

DOI: <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2021-4-3-172-179>

Поступила 07.08.2021

Поступила после рецензирования 13.09.2021

Принята в печать 25.09.2021



<https://www.fsjour.com/jour>

Научная статья

# ОСНОВНЫЕ ФАКТОРЫ ФОРМИРОВАНИЯ МОЛЕКУЛЯРНОЙ СТРУКТУРЫ МАРМЕЛАДА

Кондратьев Н. Б.\*, Осипов М. В., Руденко О. С., Казанцев Е. В., Калинин Е. С.

Всероссийский научно-исследовательский институт кондитерской промышленности, Москва, Россия

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:**  
кондитерские изделия,  
мармелад, процессы  
влагопереноса, изотерма  
сорбции

## АННОТАЦИЯ

Рассмотрена актуальная проблема обеспечения длительных сроков хранения кондитерских изделий без изменения их вкусовых качеств. Выявлены закономерности влияния химического состава сырьевых компонентов на структуру желеино-мармелада. Исследовано влияние содержания патоки и студнеобразователей на физико-химические и реологические свойства желеино-мармелада. Увеличение массовой доли патоки от 5% до 25% приводит к увеличению упруго-пластичных свойств желеино-мармелада. Соотношение основных рецептурных компонентов формирует молекулярную структуру желеино-мармелада и тем самым оказывает влияние на зависимость массовой доли влаги от активности воды. Установлена корреляция активности воды и прочности желеино-мармелада. Самая высокая прочность и активность воды наблюдалась у изделий, содержащих 15% патоки, что обуславливает наибольшую скорость влагопереноса для таких продуктов. Использование модифицированного крахмала дает возможность управления потерями влаги при хранении мармелада. Корректировка рецептуры и уменьшение массовой доли влаги в мармеладе значительно уменьшают риск возникновения нежелательных органолептических изменений поверхности мармелада при хранении. Применяя различные виды модифицированного крахмала, можно управлять сохранностью желеино-фруктового мармелада. Повышение массовой доли редуцирующих веществ в процессе хранения кондитерских изделий студнеобразной консистенции способствует их увлажнению. С другой стороны, уменьшение массовой доли редуцирующих веществ приводит к засахариванию изделий. Показано, как изменение соотношения основных компонентов желеино-мармелада влияет на формирование его молекулярной структуры, которая обуславливает соотношение свободной и связанной влаги. Полученные результаты работы позволяют управлять качеством и прогнозировать сохранность кондитерских изделий студнеобразной консистенции.

Received 07.08.2021

Accepted in revised 13.09.2021

Accepted for publication 25.09.2021

Available online at <https://www.fsjour.com/jour>

Original scientific article

# THE MAIN FACTORS OF MARMALADE MOLECULAR STRUCTURE FORMATION

Nikolay B. Kondratev\*, Maxim V. Osipov, Oxana S. Rudenko, Egor V. Kazantsev, Evgeniia S. Kalinkina

All-Russian Research Institute of the Confectionery Industry, Moscow, Russia

**KEY WORDS:**  
confectionery, marmalade,  
moisture transfer processes,  
sorption isotherm

## ABSTRACT

The pressing challenge of ensuring long shelf life for confectionery product without changing their flavor is considered. The patterns were revealed for the influence of the chemical composition of raw materials on the jelly marmalade structure. The influence of glucose syrup and gelling agent contents on the physicochemical and rheological properties of jelly marmalade was investigated. An increase in the mass fraction of glucose syrup from 5% to 25% leads to an increase in the elastic and plastic properties of jelly marmalade. The ratio of the main ingredients forms the molecular structure of jelly marmalade and thereby affects the dependence of moisture content on the water activity. The correlation between the water activity and the hardness of jelly marmalade has been established. The highest hardness and water activity were observed in products containing 15% glucose syrup, which determines the highest moisture transfer rate for such products. The use of modified starch allows controlling the moisture losses during marmalade storage. Formulation adjustment and moisture content decrease in the marmalade significantly reduce the risk of undesirable sensory changes on the surface of the marmalade during its storage. Various types of modified starch may control the shelf life of jelly fruit marmalade. An increase in reducing substances concentration during the storage of jelly-like confectionery products contributes to their moistening. On the other hand, a decrease in reducing substances concentration leads to granulation in products. It is shown how a change in the main ingredients ratio of jelly marmalade affects the formation of its molecular structure, which determines the free/bound moisture ratio. The obtained results allow controlling the quality and predicting the safety of jelly-like confectionery products.

## 1. Введение

Мармелад и другие кондитерские изделия студнеобразной консистенции пользуются высоким спросом у потребителей. Обеспечение длительных сроков хранения мармелада без изменения его вкусовых свойств, а также сохранение свежести изделия являются актуальными

вопросами в кондитерской отрасли. При хранении такие продукты подвержены преимущественно физическим изменениям, таким как черствение или увлажнение поверхности [1–4].

Желеиный мармелад в соответствии с ГОСТ 6442–2014 «Мармелад. Общие технические условия» — это сахаристое

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Кондратьев, Н. Б., Осипов, М. В., Руденко, О. С., Казанцев, Е. В., Калинин, Е. С. (2021). Основные факторы формирования молекулярной структуры мармелада. *Пищевые системы*, 4(3), 172–179. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2021-4-3-172-179>

FOR CITATION: Kondratev, N. B., Osipov, M. V., Rudenko, O. S., Kazantsev, E. V., Kalinkina, E. S. (2021). The main factors of marmalade molecular structure formation. *Food systems*, 4(3), 172–179. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2021-4-3-172-179>

кондитерское изделие студнеобразной консистенции, получаемое увариванием раствора студнеобразователя с сахаром с добавлением или без добавления патоки, пищевых добавок, ароматизаторов, с массовой долей структурообразователя для желейного мармелада не менее 1% и массовой долей сахара в пересчете на сахарозу не менее 45%.

Стабильность свойств мармелада при длительном хранении достигается за счет оптимизации факторов термической обработки, контроля активности воды и pH. Качество и содержание фруктов в этих продуктах имеют решающее значение для качества конечного продукта. Авторы также поднимают вопрос о необходимости простого и общедоступного инструмента для обнаружения и количественной оценки химического состава с целