2 + 77,2429C + 107,394.$$

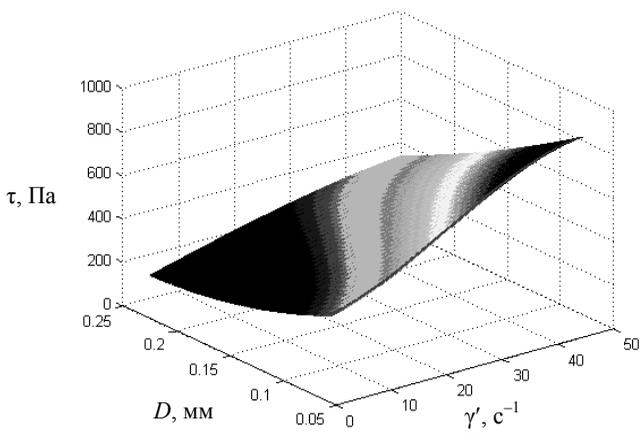


Рис. 5.12. Зависимость напряжения сдвига помадной массы от скорости деформации и дисперсности крапивного порошка

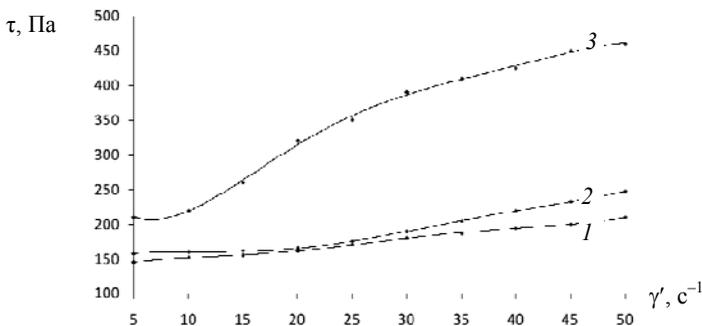


Рис. 5.13. График функции, аппроксимирующей зависимость напряжения сдвига от скорости деформации, для помадной массы с добавлением крапивного порошка:
 1 – 0,5%; 2 – 1%; 3 – 1,5%

5.6. Коэффициенты уравнения

Концентрация крапивного порошка, мм		0,5%	1,0%	1,5%
Коэффициенты уравнения	<i>a</i>	-0,00036346	-0,000914547	-0,00203719
	<i>b</i>	0,0327254	0,11681	0,101853
	<i>c</i>	0,615878	-1,89993	5,5041
	<i>d</i>	141,209	165,411	180

В итоге получаем следующую зависимость от двух переменных, описывающую влияние концентрации крапивного порошка на напряжение сдвига помадной массы от скорости деформации (рис. 5.14):

$$\tau(\gamma', C) = a(C)\gamma'^3 + b(C)\gamma'^2 + c(C)x + d(C), \quad (5.21)$$

где τ – напряжение сдвига, Па; C – концентрация крапивного порошка, %; γ' – скорость деформации, с⁻¹; a , b , c , d – коэффициенты уравнения (табл. 5.6).

В результате получаем модель, описывающую влияние концентрации фитодобавок и скорости деформации на напряжение сдвига помадной массы, которую можно использовать при проектировании рецептур помадных конфет с фитодобавками.

В процессе проведённых исследований экспериментально подтверждена целесообразность использования фитодобавок при изготовлении помадных конфет и установлено их оптимальное содержание

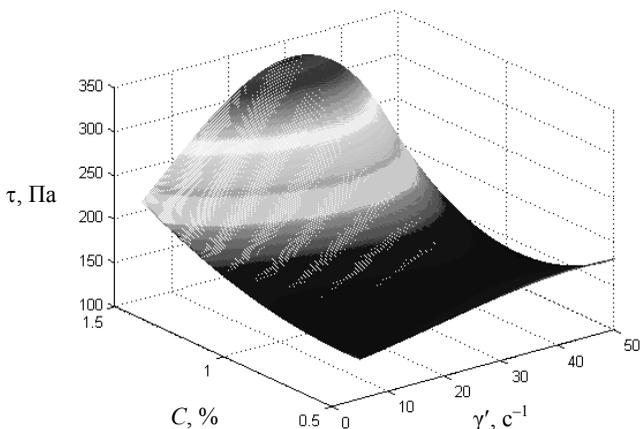


Рис. 5.14. Зависимость напряжения сдвига помадной массы от скорости деформации и концентрации крапивного порошка

0,5% к массе помады в рецептуре и дисперсность 14...20 мкм. Обоснованы температурные режимы стадий темперирования и отливки для помадных конфет с фитодобавками (75...82 °С) при стандартных скоростях вращения перемешивающих устройств темперирующей машины и движения поршней конфетоотливочного автомата.

Создание адекватных математических моделей позволяет заметно ускорить процессы расчёта и оптимизации состава и свойств получаемых кондитерских изделий, оперативно реагировать на изменение реологических характеристик сырьевых ингредиентов и полуфабрикатов.

Применение методов математического моделирования позволит снизить финансовые и временные затраты на разработку продуктов питания, своевременно реагировать на изменение хода технологического процесса и создавать изделия со стабильными качественными показателями и высокой конкурентоспособностью.

Таким образом, математическое и имитационное моделирование становится для технолога одним из необходимых инструментов решения задач оптимизации комплекса свойств пищевого продукта по установленным критериям и ограничениям на каждом этапе его разработки.

Глава 6

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ РЕОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследование реологических характеристик пищевых продуктов позволяет получить физически обоснованные решения, применимые для практических целей: установления существа образования и разрушения структур; исследования, обоснования и оптимизации путей получения структур с заранее заданными технологическими свойствами; установление закономерностей для расчёта оборудования и контроля основных показателей качества по значениям величин структурно-механических характеристик.

Определение структурно-механических показателей конфетных масс, таких как вязкость, соотношения между приложенными силами и возникающими под их действием деформациями, изменения деформации во времени, позволяет получить данные для уточнения режимов производства и получения конфет с заданными потребительскими свойствами: структурой, консистенцией, формой.

6.1. ОБОСНОВАНИЕ РЕЖИМОВ ПРОИЗВОДСТВА В ЗАВИСИМОСТИ ОТ РЕОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОЛУФАБРИКАТОВ И ТРЕБОВАНИЙ К СТРУКТУРНО- МЕХАНИЧЕСКИМ ХАРАКТЕРИСТИКАМ ГОТОВЫХ ИЗДЕЛИЙ

Изучение реологического поведения полуфабрикатов подтверждает зависимость их свойств от рецептурного состава кондитерских изделий. Для успешного проведения процессов смешения, темперирования, формования в ходе технологического цикла необходима корректировка температурных режимов производства и режимов работы оборудования.

Так, на стадии темперирования образующаяся помада, изготавливаемая по классической рецептуре, имеет температуру 65...70 °С. При темперировании идёт процесс частичного растворения кристаллов и соответственно изменения соотношения между жидкой и твёрдой фазами. Соблюдение температурных режимов не приводит к ухудшению качества помады, но в результате перегрева уменьшается массовая доля твёрдой фазы, так как в первую очередь происходит растворение мелких кристаллов, что приводит к снижению качества помады.

Внесение порошка фитодобавок значительно увеличивает вязкость массы, поэтому на данной стадии рекомендуется увеличить тем-

6.1. Рекомендуемые режимы стадий темперирования и формирования помадных масс

Рецептура	Скорость сдвига, с ⁻¹	Вязкость, Па·с	Стадия процесса		
			Темперирование, °С	Формование, °С	
Базовая	30	3,5	70...75	65...75	
С добавлением порошка крапивы					
Дисперсность 0,08...0,14 мм	0,5%	30	9,0	90	85...95
	1,0%		11,0	94	
	1,5%		12,0	98	
Дисперсность 0,25...0,50 мм	0,5%	30	3,0	80	75...85
	1,0%		3,5	85	
	1,5%		4,0	90	

пературный режим на 5...7 °С и скорость вращения мешалки на 6...8 об./мин, это позволит снизить вязкость системы и добиться равномерного распределения частиц порошка в объёме массы. В таблице 6.1 представлены рекомендуемые температурные режимы стадий производства помады с фитодобавками.

Измерения реологических характеристик проводились в диапазоне скоростей от 5 до 50 об./мин. Данный диапазон учитывает все воздействия на помадную массу в процессе её получения, поэтому более короткими участками этого интервала можно описать поведение помадной массы на разных стадиях технологического процесса. Выбор температурного режима осуществлялся исходя из температуры, подерживаемой на стадии темперирования (75...90 °С).

Основываясь на полученных зависимостях влияния фитодобавок на структурно-механические и органолептические свойства помадных масс, были сформулированы основные требования к условиям и способам их формования (табл. 6.2) [73].

В первом случае при температуре формования выше 70 °С структурообразование происходит после отливки корпусов, поэтому скорость сдвига при формовании может быть задана произвольно. Выстойка корпусов протекает до температуры 20...22 °С в течение 35 – 40 мин. Процесс структурообразования характеризуется образованием центров кристаллизации за счёт присоединения к решётке новых молекул и протекает самопроизвольно, так как сопровождается уменьшением свободной энергии системы.

6.2. Рекомендуемые способы формования помадных масс при различных температурах

Температура формования, °С	Помадная масса без добавок	Помадная масса с фитодобавками
>70	Отливка с последующим длительным выстаиванием	
40...70	Отливка, размазка	Размазка, выпрессовывание
<25...40	Выпрессовывание	

При использовании помадных масс в качестве начинок в интервале температур 40...70 °С их подача в корпуса изделий может осуществляться при любых скоростях сдвига.

При формировании помадных масс при температуре ниже 40 °С во избежание разрушения структуры массы при формировании скорость сдвига должна быть ниже наименьшей критической, т.е. до 25 с⁻¹.

Для выбора оптимальных условий формования и выстойки корпусов помадных конфет необходимо определить, как влияют различные факторы на скорость структурообразования. О скорости структурообразования в конфетных корпусах можно судить по нарастанию предельного напряжения сдвига [39].

Для классических помадных масс при низких температурах (80...90 °С) величина предельного напряжения сдвига резко возрастает за небольшой промежуток времени (рис. 6.1).

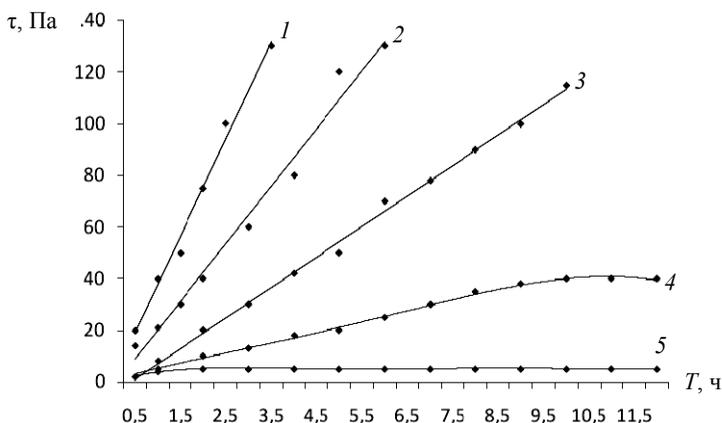


Рис. 6.1. Зависимость предельного напряжения сдвига от продолжительности выстойки конфет при отливке массы температурой (°С):

1 – 80; 2 – 90; 3 – 95; 4 – 100; 5 – 110

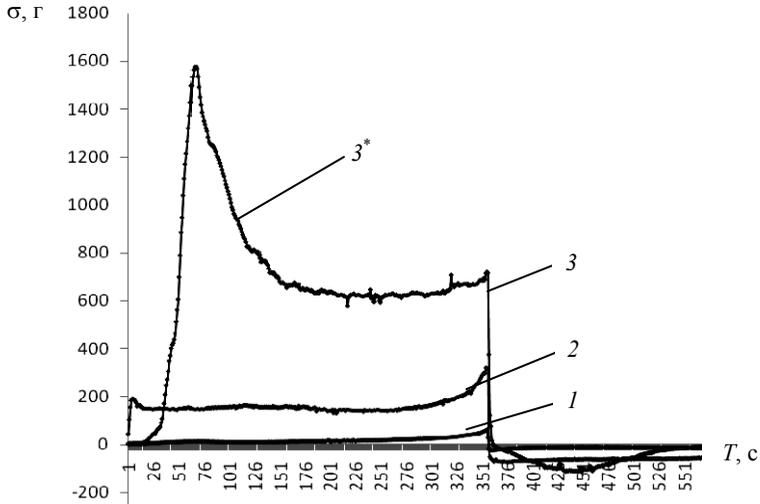


Рис. 6.2. Структурообразование помадной массы после отливки через:
1 – 15 мин; 2 – 35 мин; 3 – 60 мин

Кривые линейны, что характерно для корпусов с однородной структурой. В данном случае структурообразование обусловлено интенсивной кристаллизацией сахарозы, которая из-за высокого пересыщения протекает быстро не только на поверхности, но и во внутренних слоях корпуса. Структурообразование при отливке массы температурой 95 °С идёт медленнее, а масса, отлитая при температуре 100 °С, достигает нормальной консистенции (предельное напряжение сдвига $30..40 \cdot 10^3 \text{ Н/м}^2$) после 3 ч выстойки [39].

Процесс структурообразования помадной массы можно проследить по полученным зависимостям изменения консистенции образцов в процессе выстойки (рис. 6.2).

На поверхности полуфабриката идёт образование плотной кристаллической корочки, прочность которой возрастает в течение первого часа (до 1600 г), а толщина после двух часов выстойки достигает 2,5 мм. Внутри образовавшегося корпуса находится густая масса с крупными кристаллами сахарозы (участок 3*). В процессе кристаллизации уменьшается адгезия образцов к нержавеющей стали.

Через 2,5...3,0 ч выстойки при температуре окружающей среды 23...25 °С корпус конфеты представляет собой твёрдую кристаллическую структуру (рис. 6.3).

Использование водно-спиртового экстракта повышает скорость структурообразования, так как в присутствии спирта растворимость

6.3. Рекомендуемые способы формования сбивных масс при различных температурах

Температура формования, °С	Сбивная масса без добавок	Сбивная масса с добавлением овощного порошка
>60	Отливка	
45...60	Отливка, размазка	Размазка
30...45	Размазка	Размазка, выпрессовывание
25...30	Размазка	Отсадка, выпрессовывание
<25	Не рекомендуется	

На основании проведённых исследований сформулированы рекомендации к условиям формования сбивных масс, изготовленных по традиционным рецептурам и с добавлением функциональных ингредиентов (табл. 6.3).

Структурообразование происходит после отливки сбивных масс при высоких температурах, поэтому скорость сдвига при формовании может быть задана произвольно.

При температуре ниже 60 °С начинается процесс студнеобразования, поэтому воздействие на структуру должно быть минимальным. Этому требованию соответствует способ формования размазкой.

Для диапазона температур 30...45 °С сбивные массы, изготовленные по традиционной рецептуре, следует формовать способом размазки, а для сбивных масс с добавлением овощных порошков можно использовать метод выпрессовывания, поскольку отформованные изделия хорошо сохраняют форму в виде жгута или пласта. Формование следует проводить при скоростях сдвига не более 60...70 с⁻¹.

При температурах 25...30 °С сбивную массу с добавлением овощных порошков можно формовать методом отсадки. При этом отформованные изделия хорошо сохраняют форму, так как процесс структурообразования к моменту формования в основном уже закончен. Во избежание разрушения структуры массы при формовании, скорость сдвига должна быть ниже наименьшей критической, т.е. 30 с⁻¹.

При формовании жележных масс разрушение структуры, характеризующееся значительным снижением величины динамической вязкости, наблюдается в интервале скоростей деформации 20 с⁻¹ при использовании пектинов марки «Унипектин PG DS» и 10 с⁻¹ для пектинов марки Classic.

На основании проведённых исследований установлены температуры отдельных стадий технологического цикла для жележных масс с фитодобавками (табл. 6.4).

6.4. Рекомендуемые режимы стадий темперирования и формования желейных масс

Стадия процесса	Температурные режимы	
	Базовая рецептура	Новая рецептура
Темперирование	80...85 °С	95...100 °С
Формование	75...95 °С	90...95 °С

Указанные температурные режимы справедливы при стандартных скоростях вращения перемешивающих устройств темперирующей машины и движения поршней конфетототливочного автомата.

Эффективность смешивания добавок с конфетными массами определяли на основе коэффициента вариации распределения вводимых ингредиентов (рис. 6.4):

$$V = \frac{S}{\bar{c}}; \quad (6.1)$$

$$S = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (c_i - \bar{c})^2}, \quad (6.2)$$

где S – среднееквадратическое отклонение; c_i – концентрация ключевого компонента в i -й пробе смеси, %; \bar{c} – среднее арифметическое значение концентрации ключевого компонента во всех n пробах, %.

За концентрацию ключевого компонента, например в сбивной массе с содержанием морковного порошка, принимали значение оптической плотности при определении содержания β -каротина в пробе.

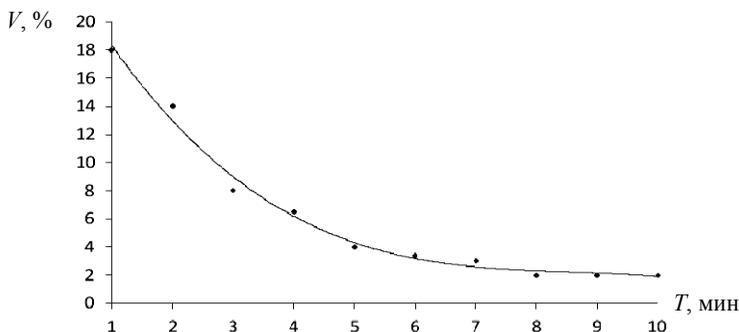


Рис. 6.4. Зависимость коэффициента вариации от продолжительности смешивания

Однородность смеси для концентрации морковного порошка 7...10%, вносимого в сбивную массу с жиросодержащим сырьём достигается через 5–7 мин смешивания, коэффициент вариации меньше 5%.

6.2. СВЯЗЬ РЕОЛОГИЧЕСКИХ И СЕНСОРНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КОНДИТЕРСКИХ ИЗДЕЛИЙ

Одним из разделов реологии является метареология [4], где реологические исследования граничат с химией, биологией, физикой, психофизиологией и другими науками. Например, покупатель оценивает свежесть пряников, проведя реологический «эксперимент», деформируя изделие и следя за его вязкоупругим поведением – оценивая усилие деформации и восстанавливаемость изделия после деформации. Психофизиологические и реологические свойства отделочных полуфабрикатов при намазывании их на бисквит тоже можно отнести к метареологии. Органолептические оценки качества многих пищевых продуктов относятся к метареологии или психореологии, как то оценка «на глаз» вязкостных свойств сиропов, хрупкости карамели, зернистости творога, консистенции начинок и т.п. [4].

Для оценки органолептических характеристик конфет применяются балльный и профильный методы оценки. Сущность профильного метода состоит в том, что сложное понятие одного из органолептических свойств представляют в виде совокупности простых составляющих. Применение профильного метода особенно эффективно для характеристики различий между образцами конфет в процессе хранения. Оценка производилась путём дегустации по разработанной пятибалльной шкале с использованием коэффициентов весомости, учитывающих значимость каждого показателя: где 0 – полное отсутствие признака; 5 – признак выражен максимально интенсивно.

Органолептическая оценка проводилась по показателям качества, установленным ГОСТ 4570–93 «Конфеты. Общие технические условия», учитывались показатели «структура» и «консистенция» ввиду особенностей состава для указанных изделий, так как они оказывают существенное влияние на сенсорные характеристики.

Вкусовые качества помады в значительной степени зависят от её структуры, которая определяется главным образом величиной кристаллов, составляющих её твёрдую фазу. Высококачественной считается помада с преобладанием фракций кристаллов от 10 до 12 мкм. Наличие 20% кристаллов размером 25...30 мкм и более делает помаду грубокристаллической. Избыток кристаллов размером 5...6 мкм делает продукт вязким [43]. Таким образом, размер частиц сахарозы существенно влияет на качество помадных конфет.

На формирование размеров кристаллов оказывают влияние состав рецептур и температурные режимы стадий производства. Так, при изготовлении помадных конфет по традиционным рецептурам высокие температуры стадии темперирования (70...75 °С) приводят к образованию грубодисперсной структуры и быстрому черствению корпусов в процессе хранения. Введение на стадии темперирования фитопорошков дисперсностью 0,08...0,25 мм позволяет увеличить количество твёрдой фазы и образование более мелких кристаллов (с размером менее 20 мкм до 90...100%, против 81% в контрольной пробе). Кроме того, наличие добавок позволяет значительно снизить скорость черствения помады в процессе хранения.

Профилограммы сенсорного анализа для помадных конфет представлены на рис. 6.5 и 6.6.

В результате конфеты с добавлением 0,5% фитопорошка дисперсностью 0,14...0,20 мм получили оценку «отлично». Стоит отметить, что с увеличением дисперсности добавки дегустационная оценка для образцов после пяти месяцев хранения уменьшается в среднем на 0,5 балла.

Полученные в ходе экспериментальных исследований результаты показывают, что введение в рецептуру помадных масс фитодобавок улучшают структуру помады и придают ей новые органолептические свойства.

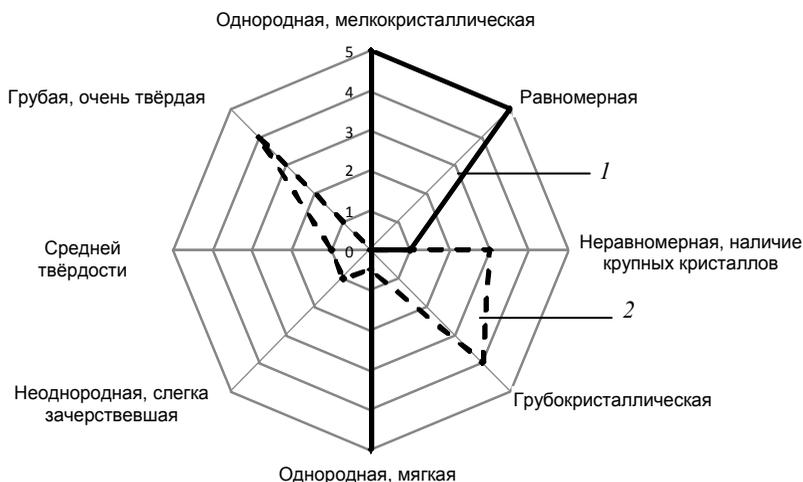


Рис. 6.5. Сенсорная оценка помадных конфет без добавок:

1 – на момент изготовления; *2* – после 5 месяцев хранения

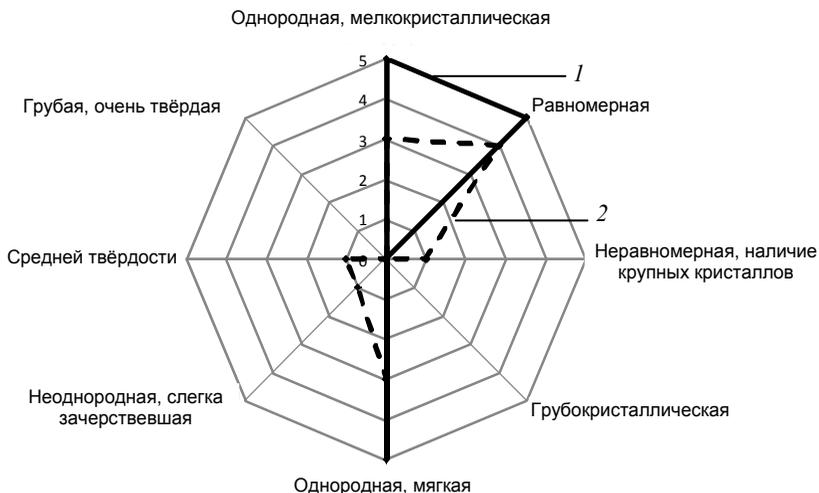


Рис. 6.6. Сенсорная оценка помадных конфет с фитодобавками:
 1 – на момент изготовления; 2 – после 5 месяцев хранения

В нормативно-технической документации (ГОСТ 4570–93) отсутствуют данные, регламентирующие прочность корпусов желейных конфет. Поэтому для установления оптимальных с точки зрения органолептических, функционально-технологических и экономических показателей структурно-механических характеристик желейных студней нового вида изделий исследовали пластическую прочность коммерческих образцов желейных конфет различных производителей (рис. 6.7).

Анализ полученных данных показал, что пластическая прочность корпусов желейных конфет различных производителей варьируется в широком интервале значений – 40...122 кПа, что объясняется использованием различных видов сырья, его рецептурных соотношений, а также сроками изготовления исследуемых образцов.

На основе анализа известных литературных источников [20, 39, 125] и экспериментальных исследований установлено, что снижение пластической прочности корпусов ниже значения – 30...35 кПа приводит к деформации конфетных корпусов, потере ими правильной геометрической формы и технологическим трудностям в процессах очистки корпусов конфет от крахмала, глазирования и упаковки (рис. 6.8).

Получение корпусов конфет с пластической прочностью выше 70 кПа приводит к изменению текстуры студня и ухудшению органолептических характеристик, перерасходу пектина и увеличению себестоимости готовых изделий.

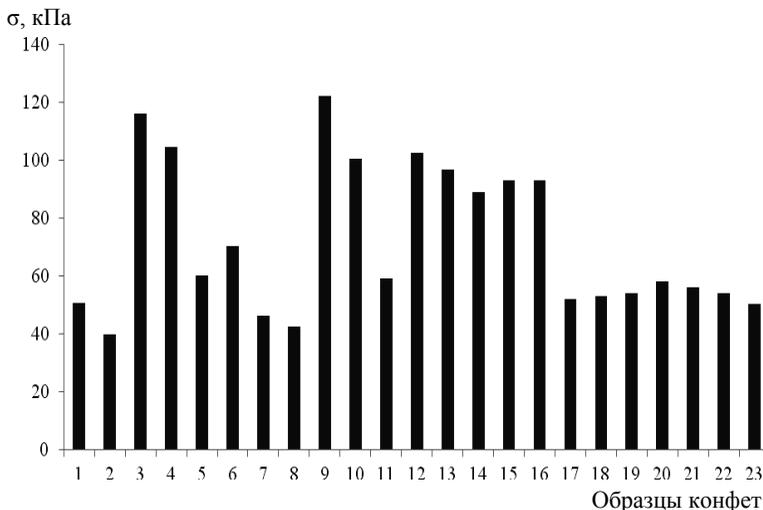


Рис. 6.7. Значения пластической прочности жележных конфет:

1, 2 – ОАО «Новгородская кондитерская фабрика» «Желейные» со вкусом клюквы и вишни соответственно; 3 – 11 – ОАО «Кондитерская фирма ТАКФ» «Желейные» со вкусом ананаса, клубники, малины, персика, мультифруктовым вкусом, клубники со сливками, абрикоса, чёрной смородины, барбариса соответственно; 12 – 16 – ОАО «Кондитерская фирма ТАКФ» «Сочная долька» со вкусом вишни, персика, барбариса, апельсина, лайма соответственно; 17 – 21 – ОАО «Кондитерская фирма ТАКФ» «Сливочный пунш» с ванильно-карамельным, молочно-ежевичным, молочно-ирисным, ванильно-грушевым, молочно-земляничным вкусом соответственно; 22, 23 – ОАО «Кондитерская фирма ТАКФ» «Неженка» со вкусом клубники и экзотических фруктов соответственно

Учитывая изменения реологических характеристик жележных студней в процессе хранения, для обеспечения желаемой консистенции, достаточной формоудерживающей способности корпусов конфет, сохранения прочности в интервале 40...70 кПа в течение срока годности и сокращения количества используемого пектина, целесообразно принять в качестве оптимального значения прочности жележных студней при изготовлении значение ~40 кПа.

Органолептическая оценка жележных конфет представлена на рис. 6.9 и 6.10.

По итогам анализа было установлено, что образцы жележных конфет на момент

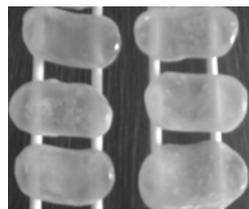


Рис. 6.8. Дефекты корпусов жележных конфет прочностью ниже 35 кПа

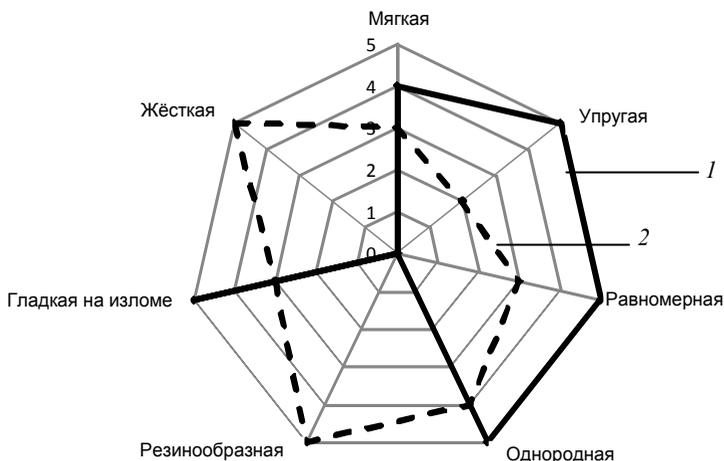


Рис. 6.9. Сенсорная оценка желейных конфет без добавок:
 1 – на момент изготовления; 2 – после 5 месяцев хранения

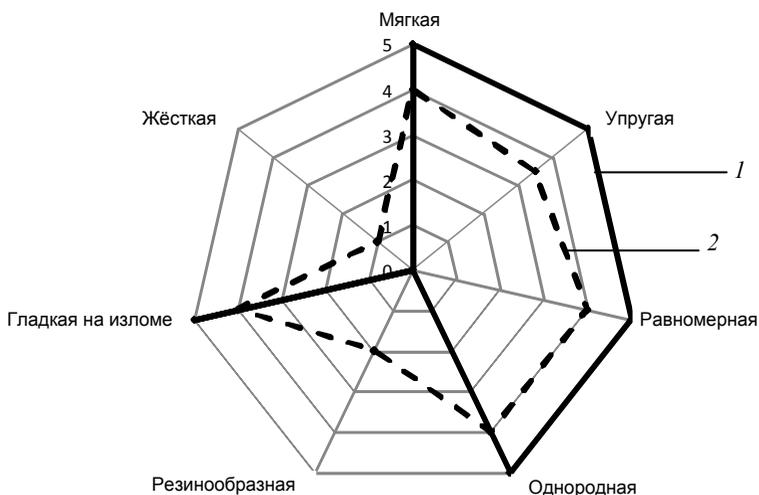


Рис. 6.10. Сенсорная оценка желейных конфет с порошком крапивы:
 1 – на момент изготовления; 2 – после 5 месяцев хранения

изготовления обладают однородной студнеобразной структурой с равномерной, упругой, тающей во рту консистенцией. На изломе желейный студень прозрачный стекловидный. Форма конфет без деформаций. По истечении 5 месяцев структура корпусов конфет с добавками осталась однородной, органолептически различимых изменений не выявлено.

Консистенция равномерная, упругая, синерезиса не отмечено. Форма и поверхность изделий не претерпели видимых изменений.

Проводился анализ консистенции сбивных масс с содержанием овощного порошка и прочности готовых изделий (рис. 6.11).

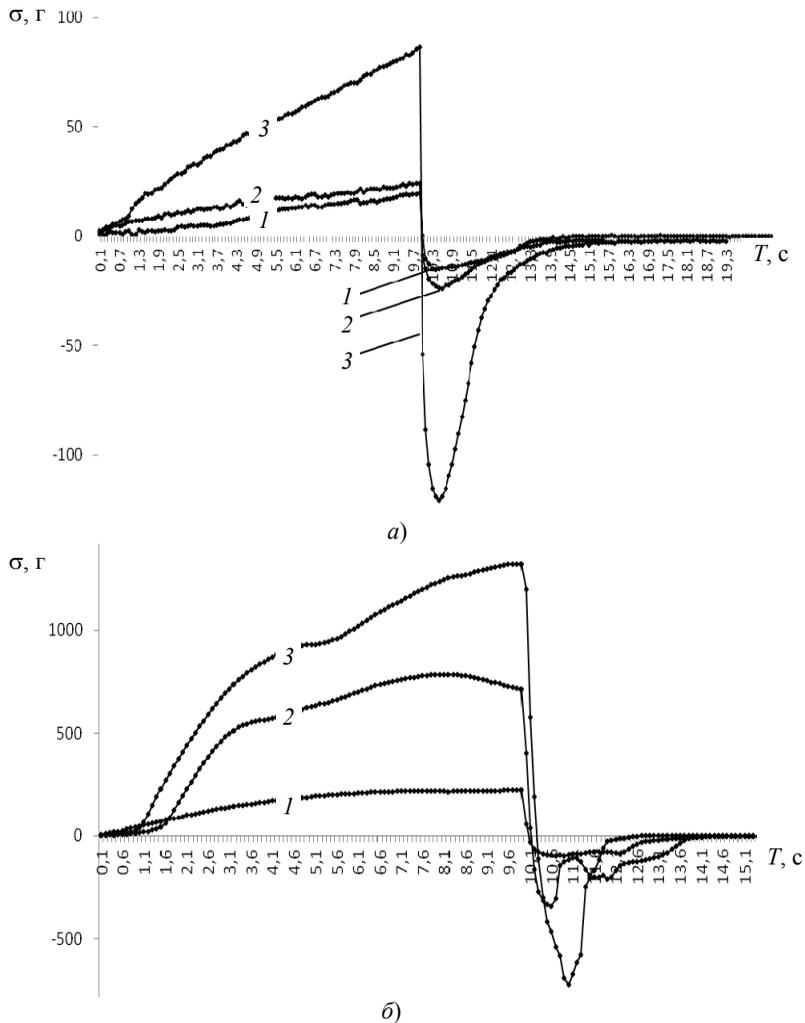


Рис. 6.11. Сравнение консистенции сбивных масс при температуре массы 50 °С (а) и 25 °С (б):

1 – контроль; 2 – с добавлением 5% гидратированного овощного порошка; 3 – с добавлением 5% сухого овощного порошка

Консистенция образцов была оценена путём сравнения физических свойств сбивной массы, изготовленной по классической рецептуре и с добавлением овощного порошка в сухом и гидратированном виде. При этом эксперимент проводился при температуре 50 °С (момент отливки) и 25 °С (после структурообразования).

Полученные результаты показывают влияние порошков на консистенцию продукта (чем больше наклон кривой, тем более плотная консистенция образца) и прочность студня. Для образца 1 отмечено отсутствие переломов и пиков в пределах кривой, в отличие от 2 и 3, где структура характеризуется включением овощных порошков, зарегистрирован более крутой начальный градиент и более высокие измеренные значения силы. Отрицательные части кривых 2 и 3 характеризуют повышенную вязкость.

Провалы на кривых объясняются мягкой текстурой сбивной массы и воздушными промежутками, а пики присутствием частиц овощного порошка в пределах системы. При добавлении мелкодисперсных частиц структура более однородная и нежная – кривая более пологая и гладкая.

Результаты органолептической оценки кремово-сбивных конфет, изготовленных по традиционной рецептуре и с добавлением овощных порошков, представлены на рис. 6.12 и 6.13.

Следует отметить, что конфеты сохранили вкусоароматические достоинства, внешний вид и структурные свойства в течение 3,5 – 5,0 месяцев (в зависимости от изменения рецептуры), а некоторые образцы и



Рис. 6.12. Сенсорная оценка кремово-сбивных конфет без добавок:
1 – на момент изготовления; 2 – после 5 месяцев хранения

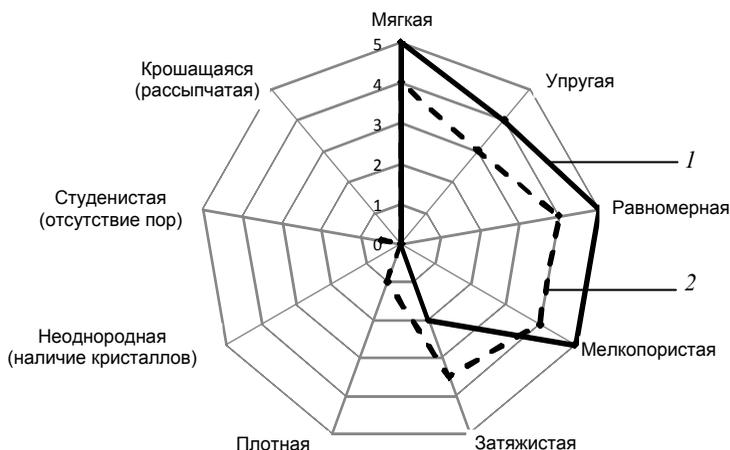


Рис. 6.13. Сенсорная оценка кремово-сбивных конфет с овощным порошком:

1 – на момент изготовления; *2* – после 5 месяцев хранения

до 6 месяцев хранения, после чего было отмечено изменение структуры и ухудшение внешнего вида: засахаренная плотная, студенистая консистенция. Для образцов с добавлением овощных порошков отмечено отсутствие кристаллов сахарозы и сохранение структуры.

На рисунке 6.14 представлены сравнительные испытания прочности вафельных листов при резке готовых вафель с жировой начинкой. Готовое изделие состояло из пяти слоёв вафельных листов, соотношение листа и начинки 1:4.

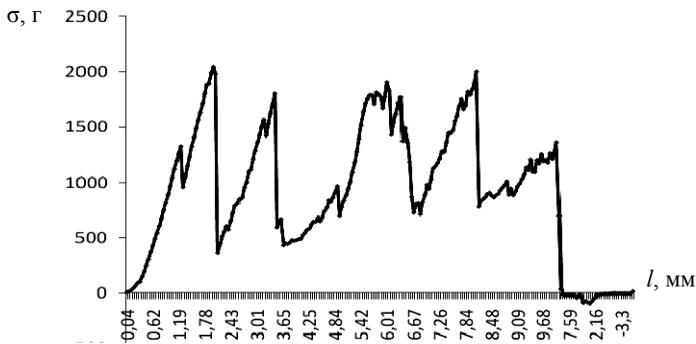
Из графиков, очевидно, что листы с добавлением лимонной кислоты сохранили прочность, а значит, и хрустящие свойства при использовании начинки.

В образцах с углеаммонийной солью и ферментным препаратом прочность средних листов снижена по сравнению с первым и последним, значения прочности которых соответствуют листам без начинки.

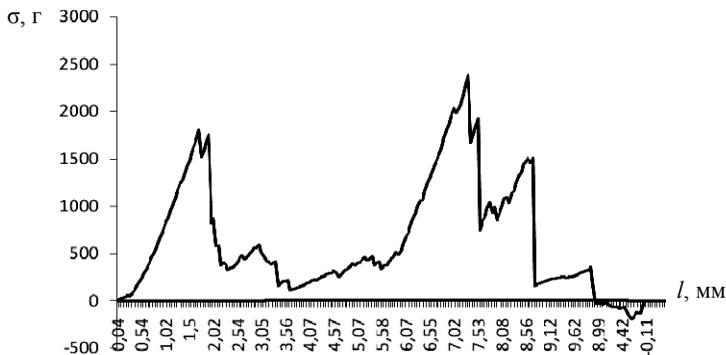
Несмотря на некоторое снижение прочности вафельных листов в готовом изделии, по органолептическим свойствам образцы получили удовлетворительные оценки по показателю «хруст».

Органолептическая оценка вафельных листов показала, что по показателю «форма» существенных различий у образцов не наблюдается (рис. 6.15).

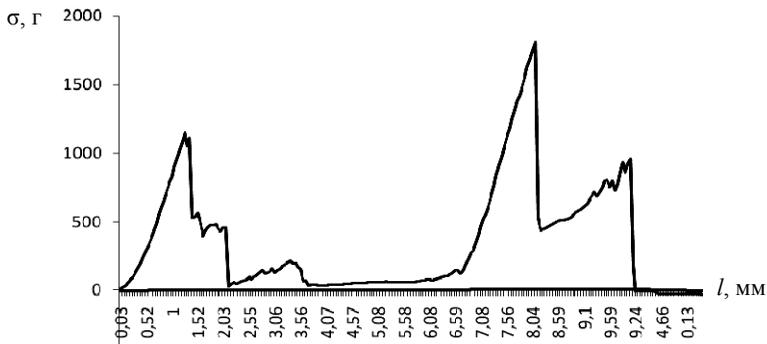
Образцы с добавками по всем дескрипторам превосходят контрольный, особенно по показателям «хруст» и «пористость». Однако при увеличении дозировок добавок увеличивается ломкость изделий.



a)



б)



в)

Рис. 6.14. Структурно-механические характеристики вафель с жировой начинкой с добавлением:

a – лимонной кислоты; *б* – углекислой соли; *в* – ферментного препарата

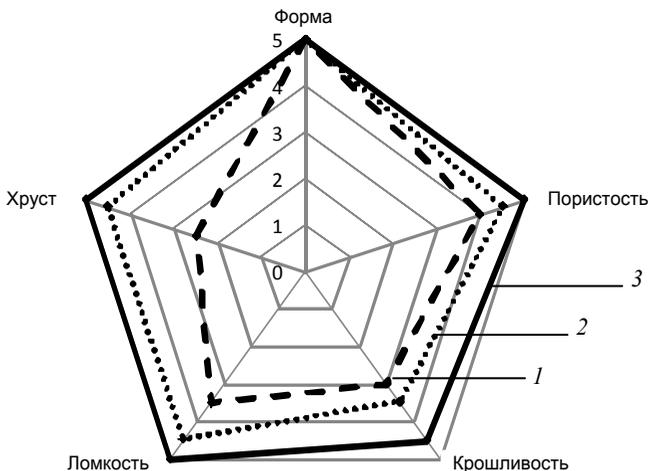


Рис. 6.15. Сенсорная оценка вафельных листов:

1 – без добавок; 2 – с лимонной кислотой; 3 – с ферментным препаратом

Чисто органолептическая оценка в большей степени является субъективной и порой зависит даже от настроения дегустатора. Применение инструментальных методов и установление взаимосвязи с сенсорными ощущениями даёт полную картину потребительской оценки изделий. Кроме того, в этом случае можно легко прогнозировать такие органолептические показатели, как «структура» и «консистенция» ещё в процессе производства.

6.3. ИЗМЕНЕНИЕ СТРУКТУРНО-МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК КОНДИТЕРСКИХ ИЗДЕЛИЙ ПРИ ХРАНЕНИИ

При хранении помадных и мармеладно-пастильных изделий протекают два основных процесса: высыхание корпусов и кристаллизация сахарозы, однако характер их течения не достаточно изучен и зависит от рецептурного состава, технологии производства, способов упаковки и условий хранения, поэтому при разработке новых рецептур необходимо проводить комплексные исследования изменения качественных характеристик конфет в процессе хранения [39].

Потеря влаги помадных конфет приводит к увеличению твёрдой фазы, укреплению и цементированию кристаллов сахарозы. Это явление называют черствением помады, первым признаком которого служит появление на поверхности, а затем и внутри изделия белых пятен, представляющих собой друзы крупных кристаллов сахарозы.

Изменение влажности помады и дисперсности кристаллов сахара в процессе хранения конфет приводит к существенному упрочнению структуры корпуса.

Результаты проведённых экспериментальных исследований показали, что при добавлении различных влагоудерживающих добавок характер потери влаги менялся. Динамика потери влаги в образцах, содержащих белок и дрожжи, практически одинакова и образцы, содержащие эти добавки, теряют влагу медленнее, чем образцы, содержащие крапивный и горчичный порошки.

После выбора добавок проводилось исследование и анализ образцов с различным содержанием этих добавок в целях выявления оптимального количества добавки, способствующего наибольшему влагоудерживанию для сохранения требуемой структуры. Характер изменения содержания влаги в зависимости от концентрации влагоудерживающих добавок представлен на рис. 6.16, 6.17.

Результаты анализа влажности и прочности помадных конфет приведены в табл. 6.5.

Из вышеприведённых графиков видно, что с увеличением концентрации добавки процесс потери влаги замедляется и уменьшается прочность корпусов. Однако окончательное решение по количеству вводимой в рецептуру влагоудерживающей добавки следует принимать на основе учёта её влияния не только на скорость черствения конфет, но и на их органолептические характеристики.

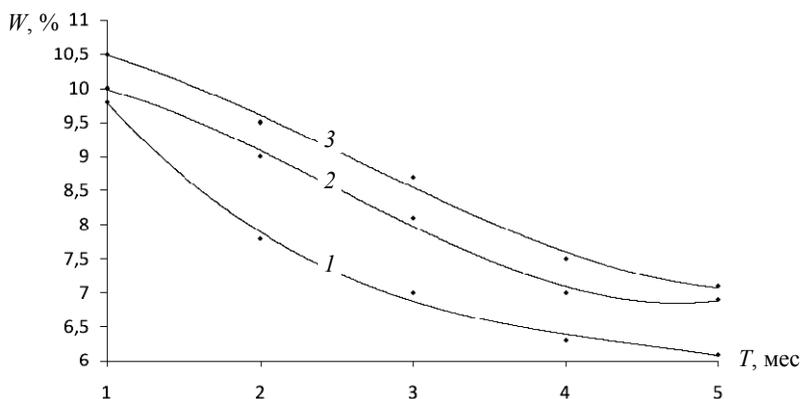


Рис. 6.16. Изменение влажности помадных конфет в процессе хранения в зависимости от вида добавок:

1 – контроль; 2 – порошок крапивы; 3 – порошок горчицы

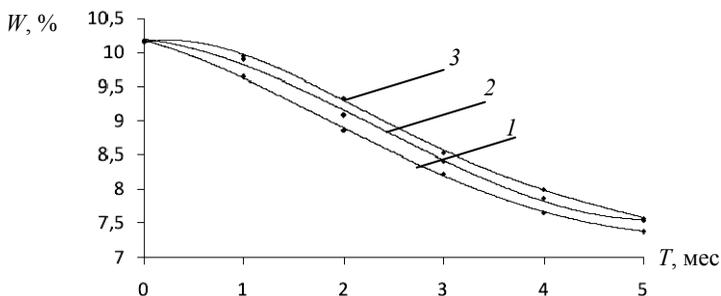


Рис. 6.17. Изменение влажности помадных конфет в процессе хранения в зависимости от концентрации порошка горчицы: 1 – 0,5 %; 2 – 1,0 %; 3 – 1,5 %

6.5. Показатели качества помадных конфет

Образец	Массовая доля влаги корпуса, %		Прочность корпуса, г	
	на момент изготовления	через 5 недель	на момент изготовления	через 5 недель
Контроль	10,3	6,40	1050	2540
С добавлением 1% порошка крапивы	10,20	7,18	1100	1605
С добавлением 1% порошка горчицы	10,17	7,53	1080	1610
С добавлением 0,2% порошка дрожжей	10,25	8,20	1050	1780
С добавлением 0,2% сухого белка	10,26	8,10	1040	1680

Желейные конфеты содержат в своём составе в среднем 25...27% воды. Она в форме раствора, содержащего сахар, патоку, органические кислоты и другие вещества, в зависимости от конкретной рецептуры является дисперсионной средой, заполняющей внутреннее пространство каркаса желейного студня. Основная масса влаги физико-химически (адсорбционно) связана с сеткой каркаса пектиновых молекул и в про-

цессе студнеобразования отвердевает вместе с дисперсной фазой в единую структуру студень – без образования видимой границы раздела фаз [39]. При этом в относительно небольшом количестве представлена также поверхностная адгезионно связанная вода, доля которой зависит от рецептуры, особенностей технологии производства и вида жележных изделий.

Анализ изменения массовой доли влаги и пластической прочности корпусов жележных конфет в процессе хранения показал, что по истечении 90 сут в образцах, упакованных методом перекрутки, влажность снижается на 38,2 и 45,3% для глазированных и неглазированных образцов соответственно (рис. 6.18).

В образцах неглазированных конфет на начальном этапе (20 сут) отмечено быстрое снижение массовой доли влаги, что связано с интенсивным испарением адгезионно связанной влаги поверхностного слоя конфет. По мере высыхания поверхностного слоя происходит увеличение градиента влажности в направлении от внутренних слоёв к наружным, интенсифицируется процесс внутренней диффузии. В обезвоженном наружном слое изделий концентрируется большое количество молекул сахарозы, способных ассоциироваться в центры кристаллизации, которые затем вырастают до видимых кристаллов, в результате чего на поверхности образцов (в особенности неглазированных) образуется кристаллическая корочка. Момент образования корочки и её толщина оказывают существенное влияние на скорость испарения влаги. Процессы высыхания поверхностного слоя и кристаллизация сахарозы интенсифицируются с повышением температуры и снижением относительной влажности воздуха, при этом размер

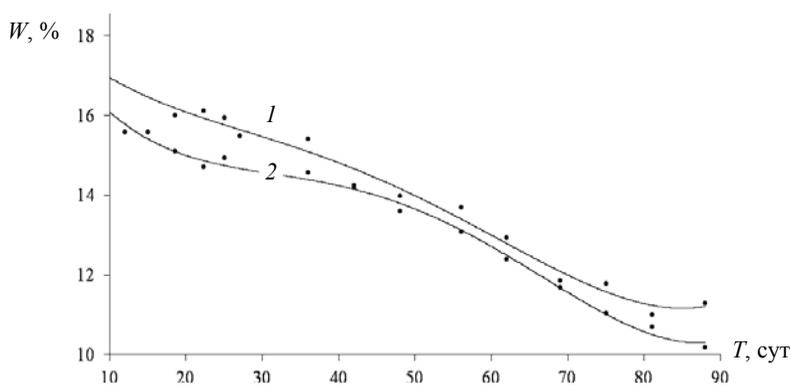


Рис. 6.18. Изменение массовой доли влаги глазированных (1) и неглазированных (2) жележных конфет

кристаллов сахарозы, а соответственно и толщина корочки увеличиваются [39]. Учитывая низкую относительную влажность воздуха в суховоздушном термостате (~55%), можно предположить, что именно образованием толстой кристаллической корочки объясняет замедление процесса потери влаги в течение последующих 30 сут. Таким образом, процесс высыхания неглазированных жележных конфет носит циклический характер и продолжается до тех пор, пока не будет достигнуто равновесное значение массовой доли влаги, характерное для данных условий хранения. При этом продолжительность и интенсивность процессов внутренней и внешней диффузии будут в значительной степени зависеть от условий хранения и рецептурного состава.

Кривая изменения массовой доли влаги конфет, покрытых шоколадной глазурью, более гладкая. Каждый из описанных ранее процессов выражен слабее, поскольку глазурь затрудняет диффузию влаги с поверхностного слоя конфет в окружающую среду за счёт высокого содержания жира (~35%), что ведёт к уменьшению градиента влажности и снижению скорости внутренней диффузии. Установлено, что положительное влияние глазури на стабильность физико-химических и структурно-механических показателей конфет особенно заметно в течение первых 30 сут хранения.

Возрастание пластической прочности корпусов жележных конфет на 21,5 и 41,1% для глазированных и неглазированных образцов, соответственно, объясняется уменьшением толщины прослойки дисперсионной среды между составляющими сетку каркаса студня макромолекулами пектина, вследствие чего происходит постепенное упрочнение структуры студня (рис. 6.19). При этом возможно выдавливание

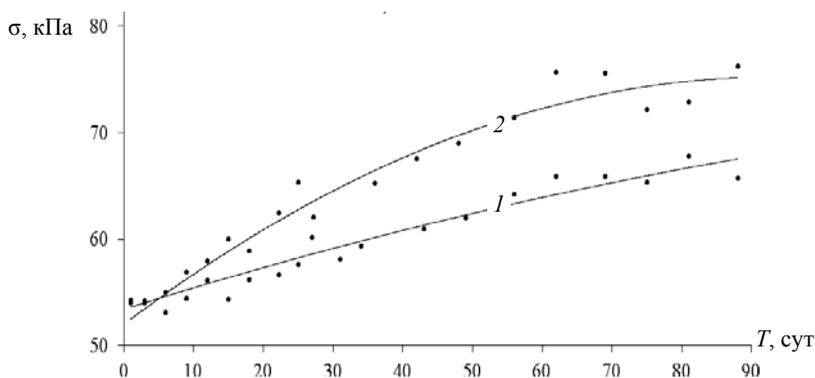


Рис. 6.19. Изменение пластической прочности корпусов глазированных (1) и неглазированных (2) жележных конфет

влаги из решётки студня на его поверхность (синерезис), что также может быть причиной повторной интенсификации процесса высыхания на заключительном этапе хранения (с 50 по 90 сут).

Пластическая прочность образцов, покрытых шоколадной глазурью, меньше, так как процесс их высыхания идёт менее интенсивно, и влажность по окончании срока хранения остаётся на более высоком уровне.

Установлено, что неглазированные образцы, упакованные по технологии «флоу пак», в течение 90 сут хранения теряют на 31,4% влаги меньше, чем упакованные методом двусторонней перекрутки, так как герметичная упаковка и слой алюминиевой фольги предотвращают десорбцию влаги с поверхности корпусов в окружающую среду. При этом внутри замкнутого объёма упаковки относительная влажность воздуха увеличивается, что приводит к замедлению процесса высыхания поверхностного слоя и смещению равновесной влажности к более высокому значению (рис. 6.20).

Пластическая прочность герметично упакованных образцов возрастает менее интенсивно (на 9,9%) по сравнению с упакованными классическим методом (на 41,1%), что полностью согласуется с данными по изменению массовой доли влаги (рис. 6.21).

Для проверки гипотезы о том, что добавки на основе растительного сырья могут являться влагоудерживающими агентами, исследовали влияние полуфабрикатов крапивы на процесс высыхания корпусов конфет.

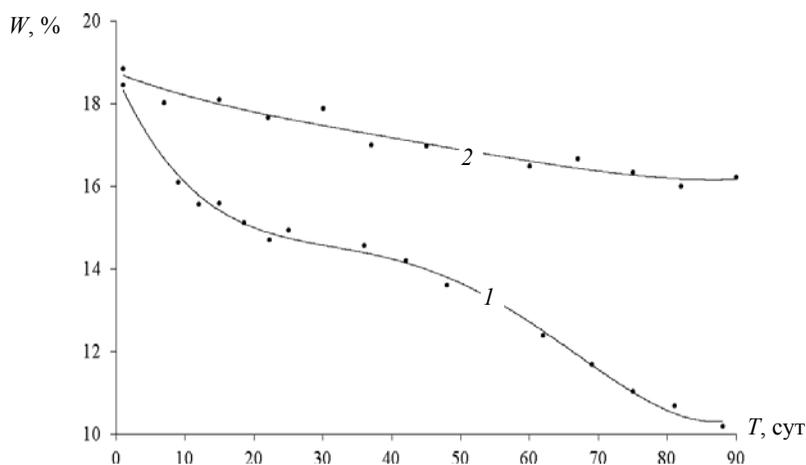
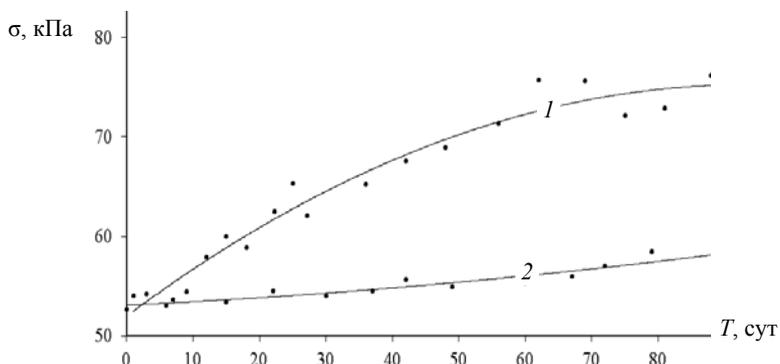


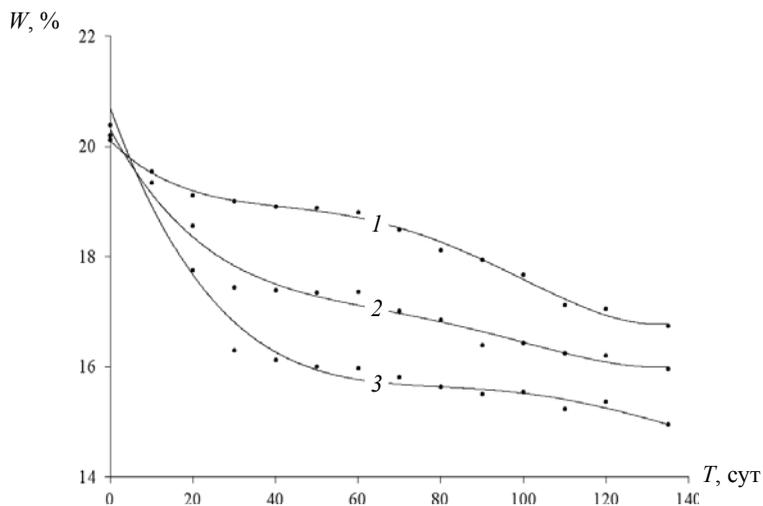
Рис. 6.20. Изменение массовой доли влаги корпусов конфет упакованных: 1 – методом перекрутки; 2 – по технологии «флоу пак»



**Рис. 6.21. Изменение пластической прочности корпусов
желейных конфет, упакованных:**

1 – методом перекрутки; *2* – по технологии «флоу пак»

Установлено, что формы вносимых добавок оказывают существенное влияние на скорость потери влаги неглазированными корпусами (рис. 6.22).



**Рис. 6.22. Изменение массовой доли влаги корпусов конфет,
упакованных по технологии «флоу пак»:**

1 – с добавлением 1% спиртового экстракта; *2* – с добавлением 0,5% гидратированного порошка; *3* – с добавлением 0,5% концентрированного экстракта

В образцах с добавлением 1% спиртового экстракта массовая доля влаги снижается на 16,75%; 0,5% гидратированного порошка – на 20,9%, 0,5% концентрированного экстракта – на 26,7%.

В случае применения спиртового экстракта основным действующим веществом, способным влиять на процесс высыхания, является этанол, который обладает влагоудерживающими свойствами.

При использовании гидратированного порошка его частицы в процессе набухания связывают определённое количество влаги, которая находится в различных состояниях (сорбционно, капиллярно и осмотически связанном) и поэтому удаляется в процессе высыхания на различных этапах, что способствует замедлению процесса высыхания конфетных корпусов в целом.

Концентрированный водный экстракт не обладает выраженной влагоудерживающей способностью, что и обуславливает наиболее интенсивное высыхание образцов на его основе.

Известно, что чем более плотной консистенцией обладает мармелад, тем медленнее идёт процесс его высыхания [39]. Как было отмечено в гл. 3, добавки крапивы оказывают различное влияние на процесс студнеобразования желейных масс, наибольшей пластической прочностью обладают образцы со спиртовым экстрактом, наименьшей – с концентрированным, что полностью согласуется с экспериментальными данными.

Исследованиями изменения пластической прочности корпусов конфет с добавками крапивы установлено, что в начальный период (30 сут), когда была отмечена наибольшая скорость высыхания, у всех образцов наблюдается возрастание пластической прочности на 5...9%. В последующие 40 сут, когда процесс потери влаги замедляется, у образцов с экстрактами пластическая прочность снижается до начальных значений, а с порошком, наоборот, наблюдается дальнейшее более плавное нарастание. На завершающем этапе пластическая прочность образцов со спиртовым экстрактом вновь возрастает, с концентрированным остаётся приблизительно постоянной, а с порошком рост становится более выраженным. В результате по истечении 90 сут пластическая прочность корпусов конфет с добавлением 0,5% концентрированного экстракта увеличивается на 2,6%; 1% спиртового экстракта – на 3,5%; 0,5% гидратированного порошка – на 14,1% (рис. 6.23).

Таким образом, использование гидратированных порошков, несмотря на их влагоудерживающую способность, приводит к повышению пластической прочности корпусов конфет, что может быть

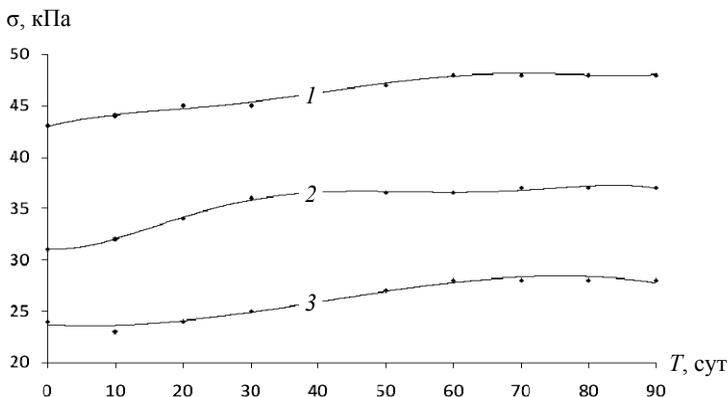


Рис. 6.23. Изменение пластической прочности корпусов конфет:
 1 – с добавлением 1% спиртового экстракта; 2 – с добавлением 0,5% порошка; 3 – с добавлением 0,5% концентрированного экстракта

связанно с влиянием частиц порошка на структурно-механические свойства студня. По мере высыхания и связанного с этим уменьшения прослойки дисперсионной среды между участками молекул пектина происходит уплотнение пространственного каркаса студня, а соответственно и частиц порошка, что приводит к увеличению числа и росту прочности индивидуальных контактов частиц как со структурами пектина, так и между собой. Кроме того, частицы порошка, расположенные в поверхностных слоях конфетного корпуса, могут выступать в роли дополнительных центров кристаллизации и способствовать образованию более толстой кристаллической корочки. Описанные явления в комплексе и могут вызывать общий рост прочности желеино-сбивного студня.

В процессе производства комбинированных *желеино-сбивных конфет* на стадии формования, как описывалось выше, и при хранении возникают проблемы при взаимодействии совмещённых полуфабрикатов, отличающихся по физико-химическим и реологическим свойствам, несмотря на одинаковое содержание влаги и студнеобразную консистенцию, что теоретически позволяет рекомендовать сбивные и желеино-сбивные массы для комбинирования.

По результатам экспериментальных исследований установлено, что в течение периода хранения характер изменения массовой доли влаги желеино-сбивных слоёв комбинированного корпуса аналогичен наблюдаемому для контрольных образцов желеино-сбивных конфет. Это, в свою очередь, подтверждает предположение об исклю-

чении миграции влаги между слоями при совмещении двух полуфабрикатов с одинаковым влагосодержанием.

Благодаря пористой структуре сбивные массы обладают высокой влагонепроводностью, поэтому процесс высыхания конфет на их основе протекает значительно быстрее, чем жележных. Так, массовая доля влаги жележного слоя в образцах конфет с комбинированными жележно-сбивными корпусами снижается в течение 4 месяцев на 34%, а сбивного слоя – на 40% (рис. 6.24).

В процессе хранения вместе с молекулами воды происходит массоперенос молекул сахарозы, их концентрирование, образование и рост центров кристаллизации, в результате чего на поверхности сбивного, а затем и жележного слоёв образуется кристаллическая корочка, что нарушает адгезионное взаимодействие и приводит к расслоению корпуса.

Замедление скорости кристаллизации возможно посредством снижения скорости диффузии молекул к центрам кристаллизации при увеличении вязкости растворов, например при увеличении доли патоки по сравнению с сахаром, использовании высокоосахаренной патоки вместо низкоосахаренной, входящей в состав классической рецептуры сбивных масс. В этом случае повышение содержания редуцирующих веществ, замедляя процесс кристаллизации, приводит к синерезису.

При введении сухого овощного порошка в сбивной слой увеличивается общее содержание сухих веществ, пена становится высококонцентрированной, что служит основной причиной уменьшения скорости синерезиса, вследствие сужения каналов и увеличения шероховатости их стенок. Волокна овощного порошка, образуя своеобразный каркас,

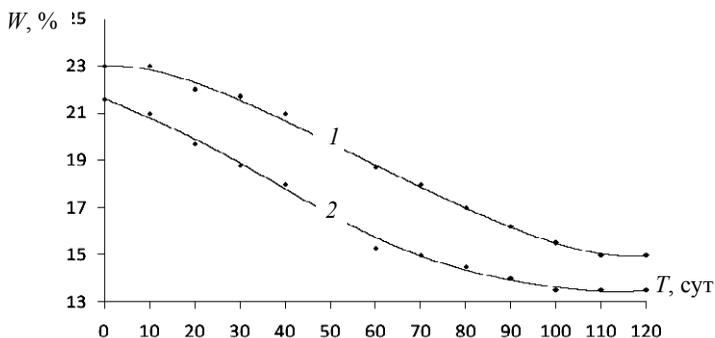


Рис. 6.24. Изменение массовой доли влаги слоев комбинированного корпуса в процессе хранения:

1 – жележный слой; 2 – сбивной слой

выступают в роли дополнительных структурообразователей. Упругие стенки каркаса препятствуют коалесценции газовых пузырьков, повышается формоудерживающая способность.

Установлено, что при добавлении от 2 до 10% овощного порошка в сбивной слой в сухом виде снижение массовой доли влаги корпусом происходит менее интенсивно (рис. 6.25).

В течение 5 месяцев хранения потеря влаги сбивным слоем, содержащим морковный порошок, по сравнению с контролем в 3 раза меньше, что подтверждает целесообразность использования порошка как влагоудерживающей добавки.

Сохранение структуры и консистенции конфет в процессе хранения зависит от количественного содержания влаги и её состояния, степень которого оценивается показателем активности воды, описывающем термодинамическое состояние воды в системе.

Показатель активности воды используется в пищевой промышленности для характеристики стабильности, безопасности продукта и прогнозирования сроков годности. Снижение этого показателя является эффективным средством для предупреждения микробиологической порчи и целого ряда химических реакций, снижающих качество пищевых продуктов при хранении [116].

Кроме этого, различие в значениях активности воды между слоями, составляющими комбинированный корпус, или между корпусом и окружающей его средой, приводит к перемещению (миграции)

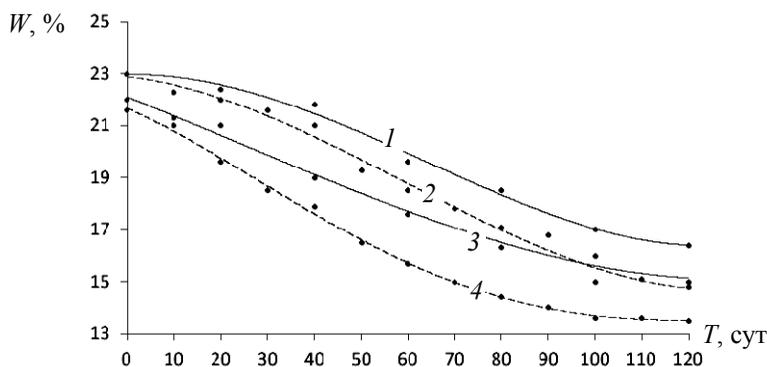


Рис. 6.25. Изменение массовой доли влаги слоёв комбинированного корпуса:

сбивной слой 1 – при добавлении 10% тыквенного порошка; 3 – контрольный образец; железный слой 2 – при добавлении 3% тыквенного порошка; 4 – контрольный образец

влаги в продукте. При проектировании сложных кондитерских изделий знание о том, будет ли компонент поглощать или отдавать влагу важно для предотвращения ухудшения свойств продукта (уплотнения или хрупкости структуры) в течение срока годности, в особенности, если один из компонентов чувствителен к воздействию влаги.

Если два компонента с разными показателями активности воды, но одинаковым содержанием влаги в них приводятся в соприкосновение, то вода будет мигрировать между ними, пока не наступит равновесие в значениях активности воды. Таким образом, для предотвращения перемещения влаги в мультикомпонентном продукте необходимо, чтобы активность воды компонентов его составляющих была примерно близка. Влага будет перемещаться от компонента с более высокой активностью воды (сбивной слой) к компоненту, имеющему более низкую активность воды (желейный слой) [115].

Добавление овощных порошков, гидрофильных коллоидов с высокой степенью дисперсности и большой поверхностью раздела в конфетную массу приводит к появлению избыточной энергии внутри массы и на её поверхности, сопровождающейся процессами сорбции.

Овощные порошки обладают высокой гигроскопичностью. Адсорбционно связанная влага, особенно первый слой молекул – мономолекулярный слой, является наиболее прочно связанной с веществом. При образовании мономолекулярного слоя происходит выделение теплоты адсорбции, что связано с уменьшением поверхностной энергии системы и сжатие объёма (явление контракции – объём набухшего тела меньше суммы объёмов материала и поглощённой влаги) [44]. Порошки из растительного сырья прочно связывают имеющуюся в свежеприготовленном продукте воду, тем самым предотвращают её миграцию, замедляют испарение и снижают активность воды. При этом значения показателей активности сбивной массы приближаются к показателям желеиноного слоя.

Характер зависимостей различен для сбивного и желеиноного слоёв, что объясняется различной структурой студней. Изделия с хорошо связанной влагой имеют мягкую консистенцию и при этом прочную структуру, снижается влажность поверхности сбивного слоя, при этом увеличивается адгезия между слоями и к глазури.

Процесс сорбции влаги в конфетных массах характеризуется S-образными кривыми (рис. 6.26), характер которых зависит от вида связи влаги с материалом. Сначала в области меньших значений активности воды влага связана мономолекулярной адсорбцией, при сушке не удаляется. На среднем участке происходит полимолекулярная

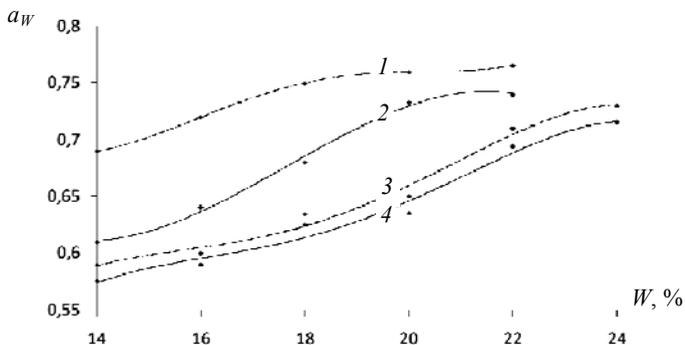


Рис. 6.26. Изотерма сорбции влаги:

a – сбивной массы: 1 – без добавок; 2 – с введением 10% морковного порошка; b – желейной массы: 3 – без добавок; 4 – с введением 3% тыквенного порошка

адсорбция. В дальнейшем изотерма плавно переходит к пологой кривой, наклонённой к оси абсцисс, что соответствует переходу к осмотически и капиллярно-связанной влаге. На пологом участке происходит поглощение воды макрокапиллярами при непосредственном соприкосновении продукта с водой.

В результате проведённых исследований подтверждается целесообразность введения овощного порошка в сухом виде в сбивной и желейный слои комбинированных желейно-сбивных конфет. Полученные образцы характеризуются стабильными качественными показателями в течение 4 месяцев хранения без расслоения корпуса и с незначительным изменением структуры.

На хранение были заложены образцы двух видов пряников «Подмосковные» и «Топлёное молоко» в двух видах упаковки: полиэтилен высокого давления (ПЭВД) и полиэтилен низкого давления (ПЭНД), а также образцы пряников без упаковки. Упаковка осуществлялась путём помещения образцов пряников в количестве 0,5 кг в пакеты из соответствующей плёнки с последующим помещением их в картонные коробки.

Стабильность качественных характеристик оценивалась по следующим показателям: органолептические, физико-химические, структурно-механические.

Качественные показатели определялись при температурах (10 ± 2) , (20 ± 2) и (30 ± 2) °C через один день после приготовления и через каждые две недели в течение 5 месяцев.

Для определения изменения структурно-механических характеристик пряников в процессе хранения было произведено измерение на-

пряжения сдвига – сопротивления продукта действию касательной составляющей приложенной силы, равному отношению этой силы к поверхности сдвига. Минимальная сила, необходимая для осуществления сдвига (перемещение слоёв на площади сдвига), определяется величиной предельного напряжения сдвига. По результатам эксперимента, отображённым в табл. 6.6 и 6.7, на рис. 1 и 2 видно, что предельное напряжение сдвига или пластическая прочность исследуемых образцов пряников увеличивается. К окончанию срока хранения данная величина достигает в среднем 300...700% от начального значения, т.е. пряники приобретают более твёрдую консистенцию. Данный факт объясняется процессами черствения, происходящими в продукте в результате испарения влаги.

Как видно из таблиц, структурно-механические свойства сохраняются лучше при пониженных температурах, лучшие результаты были получены при хранении образцов пряников в упаковке при 0 °С, с повышением температуры показатели ухудшаются, что свидетельствует о повышении интенсивности процесса черствения пряников.

6.6. Изменение пластической прочности (кПа) пряников «Подмосковные» в процессе хранения

Месяц	Тип упаковки и температурный режим					
	ПЭВД			ПЭНД		
	10 °С	20 °С	30 °С	10 °С	20 °С	30 °С
0	167,40	167,40	167,40	167,40	167,40	167,40
0,5	174,00	243,60	382,54	198,36	275,27	364,82
1	188,00	263,20	413,32	214,32	297,42	415,72
1,5	206,00	288,40	464,81	234,84	331,66	455,53
2	255,00	357,00	618,63	290,70	410,55	563,88
2,5	303,00	424,20	735,08	345,42	487,83	670,02
3	342,00	478,80	822,60	389,88	550,62	756,26
3,5	389,00	544,60	935,65	443,46	626,29	860,20
4	426,00	596,40	1024,64	485,64	685,86	942,01
4,5	464,00	649,60	1116,04	528,96	747,04	1026,04
5	493,00	690,20	1185,79	562,02	793,73	1090,17

**6.7. Изменение пластической прочности (кПа) пряников
«Топлёное молоко» в процессе хранения**

Месяц	Тип упаковки и температурный режим					
	ПЭВД			ПЭНД		
	10 °С	20 °С	30 °С	10 °С	20 °С	30 °С
0	167,40	167,40	167,40	167,40	167,40	167,40
0,5	198,36	287,62	382,54	226,13	339,39	462,87
1	214,32	310,76	413,32	244,32	366,70	562,11
1,5	241,02	349,48	464,81	274,76	412,39	632,14
2	298,35	432,61	618,63	340,12	510,48	686,68
2,5	354,51	514,04	735,08	404,14	606,57	815,93
3	396,72	575,24	822,60	452,26	678,79	913,08
3,5	451,24	654,30	935,65	514,41	772,07	1038,57
4	494,16	716,53	1024,64	563,34	845,51	1137,35
4,5	538,24	780,45	1116,04	613,59	920,93	1238,81
5	571,88	829,23	1185,79	651,94	978,49	1316,23

У пряников, хранившихся в упаковке из ПЭВД, показатели значительно лучше, чем у изделий, хранившихся в упаковке из ПЭНД (табл. 6.6 и 6.7). Пластическая прочность пряников, хранившихся без упаковки, в несколько раз превышает показатели пряников, хранившихся в упаковке при прочих равных условиях. Результаты проведённых исследований позволяют рекомендовать плёнку из ПЭВД в качестве упаковочного материала для пряников.

Таким образом, очевидна необходимость применения упаковочных материалов, при использовании которых наблюдается стабильность структурно-механических свойств кондитерских изделий. При этом требуется проведение дополнительных исследований влияния упаковочных материалов и способа упаковки на другие потребительские характеристики кондитерских изделий.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Реологические показатели сырья, полуфабрикатов и готовой продукции характеризуют комплекс технологических и потребительских свойств и относятся к важнейшим физико-химическим показателям, определяющим качество кондитерских масс и особенности технологических процессов их переработки. В монографии предпринята попытка обобщения результатов исследований реологического поведения кондитерских масс, проведённых авторами и представленных в научных публикациях. Термин «кондитерские массы» используется авторами в широком смысле и включает сырьё, полуфабрикаты и готовые изделия.

В настоящее время практически ни одна публикация, посвящённая разработке новых видов кондитерских изделий и технологии их производства, не обходится без приведения результатов реологических исследований. Консистенция и структура являются важнейшими потребительскими характеристиками кондитерских изделий, и их инструментальная оценка методами реологии позволяет дать объективную оценку качества продукта. Изучение реологических характеристик перерабатываемого сырья и полуфабрикатов на каждом этапе технологического цикла позволит создать базу данных, необходимую для проектирования кондитерских изделий с заданными структурно-механическими характеристиками и научного обоснования способов их производства для обеспечения протекания технологических процессов и оптимизации работы оборудования. Это позволит управлять структурно-механическими характеристиками и качеством продуктов путём внесения добавок, изменения режимов и способов механической и технологической обработки.

Проведённый анализ информационных источников позволил авторам систематизировать обширный материал, посвящённый изучению реологического поведения различных видов кондитерских масс. Однако, в связи с многообразием сырья, полуфабрикатов и готовых изделий и недостаточной полнотой изученности реологических свойств не представляется возможным в рамках одной монографии показать полную картину реологии кондитерских масс.

Надеемся, что представленные в монографии систематизированные материалы по реологии кондитерских масс, математическому моделированию реологического поведения полуфабрикатов и готовых изделий, технологическим аспектам использования результатов реологических исследований для обоснования способов и режимов производства будут полезны как для научных сотрудников, так и для специалистов кондитерской отрасли.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Адлер, Ю. П.** Планирование эксперимента при поиске оптимальных решений [Текст] / Ю. П. Адлер, Е. В. Маркова, Ю. В. Грановский. – Москва : «Наука», 1971. – 283 с.

2. **Аmineва, И. Я.** Разработка рецептур и совершенствование технологии вафельных изделий функционального назначения: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 09.09.10 / И. Я. Аминаева. – Краснодар, 2010. – 24 с.

3. **Алет, Т. К.** Технологии и рецептуры [Текст] : справочник кондитера / Т. К. Алет, З. Н. Пашук. – Москва, 2000. – Т. 1. – 712 с.

4. **Арет, В. А.** Реологические основы расчёта оборудования для производства жиросодержащих пищевых продуктов [Текст] / В. А. Арет, Б. Л. Николаев, Г. К. Забровский, Л. К. Николаев. – Санкт-Петербург : Изд-во СПбГУН и ПТ, 2007. – 272 с.

5. **Арсанукаев, И. Х.** Разработка технологии мармеладных изделий повышенной пищевой ценности увеличенного срока годности [Текст] : автореф. дис. ... канд. техн. наук / И. Х. Арсанукаев. – Воронеж, 2010. – 25 с.

6. **Астрединова, В. В.** Разработка технологий пищекоцентрагов из сахарной свёклы и кондитерских изделий на их основе [Текст] : дис. ... канд. техн. наук: 05.18.01 / В. В. Астрединова. – Воронеж, 2010. – 254 с.

7. **Ахназарова, С. Л.** Методы оптимизации эксперимента в химической технологии [Текст] : учеб. пособие хим.-технол. спец. вузов / С. Л. Ахназарова, В. В. Кафарова. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва : Высш. школа, 1985. – 328 с.

8. **Баранов, Л. Т.** Нечёткие множества в экспертном опросе [Текст] / Л. Т. Баранов, А. И. Птушкин, А. В. Трудов // Социология: методология, методы, математические модели. – 2004. – № 19. – С. 142 – 156.

9. **Бартенев, Г. М.** Прочность и разрушение высокоэластичных материалов [Текст] / Г. М. Бартенев, Ю. С. Зуев. – Москва : Химия, 1964. – 388 с.

10. **Безуглая, И. Н.** Разработка технологии и рецептур пряников, обогащённых фитодобавками [Текст] : автореф. дис. ... канд. техн. наук / И. Н. Безуглая. – Краснодар, 2007. – 24 с.

11. **Белокрылов, Ю. Ф.** Вискозиметрия сбивных конфетных масс [Текст] / Ю. Ф. Белокрылов, С. М. Калинина, А. М. Ломкин, Ю. А. Мачихин // Кондитерское производство. – 2005. – № 4. – С. 43–44.

12. **Березовский, М. Ю.** Теоретический анализ процесса взбивания пенообразных кондитерских масс в роторном эмульсаторе ШЗД [Текст] / Ю. М. Березовский // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2005. – № 5. – С. 12 – 14.

13. **Берлин, А. А.** Основы адгезии полимеров [Текст] / А. А. Берлин, В. Е. Басин. – Москва : Химия, 1969. – 320 с.

14. **Бухтоярова, З. Т.** Изменение свойств пастилы профилактического назначения при хранении [Текст] / З. Т. Бухтоярова, М. Ю. Тамова, Г. М. Зайко // Известия вузов. Пищевая технология. – 1994. – № 1–2. – С. 36–37.

15. **Бывальцев, А. И.** Практикум по курсу «Моделирование и оптимизация технологических процессов отрасли» [Текст] : учеб. пособие / А. И. Бывальцев, Н. М. Дерканосова, А. А. Журавлев. – Воронеж : ВГТА, 2004. – 140 с.

16. **Вайншенкер, Т. С.** Разработка технологии печенья с использованием модифицированных жиров [Текст] : автореф. дис. ... канд. техн. наук / Т. С. Вайншенкер. – Москва, 2008. – 26 с.

17. **Воронцова, О. С.** Влияние фосфолипидной БАД Витол на формирование потребительских свойств вафель / О. С. Воронцова // Известия вузов. Пищевая технология. – 2006. – № 2–3. – С. 22 – 24.

18. **Виноградов, Г. В.** Реология полимеров [Текст] / Г. В. Виноградов, А. Я. Малкин. – Москва : Химия, 1977. – 440 с.

19. **Головачева, А. В.** Разработка технологий и рецептов сбивных кондитерских изделий с использованием пищевых волокон и лекарственных трав [Текст] : автореф. дис. ... канд. техн. наук / А. В. Головачева. – Москва, 2011. – 24 с.

20. **Горбатов, А. В.** Структурно-механические характеристики пищевых продуктов [Текст] / А. В. Горбатов, А. М. Маслов, Ю. А. Мачихин и др. ; под ред. А. В. Горбатова. – Москва : Легкая и пищевая промышленность, 1982. – 296 с.

21. **Гуль, В. Е.** Структура и прочность полимеров [Текст] / В. Е. Гуль. – Москва : Химия, 1978. – 328 с.

22. **Гуськов, К. П.** Реология пищевых масс [Текст] / К. П. Гуськов, Ю. А. Мачихин. – Изд-во : «Пищевая промышленность», 1970. – 280 с.

23. **Дерягин, Б. В.** Адгезия. Исследования в области прилипания и клеящего действия [Текст] / Б. В. Дерягин, Н. А. Кротова. – Москва : Академия наук СССР, 1949. – 256 с.

24. **Дворецкий, Д. С.** Расчёт и оптимизация процессов и аппаратов химических и пищевых производств в среде MatLab [Текст] : учеб.

пособие / Д. С. Дворецкий, А. А. Ермаков, Е. В. Пешкова / под ред. д-ра техн. наук, проф. С. И. Дворецкого. – Тамбов : Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2005. – 80 с.

25. **Дворецкий, С. И.** Исследование кинетики студнеобразования жележных масс с фитодобавками на основе пектина [Текст] / С. И. Дворецкий, Е. И. Муратова, Д. В. Леонов // Современное состояние и перспективы развития пищевой промышленности и общественного питания : сб. материалов IV Междунар. научн.-практ. конф. – Челябинск : ЮУрГУ, 2010. – С.

26. **Дворецкий, С. И.** Разработка модуля оптимизации рецептур продовольственных продуктов в составе автоматизированной информационной системы [Текст] / Е. И. Муратова, С. Г. Толстых, С. С. Толстых // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. – 2012. – № 3. – С. 59 – 64.

27. **Джабоева, А. С.** Создание технологий хлебобулочных, мучных кондитерских и кулинарных изделий повышенной пищевой ценности с использованием нетрадиционного растительного сырья [Текст] : автореф. дис. ... д-ра техн. наук / А. С. Джабоева. – Москва : МГУПП, 2009. – 30 с.

28. **Джабоева, А. С.** Влияние растительных добавок на качество бисквитных полуфабрикатов [Текст] / А. С. Джабоева, М. Ю. Тамова, З. С. Думанишева, А. С. Кабалоева, Л.Г. Шаова // Пищевая технология. – 2007. – № 5–6. – С. 46 – 48.

29. **Донченко, Л. В.** Технология пектина и пектинопродуктов [Текст] / Л. В. Донченко : учеб. пособие. – Москва : ДеЛи, 2000. – 256 с.

30. **Драгилев, А. И.** Производство мучных кондитерских изделий : учебник / А. И. Драгилев. – Москва : Дели, 2000. – 448 с.

31. **Дубкова, Н. З.** Непрерывная технология производства пищевых порошков из растительного сырья [Текст] / Н. З. Дубкова, Э. Х. Тухбиева // Известия ВУЗов. Пищевая технология. – 2010. – № 4. – С. 47 – 50.

32. **Евсюков, К. Н.** Получение и применение порошкообразного плавленого сыра в производстве кондитерских изделий [Текст] : автореф. дис. ... канд. техн. наук / К. Н. Евсюков. – Воронеж, 2006. – 26 с.

33. **Елизаров, И. А.** Математическое моделирование и оптимальное управление процессами растворения, выпаривания, кристаллизации (на примере приготовления конфетных масс) [Текст] : автореф. дис. ... канд. техн. наук / И. А. Елизаров. – Тамбов, 1999. – 16 с.

34. **Зимон, А. Д.** Коллоидная химия : учебник для вузов [Текст] / А. Д. Зимон, Н. Ф. Лещенко. – 3-е изд., доп. и исправл. – Москва : АГАР, 2001. – 320 с.

35. **Зимон, А. Д.** Адгезия пищевых масс [Текст] / А. Д. Зимон, А. М. Евтушенко. – Москва : ДеЛи принт, 2008. – 398 с.

36. **Зимон, А. Д.** Реология и адгезия конфетных масс / А. Д. Зимон, Г. А. Маршалкин // Хлебопекарная и кондитерская промышленность. – 1970. – № 12. – С. 14 – 16; 1974. – № 10. – С. 14 – 17.

37. **Золотин, А. Ю.** Влияние технологических параметров на текстуру функциональных продуктов для детей школьного возраста [Текст] / А. Ю. Золотин, С. В. Фелик, Т. А. Антипова, К. Н. Иванов // Пищевая промышленность. – 2010. – № 2. – С. 14–15.

38. **Зубченко, А. В.** Технология кондитерского производства [Текст] / А. В. Зубченко. – Воронеж : Воронеж. гос. технол. акад, 1999. – 432 с.

39. **Зубченко, А. В.** Влияние физико-химических процессов на качество кондитерских изделий [Текст] / А. В. Зубченко. – Москва : Агропромиздат, 1986. – 296 с.

40. **Иванова, Г. В.** Продукты переработки облепихи в производстве вафель [Текст] / Г. В. Иванова, Е. О. Никулина // Кондитерское производство. – 2004. – № 3. – С. 12–13.

41. **Иванова, Г. В.** Технология производства новых видов жележных масс с облепиховым шротом [Текст] / Г. В. Иванова, Е. О. Никулина // Вестник КрасГАУ. – 2005. – № 10. – С. 305 – 310.

42. **Ильина, И. А.** Научные основы технологии модифицированных пектинов [Текст] / И. А. Ильина. – Краснодар, 2001. – 312 с.

43. **Карушева, Н. В.** Технология производства конфет / Н. В. Карушева. – Москва : Агропромиздат, 1989. – 215 с.

44. **Киселева, Т. Ф.** Технология сушки : учебно-методический комплекс [Текст] / Т. Ф. Киселева. – Кемерово : Изд-во Кемеровского технологического института пищевой промышленности, 2007. – 117 с.

45. **Коновалова, М. Ю.** Реологические характеристики пряничного теста [Текст] / М. Ю. Коновалова, А. М. Евтушенко // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия «Процессы и аппараты пищевых производств». – 2013. – № 2(16).

46. **Корчагин, В. И.** Комплексное использование порошкообразных полуфабрикатов в производстве хлебобулочных изделий [Текст] / В. И. Корчагин, Г. О. Магомедов, Н. М. Дерканосова // Хлебопечение России. – 2000. – № 4. – С. 25–26.

47. **Косой, В. Д.** Инженерная реология биотехнологических сред / В. Д. Косой, Я. И. Виноградов, А. Д. Малышев. – Санкт-Петербург : ГИОРД, 2005. – 648 с.

48. **Карачанская, Т. А.** Разработка технологии пряничных изделий функционального назначения с использованием пищевых волокон и стевиозида [Текст] : автореф. дис. ... канд. техн. наук / Т. А. Карачанская. – Краснодар, 2011. – 24 с.

49. **Красина, И. Б.** Влияние CO₂-шротов в рецептуре заварных и сырцовых пряников на их потребительские свойства [Текст] / И. Б. Красина // Известия вузов. Пищевая технология. – 2007. – № 6. – С. 37–38.

50. **Красина, И. Б.** Роль пищевых волокон в формировании качества вафель / И. Б. Красина // Известия вузов. Пищевая технология. – 2009. – № 4. – С. 44–45.

51. **Латкина, Н. Н.** Использование нетрадиционных видов сырья в производстве вафельных изделий / Н. Н. Латкина // Известия вузов. Пищевая технология. – 2003. – № 6. – С. 20 – 23.

52. **Леонов, Д. В.** Разработка рецептур и совершенствование технологии жележных конфет функционального назначения [Текст] : автореф. дис. ... канд. техн. наук / Д. В. Леонов. – Тамбов, 2011. – 20 с.

53. **Леонов, Д. В.** Моделирование и оптимизация реологических свойств жележных полуфабрикатов [Текст] / Д. В. Леонов, Е. И. Муратова, С. И. Дворецкий // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В. И. Вернадского. – 2011. – № 3. – С. 378 – 383.

54. **Леонов, Д. В.** Использование результатов реологических исследований при разработке новых видов жележных конфет [Текст] / Д. В. Леонов, Е. И. Муратова // Известия ВУЗов. Пищевая технология. – 2011. – № 4(322). – С. 47 – 50.

55. **Линовская, Н. В.** Разработка рациональной технологии производства кондитерских глазурей с заданными показателями качества [Текст] : автореф. дис. ... канд. техн. наук / Н. В. Линовская. – Москва, 2012. – 25 с.

56. **Лурье, И. С.** Технология и технохимический контроль кондитерского производства : учебник / И. С. Лурье. – Москва : Легкая и пищевая промышленность, 1981. – 328 с.

57. **Лазарева, Т. Н.** Разработка технологии бисквитного полуфабриката [Текст] : автореф. дис. ... канд. техн. наук / Т. Н. Лазарева. – Орел. – 2012. – 20 с.

58. **Магомедов, Г. О.** Научный вклад кафедры технологии хлебопекарного, макаронного и кондитерского производств ВГТА в развитие отрасли [Текст] / Г. О. Магомедов // Известия вузов. Пищевая технология. – 2010. – № 4. – С. 6 – 10.

59. **Магомедов, Г. О.** Использование продукта переработки топлинмбура в производстве помадных конфет [Текст] / Г. О. Магомедов, М. Г. Магомедов, В. В. Астрединова, Н. И. Мусаев, А.А. Литвинова // Технологии и оборудование химической, биотехнологической и пищевой промышленности : материалы 5-й Всерос. науч.-практ. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых с международным участием Бийск : Изд-во Алт. гос. техн. ун-та, 2012. – С. 46 – 49.

60. **Магомедов, Г. О.** Моделирование и оптимизация структурно-механических свойств мармелада [Текст] / Г. О. Магомедов, И. Х. Арсанукаев, А. А. Журавлев, А. Я. Олейникова, Л.А. Лобосова // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2009. – № 12. – С. 35 – 38.

61. **Магомедов, Г. О.** Использование поваренной соли в производстве помадных конфет / Г. О. Магомедов, Т. Н. Мирошникова, О. В. Абдулгалимова // «Высокоэффективные пищевые технологии, методы и средства для их реализации» : сб. докл. Всерос. научн.-техн. конференции-выставки. – Москва, 2004. – Ч. 1. – С. 51–52.

62. **Магомедов, Г. О.** Научные основы порошковой технологии пищевых продуктов [Текст] : автореф. дис. ... д-ра техн. наук / Г. О. Магомедов. – Воронеж, 1996. – 35 с.

63. **Магомедов, Г. О.** Сахарное печенье на основе мучных композитных смесей [Текст] / Г. О. Магомедов, А. Я. Олейникова, Е. В. Шкалова // Кондитерское производство. – 2006. – № 11. – С. 8–9.

64. **Мартьянова, А.** Пищевые ингредиенты [Текст] / А. Мартьянова, Е. Мелешкина // Хлебопродукты. – 2003. – № 4. С. 18 – 22.

65. **Маршалкин, Г. А.** Технология кондитерских изделий : учебник / Г. А. Маршалкин – Москва : Агропромиздат, 1978. – 445 с.

66. **Матвеева, Т. В.** Физиологически функциональные пищевые ингредиенты для хлебобулочных и кондитерских изделий : монография / Т. В. Матвеева, С. Я. Корячкина. – Орёл : ФГБОУ ВПО «Госуниверситет – УНПК», 2012. – 947 с.

67. **Матвеевко, В. Н.** Вязкость и структура дисперсных систем [Текст] / В. Н. Матвеевко, Е. А. Кирсанов // Вестник Московского Университета. – Москва : Химия, 2011. – Т. 52, № 4.

68. **Мачихин, Ю. А.** Формование пищевых масс [Текст] / Ю. А. Мачихин, Ю. К. Берман, Ю. В. Клаповский. – Москва : Колос, 1992. – 272 с.

69. **Мачихин, Ю. А.** Релаксация давления в тестовых и конфетных массах при объёмном нагружении / Ю. А. Мачихин, Ю. Ф. Бело-

крылов, С. М. Калинина // Известия вузов. Пищевая технология. – 2005. – № 2–3. – С. 84 – 87.

70. **Муратова, Е. И.** Обоснование режимов производства новых видов конфет по результатам исследований реологических свойств конфетных масс [Текст] / Е. И. Муратова, П. М. Смолихина, Н. В. Донских // Вопросы современной науки и практики. – 2009. – № 1 (15).

71. **Муратова, Е. И.** Автоматизированное проектирование сложных многокомпонентных продуктов питания [Текст] : учеб. пособие / Е. И. Муратова, С. Г. Толстых, С. И. Дворецкий, О. В. Зюзина, Д. В. Леонов. – Тамбов : Изд-во ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2011. – 80 с.

72. **Муратова, Е. И.** Определение температурных режимов при производстве новых видов конфет [Текст] / Е. И. Муратова, П. М. Смолихина, Д. В. Леонов // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – Тамбов : ТГТУ, 2008. – Т. 14, № 3. – С. 667 – 669.

73. **Муратова, Е. И.** Разработка рецептур кремово-сбивных конфет функционального назначения [Текст] / Е. И. Муратова, П. М. Смолихина, Н. В. Донских // Фундаментальные и прикладные исследования, инновационные технологии, профессиональное образование : сб. научн. ст. XIII научн. конф. ТГТУ. – Тамбов : Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та 2008. С. 127 – 131.

74. **Муратова, Е. И.** Проектирование рецептур кондитерских изделий функционального назначения [Текст] / Е. И. Муратова, П. М. Смолихина, Н. В. Донских // Инновационные технологии переработки сельскохозяйственного сырья в обеспечении качества жизни: наука, образование и производство : материалы Междунар. научн.-техн. конф. – Воронеж : Изд-во Воронеж. гос. технол. акад., 2008. – С. 220 – 223.

75. **Налимов, В. В.** Статистические методы планирования экстремальных экспериментов [Текст] / В. В. Налимов, Н. А. Чернова. – Москва : Наука, 1965. – 340 с.

76. **Негматуллоева, Р. Н.** Разработка способов получения и применения порошков из дикорастущего шиповника Таджикистана в производстве восточных сладостей [Текст] : дис. ... канд. техн. наук / Р. Н. Негматуллоева. – Москва, 2011. – 25 с.

77. **Николаева С. В.** Разработка моделей рецептурных смесей пищевых продуктов в условиях информационной неопределенности [Текст] : дис. ... канд. техн. наук / С. В. Николаева. – Москва, 2003. – 165 с.

78. **Обозняя, В. А.** Влияние фитодобавок на реологические свойства мармеладных масс [Текст] / В. А. Обозняя, И. Б. Красина,

Ю. Ф. Росляков // Известия вузов. Пищевая технология. – 2003. – № 5–6. – С. 58–59.

79. **Оболкина, В. И.** Научное обоснование технологий комбинированных изделий [Текст] / В. И. Оболкина // Кондитерское производство. – 2008. – № 1. – С. 47–49.

80. **Оболкина, В. И.** Разработка рациональной технологии сложных мучных кондитерских изделий, формуемых методом экструзии, на примере песочных пирожных с начинками [Текст] : дис. ... канд. техн. наук / В. И. Оболкина. – Киев, 1990. – 17 с.

81. **Оболкина, В. И.** Формование комбинированных кондитерских изделий [Текст] / В. И. Оболкина, Л. Н. Лебедева, Н. О. Залевская // Продукты & Ингредиенты. – 2008. – № 8(50). – С. 36–37.

82. **Овсюк, Т. И.** Новые технологии сбивных кондитерских изделий на пектинах [Текст] / Т. И. Овсюк, Г. Н. Игнатьева // Пищевая промышленность. – 1997. – № 9. – С. 8–9.

83. **Овчинников, П. Ф.** Реология тиксотропных систем [Текст] / П. Ф. Овчинников, Н. Н. Круглицкий, Н. В. Михайлов. – Киев : Наукова думка, 1972. – 122 с.

84. **Павлова, И. В.** Перспективные направления в области получения жиров для кондитерской отрасли [Текст] / И. В. Павлова // Четвертая Междунар. конф. «Кондитерские изделия XXI века». – Москва, 2002.

85. **Падохин, В. А.** Физико-механические свойства сырья и пищевых продуктов : учеб. пособие [Текст] / В. А. Падохин, Н. Р. Кокина. – Иван. гос. хим. -технол. ун-т., Институт химии растворов РАН. – Иваново. 2007. – 128 с.

86. **Папков, С. П.** Студнеобразное состояние полимеров [Текст] / С. П. Папков. – Москва : Химия, 1974. – 256 с.

87. **Пат. 1829909А3 СССР**, А 23 L 1/06. Способ производства желейного мармелада / Л. И. Карнаушенко, Л. Н. Пилипенко, Л. В. Гордиенко, Л. Г. Живолук ; заявитель и патентообладатель Одесский технологический институт пищевой промышленности им. М. В. Ломоносова. – № 5014390/13 ; заявл. 11.08.91 ; опубл. 23.07.93, Бюл. № 27. – 5 с.

88. **Пат. 2160011 РФ**, МПК 7 А23G3/00. Способ производства сахаристых кондитерских изделий [Текст] / З. Г. Скобельская, А. И. Драгилев, И. А. Самылина, Е. В. Сергунова ; заявитель и патентообладатель Московский государственный университет пищевых производств. – № 2000108272/13 ; заявл. 06.04.2000 ; опубл. 10.12.2000.

89. **Пат. 2137373 РФ**, МПК 6 А21D2/38, А23L1/48. Пищевая биологически активная добавка и сухая смесь для приготовления диетиче-

ских мучных изделий на ее основе [Текст] / А. Н. Гребеньков ; заявитель и патентообладатель Гребеньков Андрей Николаевич. – № 98117376/13 ; заявл. 22.09.1998 ; опубл. 20.09.1999.

90. **Пат. 2392822 РФ**, МПК А23L 3/00; А23В 7/08. Способ производства конфет со сбивными корпусами [Текст] / Е. И. Муратова, А. А. Саликов, П. М. Смолихина, Н. В. Донских ; заявитель и патентообладатель Тамб. гос. техн. ун-т ; заявл. 13.10.08 ; опубл. 20.04.10, Бюл. № 2.

91. **Пат. 2409215 РФ**, МПК А23G3/00. Способ производства желейных конфет с фитодобавками [Текст] / Е. И. Муратова, Д. В. Леонов, П. М. Смолихина ; заявитель и патентообладатель Тамб. гос. техн. ун-т; заявл. № 2009128281 от 21.07.09 ; опубл. 20.01.11, Бюл. № 2.

92. **Пат. 2454078 РФ**, МПК А23G3/00. Способ производства конфет с комбинированными помадно-желейными корпусами [Текст] / Е. И. Муратова, Д. В. Леонов, П. М. Смолихина ; заявитель и патентообладатель Тамб. гос. техн. ун-т. ; заявл. № 2010154781/13 от 30.12.2010 ; опубл. 27.06.2012, Бюл. 18.

93. **Пат. 2402915 РФ**, МПК А23L 3/00; А23В 7/08. Способ производства помадных конфет с фитодобавками [Текст] / Е. И. Муратова, П. М. Смолихина Д. В. Леонов ; заявитель и патентообладатель Тамб. гос. техн. ун-т. заявл. 21.07.09 ; опубл. 10.11.10, Бюл. № 31.

94. **Пат. 1837780 РФ**, МПК А21D 13/08, А3. Состав для приготовления печенья [Текст] / Т. В. Парфенова, А. А. Кудряшева, Е. А. Платова, Л. А. Скаскевич. – № 5024906/13 ; заявл. 30.01.1992 ; опубл. 30.08.1993.

95. **Пат. 2242519 РФ**, МПК С13F3/00, В65G3/00, А23L1/09. Способ предотвращения комкования сахарного песка [Текст] / М. Ю. Жаринов. – № 2003116578/13 ; заявл. 04.06.2003 ; опубл. 20.12.2004.

96. **Пашенко, В. Л.** Плоды боярышника – перспективный ингредиент в технологии производства бисквита [Текст] / В. Л. Пашенко, Т. Ф. Ильина, Т. И. Ермоленко // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2010. – № 3. – С. 56–57.

97. **Перфилова, О. В.** Разработка технологии производства фруктовых и овощных порошков для применения их в изготовлении функциональных мучных кондитерских изделий [Текст] : дис. ... канд. техн. наук / О. В. Перфилова. – Москва, 2009. – 26 с.

98. **Петрянина, Т. А.** Формирование потребительских характеристик кондитерских изделий на основе изомальтулозы [Текст] : дис. ... канд. техн. наук / Т. А. Петрянина. – Москва, 2012. – 22 с.

99. **Петриченко, В. В.** Разработка технологии глазури функционального назначения для кондитерских изделий с использованием рас-

тительных порошков [Текст] : дис. ... канд. техн. наук / В. В. Петриченко. – Москва, 2010. – 24 с.

100. **Подготовка** кондитерского сырья к производству (мука) [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.baker-group.net>. Дата обращения: 30.11.2013.

101. **Полунин, Е. Г.** О применении полидекстрозы и бетаина в производстве мармеладно-пастильных изделий [Текст] / Е. Г. Полунин, О. Г. Шубина // Кондитерское производство. – 2011. – № 6. – С. 12 – 15.

102. **Полунин, Е. Г.** Влияние полидекстрозы на структурные свойства мармеладных масс [Текст] / Е. Г. Полунин, О. Г. Шубина // Известия ВУЗов. Пищевая технология. – 2010. – № 2–3. – С. 22 – 24.

103. **Попов, В. С.** Использование комбинаций сахарозаменителей для создания диетических вафельных изделий [Текст] / В. С. Попов, О. А. Тимошенко, В. Н. Красильников // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2009. – № 9. – С. 50 – 53.

104. **Поциус, А.** Клеи, адгезия, технология склеивания [Текст] / А. Поциус ; пер. с англ. под ред. Г. В. Комарова. – Санкт-Петербург : Профессия, 2007. – 376 с.

105. **Просеков, А. Ю.** Влияние технических характеристик роторно-пульсационного аппарата на структуру взбитого продукта [Текст] / А. Ю. Просеков, Е. В. Строева, Т. Л. Остроумова // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2005. – № 5. – С. 61 – 63.

106. **Ребиндер, П. А.** Поверхностные явления в дисперсных системах. Коллоидная химия : избранные труды / П. А. Ребиндер. – Москва : Наука, 1978. – 368 с.

107. **Рейнер, М. Н.** Реология / М. Н. Рейнер. – Москва : Наука, 1965. – 224 с.

108. **Реологические** кривые жидко- и твердообразных структурированных дисперсных систем [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.ximuk.ru>. Дата обращения: 03.11.2013.

109. **Рудометова, Н. В.** Комплексные пищевые добавки для получения вязких, гелеобразных пищевых продуктов и напитков [Текст] / Н. В. Рудометова // Инновационные технологии в пищевой промышленности : материалы VIII Междунар. научн.-практ. конф. РУП «Науч.-практ. центр Нац. акад. наук Беларуси по продовольствию». – Минск : ИВЦ Минфина, 2009. – С. 37 – 45.

110. **Савенкова, Т. В.** Научные принципы создания технологии функциональных кондитерских изделий [Текст] : дис. ... д-ра техн. наук / Т. В. Савенкова. – Москва, 2006. – 59 с.

111. **Сергеева, Н. К.** Снижение кристаллизации сахарозы ферментативным гидролизом сахара в производстве сбивных конфет [Текст] / Н. К. Сергеева, Ю. В. Лосева // Кондитерское производство. – 2010. – № 6. – С. 23–24.

112. **Сергеева, О. А.** Разработка технологии комплексного порошкообразного обогатителя и кондитерских изделий повышенной пищевой ценности на его основе [Текст] : дис. ... канд. техн. наук / О. А. Сергеева. – Воронеж, 2009. – 23 с.

113. **Сквиря, М. А.** Разработка технологии помадных конфет с использованием листьев грецкого ореха [Текст]: дис. ... канд. техн. наук / М. А. Сквиря. – Краснодар, 2008. – 24 с.

114. **Скобельская, З. Г.** Технология производства сахарных кондитерских изделий [Текст] / З. Г. Скобельская, Г. Н. Горячева. – Москва : ИРПО, 2002. – 416 с.

115. **Смолихина, П. М.** Изучение адгезионных свойств конфетных масс для обоснования способов формования конфет с комбинированными корпусами [Текст] / П. М. Смолихина, Е. И. Муратова // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. – 2012. – № 3.

116. **Стеле, Р.** Срок годности пищевых продуктов: расчёт и испытание [Текст] / Р. Стеле ; пер. с англ. В. Широкова ; под общ. ред. Ю. Г. Базарновой. – Санкт-Петербург : Профессия, 2006. – 480 с.

117. **Студенникова, О. Ю.** Технология зефира с применением сухой пшеничной клейковины [Текст] : дис. ... канд. техн. наук / О. Ю. Студенникова. – Москва, 2011. – 25 с.

118. **Струпан, Е. А.** Разработка технологии и ассортимента кондитерских изделий и отделочных полуфабрикатов для диетического и лечебно-профилактического питания с использованием функциональных ингредиентов дикорастущего сырья [Текст] : дис. ... канд. техн. наук / Е. А. Струпан. – СПб., 2002. – 27 с.

119. **Тарасенко, Н. А.** Разработка технологии вафель функционального назначения с использованием стевиозида [Текст] : дис. ... канд. техн. наук / Н. А. Тарасенко. – Краснодар, 2010. – 23 с.

120. **Темников, А. В.** Совершенствование технологии помадных конфет функционального назначения с использованием фитодобавок [Текст] : дис. ... канд. техн. наук / А. В. Темников. – Краснодар, 2011. – 22 с.

121. **Технология** приготовления мучных кондитерских изделий [Электронный ресурс]. Режим доступа : <http://www.msd.com>. Дата обращения: 24.12.2013.

122. **Тихомиров, В. Б.** Планирование и анализ эксперимента (при проведении исследований в легкой и текстильной промышленности) [Текст] / В. Б. Тихомиров. – Москва : Легкая индустрия, 1974. – 262 с.
123. **Урьев, Н. Б.** Пищевые дисперсные системы. Физико-химические основы интенсификации технологических процессов / Н. Б. Урьев, М. А. Талейсник. – Москва : Агропромиздат, 1985. – 295 с.
124. **Полуфабрикаты** лекарственных трав в производстве кондитерских изделий [Текст] / Б. А. Фалькович, Г. О. Магомедов, Т. Н. Мирошникова и др. – Воронеж : ВГТА, 2001. – 112 с.
125. **Фиалков, Л. И.** Жидкостная хроматография [Текст] / Л. И. Фиалков, Н. Г. Перышкина // ЖКХ. – 1977. – № 2 – С. 749.
126. **Ферментация** теста [Электронный ресурс]. Режим доступа : <http://www.bak-pkr.ru>. Дата обращения: 24.12.2013.
127. **Филлипс, Г. О.** Справочник по гидроколлоидам [Текст] : пер. с англ. / Г. О. Филлипс, П. А. Вильямс. – Санкт-Петербург : ГИОРД, 2006. – 535 с.
128. **Фролов, Ю. Г.** Курс коллоидной химии: Поверхностные явления и дисперсные системы : учебник для вузов. – 4-е изд., стер. Перепеч. с изд. 2004 г. / Ю. Г. Фролов. – Изд-во : Альянс, 2009.
129. **Хасанова, С. Д.** Продление сроков хранения помадных конфет [Текст] / С. Д. Хасанова, З. Г. Скобельская // Пищевая промышленность. – 2009. – № 9. – С. 54–55.
130. **Ходак, А. П.** Композиция: набухающий крахмал-патока в производстве конфет [Текст] / А. П. Ходак, Т. Н. Сухих, Е. К. Коптелова // Пищевая промышленность. – 1998. – № 6. – 48 с.
131. **Хрундин, Д. В.** Совершенствование технологии желейной начинки на основе регулирования свойств пектинов [Текст] / Д. В. Хрундин : дис. ... канд. техн. наук. – Москва, 2009. – 25 с.
132. **Цыганков, В. Г.** Актуальность разработки кондитерских изделий функционального назначения [Текст] / В. Г. Цыганков, И. И. Кондратова, С. Е. Томашевич // Инновационные технологии в пищевой промышленности : материалы VIII Междунар. научн.-практ. конф. РУП «Научн.-практ. центр Нац. акад. наук Беларуси по продовольствию». – Минск : ИВЦ Минфина, 2009. – С. 295 – 299.
133. **Чертов, Е. Д.** О влиянии соплового обдува молочной помадной конфетной массы на качественные показатели готовой продукции [Текст] / Е. Д. Чертов, О. А. Носов, Е. В. Носова, И. В. Черных // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2004. – № 3. – С. 32 – 35.

134. **Шимановский, С. Д.** Исследование прочности и адгезии мармелада и механизация выборки его из форм [Текст] / С. Д. Шимановский, В. З. Шапран, В. Ф. Запорожский // Хлебопекарная и кондитерская промышленность. – 1968. – № 11. – С. 13 – 15.

135. **Шрамм, Г.** Основы практической реологии и реометрии [Текст] / Г. Шрамм ; пер. с англ. И. А. Лавыгина ; под ред. В. Г. Куличихина. – Москва : КолосС, 2003. – 312 с.

136. **Яковлев, Е. А.** Влияние эмульгаторов на вязкостные свойства кондитерских глазурей [Текст] / Е. А. Яковлев, О. С. Бережная // Продуктовый бизнес. – 2010. – № 1.

137. **Ana, С. К.** Rheology of Mixed Pectin Solutions [Текст] / С. К. Ana, Pablo R. Oliveira , Rosiane L. Cunha // Food Biophysics. – 2008. – № 1. – С. 100 – 109.

138. **Barnes, Н. А.** A Handbook of Elementary Rheology [Текст] / Institute of non-Newtonian Fluid Mechanics / University of Waales / Aberystwyth, 2000.

139. **Fishman, М. L.** Nano structure of native pectin sugar acid gels visualized by atomic force microscopy [Текст] / М. L. Fishman, P. H. Cooke, D. R. Coffin // Biomacromolecules. – 2004. – № 4. – P. 334 – 341.

140. **Fishman, М. L.** Global Structure of Microwave-Assisted Flash-Extracted Sugar Beet Pectin [Текст] / М. L. Fishman, H. K. Chau, P. H. Cooke, A. T. Hotchkiss // Journal of agricultural and food chemistry. – 2008. – № 56. – P. 1471 – 1478.

141. **Fishman, М. L.** Pectin microgels and their subunit structure [Текст] / М. L. Fishman, P. H. Cooke, B. Levaj, D. T. Gillespie // Biochemistry Biophysics. – 1992. – № 294. – P. 253 – 260.

142. **Fishman, М. L.** In Water Soluble Polymers: Beauty with Performance [Текст] / М. L. Fishman, L. Pepper, P. E. Pfeffer // American Chemical Society. – 1986. – № 213. – P. 57 – 70.

143. **Herbstreith & Fox GmbH** [Электронный ресурс]. – Режим доступа : www.herbstreith-fox.com. Дата обращения: 03.07.2013.

144. **Hollenbach, А. М.** Effect of Four Anticaking Agents on the Bulk Characteristics of Ground Sugar [Текст] / А. М. Hollenbach, M. Peleg, R. Rufner // JOURNAL of FOOD SCIENCE – 1982. – V. 47, N 2, – P. 538 – 544.

145. **Marshall, L.** The structure of high-methoxyl sugar acid gels of citrus pectin as determined by AFM [Текст] / М. L. Fishman, P. H. Cooke // Carbohydrate Research. – 2009. – № 344. – P. 1792 – 1797.

146. **Neukom, H.** Gelling and Thickening Agents in Foods [Текст] / H. Neukom, W. Pilnik. – Zurich : Forster Verlag AG, 1980. – 124 p.
147. **Spiller, G. A.** Topics in dietary fiber research [Текст] / G. A. Spiller, R. J. Amen // New York : Plenum press. – 2007. – 310 p.
148. **Pilnik, W.** Polysaccharides and food processing [Текст] / W. Pilnik, F. M. Rombouts // Carbohydrate Research. – 1985. – № 1. – P. 93 – 105.
149. **Visser, J.** Pectines and pectinases [Текст]: proceedings of an international symposium // J. Visser, A. G. J. Voragen. – Wagenigen. – 1995.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1

Методика исследования реологических свойств конфетных масс

Измерительная ячейка (рис. 1) прибора состоит из ротора (ISO/ASTM) и неподвижного цилиндра (цилиндрического сосуда), погруженного в ультратермостат U15^C, для поддержания постоянной температуры в процессе измерения.

Выбор конкретного ротора (рис. 2) из стандартного набора зависит от свойств измеряемой среды, её температуры, величины скорости деформации в процессе измерения и определяется на практике в ходе предварительных испытаний.

1. Подготовка к испытанию.

1.1. Производят отбор проб объёмом 400 см³ в цилиндрический сосуд диаметром 100 мм.

1.2. Сосуд с исследуемым образцом погружают в ультратермостат (другое термостатирующее устройство), предварительно разогретый до температуры испытания. Далее в сосуд погружают датчик температуры (Pt 100) и выдерживают при постоянном перемешивании до достижения температуры начала измерения с погрешностью не более 1 °С.

1.3. Вискозиметр подготавливают в соответствии с инструкцией по эксплуатации.

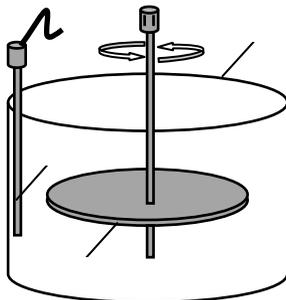


Рис. 1. Измерительная ячейка:
1 – ротор; 2 – цилиндр; 3 – датчик
температуры

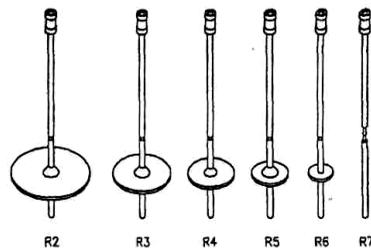


Рис. 2. Стандартный набор
роторов

2. Проведение испытания.

2.1. С помощью регулировочного винта измерительную головку прибора опускают вниз таким образом, чтобы ротор прибора погрузился в исследуемую массу. Глубина погружения отмечена риску на роторе.

2.2. Испытание проводят в соответствии с инструкцией по эксплуатации вискозиметра в режиме контролируемой скорости сдвига. Управление прибором осуществляют в автоматическом (удалённом) режиме с помощью персонального компьютера посредством программного обеспечения RheoWin 3 Job Manager. Для проведения испытаний оператору необходимо разработать и сохранить измерительную процедуру, в которой будут заданы режимы испытания (номер используемого ротора, величина скорости деформации или интервал её изменения, температура начала измерительной процедуры и т.д.), последовательность действий, способы обработки и вывода экспериментальных данных.

2.3. Испытание повторяют на новой порции исследуемого образца по пунктам 1.1 – 2.2.

2.4. Для исследования при следующей температуре испытания повторяют на новой порции исследуемого образца по пунктам 1.1 – 2.2, задавая нужную температуру испытания в пункте 1.2.

3. Обработка результатов.

3.1. Обработка и хранение экспериментальных данных осуществляется с помощью специализированного программного обеспечения RheoWin 3 Data Manager. Система автоматически регистрирует значения напряжения сдвига при фиксированной скорости деформации в каждой точке измерительной процедуры и рассчитывает соответствующее значение эффективной вязкости. В зависимости от настроек оператора экспериментальные данные выводятся в табличном или графическом виде.

3.2. За результат испытания принимают среднее арифметическое результатов трёх последовательных определений. Погрешность измерения составляет $\pm 0,5\%$ от диапазона измерения.

Методика определения пластической прочности корпусов конфет

Погружение индентора осуществлялось с постоянной скоростью (0,5 мм/с), а напряжение сдвига находилось по измеренному усилию, которое необходимо создать (измерить), чтобы осуществить движение с заданной скоростью. По величине напряжения сдвига в момент разрушения студня (разрыва сплошности) судили о пластической прочности (пределе прочности) корпусов конфет.

Схема прибора представлена на рис. 3–4.

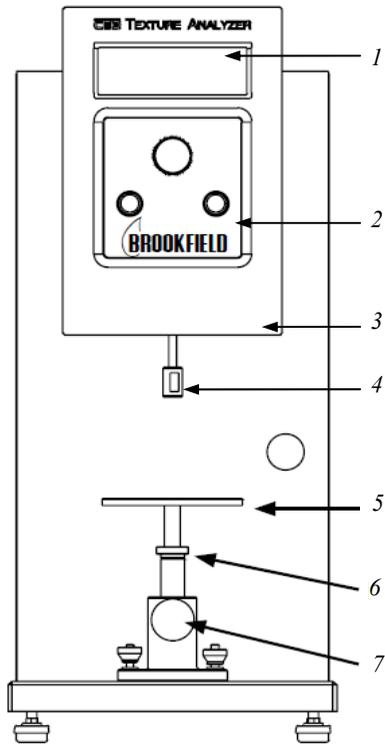


Рис. 3. Текстурный анализатор:

1 – дисплей; 2 – панель управления; 3 – измерительная головка;
4 – крепление инденторов; 5 – поворотный столик; 6, 7 – регулятор и фиксатор высоты столика соответственно

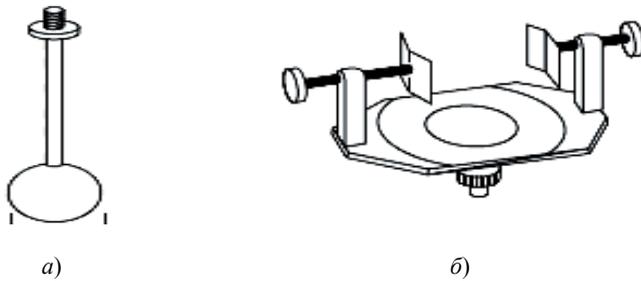


Рис. 4. Сферический индентор (а) и зажим (б)

1. Подготовка к испытанию.

1.1. Производят отбор проб по ГОСТ 5904.

1.2. Глазированные конфеты аккуратно очищают от покрытия.

1.3. Образцы выдерживают в суховоздушном термостате в течение 60 мин при температуре 25 °С.

1.4. Текстурный анализатор подготавливают в соответствии с инструкцией по эксплуатации.

1.5. В держателе прибора закрепляют сферический индентор из нержавеющей стали $d = 12,7$ мм (рис. 4, а), закручивая его против часовой стрелки.

1.6. Корпус конфеты закрепляют на предметном столике с помощью зажима (рис. 4, б), с помощью регулятора высоты поднимают столик таким образом, чтобы расстояние от поверхности индентора до образца составляло 15...20 мм.

2. Проведение испытания.

2.1. Испытание проводят в соответствии с инструкцией по эксплуатации текстурного анализатора. Управление прибором осуществляют в удалённом режиме с помощью персонального компьютера посредством программного обеспечения Texture PRO СТ. Для проведения испытаний оператору необходимо разработать и сохранить измерительную процедуру, в которой будут заданы геометрические размеры образца, режимы испытания (обозначение используемого индентора, способ испытания, скорость, глубину погружения, порог срабатывания спускового механизма и т.д.), способы обработки и вывода экспериментальных данных.

2.2. Испытание повторяют на новой порции исследуемого образца по пунктам 1.1 – 2.1.

3. Обработка результатов.

3.1. Обработка и хранение экспериментальных данных осуществляется с помощью специализированного программного обеспечения Texture PRO СТ. Система в реальном времени регистрирует значение нагрузки, необходимой для погружения индентора на заданную глубину, и в зависимости от настроек оператора экспериментальные данные выводятся в табличном или графическом виде (рис. 5).

Из рисунка 5 видно, что после того, как достигнут порог срабатывания спускового механизма, усилие, необходимое для продавливания образца, увеличивается до определённого предела, после чего наклон кривой уменьшается, и усилие достигает практически постоянного значения (плато), пока не происходит продавливание поверхности (нарушение сплошности корпуса изделия). В этот момент на кривой отмечается перелом (положительный пик силы), значение силы, приложенной в этот момент на единицу площади, принималось за величину

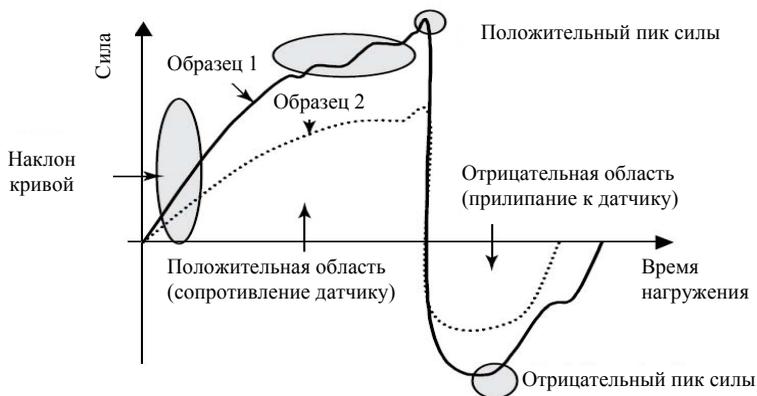


Рис. 5. Деформационные кривые

пластической прочности конфетного корпуса. После достижения заданной глубины погружения (на представленном графике этот момент совпадает с достижением положительного пика) начинается движение индентора в обратную сторону. Величина усилия принимает отрицательное значение за счёт сил адгезионного взаимодействия поверхности индентора и образца, которые препятствуют его поднятию. При этом в определённый момент (отрицательный пик силы) разрывные усилия превышают величину адгезионных сил и происходит отрыв индентора от поверхности образца.

Представленные на рис. 5 зависимости 1 и 2 наглядно демонстрируют поведение более плотных, жёстких материалов (образец 1), наклон кривой и величина положительного пика силы которых максимальны, и более вязких, нежных (образец 2).

3.2. За результат испытания принимают среднее арифметическое результатов трёх последовательных определений. Погрешность измерения составляет $\pm 1\%$ от диапазона измерения.

Методика определения адгезионных характеристик

При равномерном отрыве нагрузка прикладывается перпендикулярно плоскости субстрата, при этом адгезия характеризуется нормальной силой, отнесённой к единице площади контакта, т.е. нормальным напряжением.

Ход проведения испытаний аналогичен исследованию пластической прочности корпусов конфет, однако в данном случае фиксируют величину не положительного пика силы, а отрицательного (рис. 5).

Отличительными особенностями являются:

1. Для анализа используют неглазированные корпуса конфет.
2. Индентор в данном случае не должен разрушить конфетный корпус, а только прижаться к его поверхности с заданным усилием и удерживаться в данном положении установленное время.

Чем больше усилие прижима и продолжительность контакта, тем лучше продукт заполняет микровыступы поверхности индентора. Величина скорости отрыва также влияет на полученные результаты.

В ходе предварительных испытаний было подобрано усилие прижима – 2 Н, продолжительность контакта – 1 мин и скорость отрыва индентора – 0,5 мм/с, позволяющие получать воспроизводимые результаты. Погрешность измерения составляет $\pm 1\%$ от диапазона измерения.

Методика определения пластической прочности и температуры корпусов конфет в процессе выстойки

Измерение пластической прочности корпусов конфет исследовали методом одноосного сжатия на текстурном анализаторе СТЗ Texture Analyzer. По скорости нарастания пластической прочности корпусов конфет судили о течении процесса структурообразования.

1. Подготовка к испытанию.

1.1. Сухие, чистые деревянные лотки заполняют рисовым крахмалом влажностью 5...7%, просеянным через сито с размером отверстий 2,5 мм, и специальным штампом выдавливают в нём формы для изготовления корпусов конфет. Вид ячеек зависит от используемого штампа.

1.2. Ячейки формы заполняются горячей конфетной массой с температурой, равной температуре отливки.

1.3. В одну из ячеек с железной массой погружают термопару (Тип Т) одноканального измерителя температуры Testo 926 (Testo AG, Германия) таким образом, чтобы её конец находился по центру конфетного корпуса, термопару фиксируют лабораторным штативом.

1.4. Заполненные поддоны направляют в камеру выстойки (суховоздушный термостат и др.), где поддерживается требуемая температура выстойки.

1.5. Текстурный анализатор подготавливают в соответствии с инструкцией по эксплуатации.

1.6. В держателе прибора закрепляют сферический индентор из нержавеющей стали $d = 12,7$ мм, закручивая его против часовой стрелки.

2. Проведение испытания.

2.1. С интервалом в 10 мин фиксируют изменение температуры внутри конфетного корпуса и проводят отбор проб для измерения пластической прочности.

2.2. Корпуса конфет тщательно очищают от крахмала и оценивают пластическую прочность.

2.3. Через 10 мин испытание повторяют на следующих конфетных корпусах по пунктам 1.5 – 2.2.

3. Обработка результатов.

3.1. За результат испытания принимают среднее арифметическое результатов трёх последовательных определений. Погрешность измерения составляет $\pm 1\%$ от диапазона измерения.

Определение адгезионной прочности между слоями комбинированного корпуса

При равномерном отрыве нагрузка прикладывается перпендикулярно плоскости субстрата, при этом адгезионная прочность определяется величиной работы, необходимой для преодоления адгезионного взаимодействия, или силы, которую необходимо приложить для отделения адгезива от субстрата.

Для проведения испытаний в каждую из комбинируемых масс помещаются Т-образные металлические пластины (рис. 6). Площадь пластины, погружаемой в конфетную массу, равна площади корпуса стандартной конфеты.

Ход проведения испытаний аналогичен исследованию пластической прочности корпусов конфет, однако в данном случае в держателе прибора и вместо поворотного столика закрепляют зажимы для проведения испытаний на разрыв. Специально подготовленные образцы помещают между зажимами и проводят испытания до полного разделения образца на две части. Обработка и хранение экспериментальных данных осуществляется с помощью специализированного программного обеспечения Texture PRO СТ.

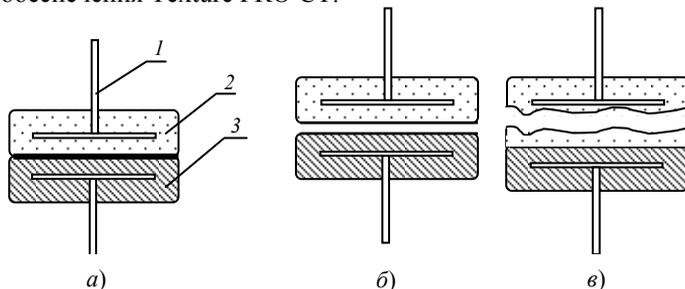


Рис. 6. Испытание образца на адгезионную прочность:

a – 1 – Т-образная металлическая пластина; 2 – слой сбивной конфетной массы; 3 – слой желейной конфетной массы; *б* – адгезионное разрушение; *в* – когезионное разрушение

Листинг программы для перебора всех возможных сочетаний факторов и расчёта соответствующих значений критериев оптимизации

% Программа для расчёта оптимального соотношения рецептурных ингредиентов

clear;

% Задаём интервалы варьирования входных переменных

i=1;

dmin=0.000001;

for x1=3:0.01:6

for x2=4:0.01:6

for x3=7:0.01:12

% Задаем уравнение регрессии

$y = -233.19 + 3.79 \cdot x_1 + 46.92 \cdot x_2 + 25.33 \cdot x_3 + 4.73 \cdot x_1 \cdot x_2 - 0.77 \cdot x_1 \cdot x_3 - 0.084 \cdot x_2 \cdot x_3 - 0.55 \cdot x_1 \cdot x_1 - 6.4 \cdot x_2 \cdot x_2 - 1.208 \cdot x_3 \cdot x_3 - 40$;

% Сравниваем абсолютное значение критерия оптимизации с заданной величиной отклонения и фиксируем удовлетворяющие этому условию комбинации факторов

if abs(y)<dmin

i=i+1;

dmin=abs(y);

a(i)=x1;

b(i)=x2;

c(i)=x3;

end

end

end

end

Листинг программы решения многокритериальной задачи проектирования

```

% формирование массива входных векторов xг (P(2,30))
P=load('dan5.txt')
P=P'
% формирование вектора эталона у (выходной массив T(1,30))
T=load('dan3.txt')
T=T'
% создание сети
net=newff(minmax(P),[2,4,4,4,2,1],{'purelin','purelin','purelin','purelin',
'purelin','purelin'},'trainlm')
net.performFcn='sse'
net.trainParam.goal=0
net.trainParam.epochs=6000
[net,tr]=train(net,P,T)
y=sim(net,P)
[m,b,r]=postreg(y(1,:),T(1,:))
x1=[50:0.1:150]
x2=[0:0.005:5]
[x11,x22]=meshgrid(x1,x2)
for i=1:length(x11)
    PP1=cat(1,x11(i,:),x22(i,:));
    YY=sim(net,PP1);
    YY32(i,:)=YY;
end
figure(1)
mesh(x11,x22,YY32)
xlabel('x1')
ylabel('x2')
zlabel('y')

```

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
Глава 1. ОБЩИЕ ПОДХОДЫ К ОПИСАНИЮ РЕОЛОГИЧЕСКОГО ПОВЕДЕНИЯ КОНДИТЕРСКИХ МАСС	5
1.1. Кондитерские изделия и полуфабрикаты как объекты реологии	5
1.2. Модели, используемые для описания реологического поведения кондитерских масс	9
1.3. Методы и приборы для проведения реологических исследований	14
Глава 2. СТРУКТУРНО-МЕХАНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СЫРЬЯ КОНДИТЕРСКИХ ПРОИЗВОДСТВ	19
2.1. Структурно-механические характеристики сыпучих материалов	19
2.2. Структурно-механические характеристики вязкопластичных материалов	24
Глава 3. РЕОЛОГИЯ САХАРИСТЫХ КОНДИТЕРСКИХ ИЗДЕЛИЙ	30
3.1. Реологические свойства помадных масс и конфет с помадными корпусами	30
3.2. Реологические свойства жележных полуфабрикатов и конфет, изготовленных на их основе	41
3.3. Реологические свойства сбивных масс и сбивных конфет	63
3.4. Исследование адгезионных свойств конфетных масс	76
Глава 4. РЕОЛОГИЯ МУЧНЫХ КОНДИТЕРСКИХ ИЗДЕЛИЙ	86
4.1. Реологические свойства кондитерского теста	86
4.2. Структурно-механические характеристики вафельных листов	100
4.3. Структурно-механические характеристики пряников	101

Глава 5. ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ РЕОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПОЛУФАБРИКАТОВ И ГОТОВЫХ ИЗДЕЛИЙ	107
5.1. Постановка и решение задачи получения жележных студней заданной прочности	109
5.2. Постановка и решение задачи обеспечения заданной адгезионной прочности между слоями комбинируемого корпуса	115
5.3. Постановка и решение задачи прогнозирования реологического поведения помадных масс	119
Глава 6. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ РЕОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ	131
6.1. Обоснование режимов производства в зависимости от реологических характеристик полуфабрикатов и требований к структурно-механическим характеристикам готовых изделий	131
6.2. Связь реологических и сенсорных показателей кондитерских изделий	138
6.3. Изменение структурно-механических характеристик кондитерских изделий при хранении	147
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	162
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	163
ПРИЛОЖЕНИЯ	177

Научное издание

МУРАТОВА Евгения Ивановна
СМОЛИХИНА Полина Михайловна

РЕОЛОГИЯ КОНДИТЕРСКИХ МАСС

Монография

Редактор Л. В. Комбарова
Инженер по компьютерному макетированию И. В. Евсеева

ISBN 978-5-8265-1242-5



Подписано в печать 25.12.2013.
Формат 60×84 / 16. 10,93 усл. печ. л.
Тираж 500 экз. (1-й з-д 100 шт.) № 576

Издательско-полиграфический центр
ФГБОУ ВПО «ТГТУ»
392000, г. Тамбов, ул. Советская, д. 106, к. 14
Тел. 8(4752) 63-81-08;
E-mail: izdatelstvo@admin.tstu.ru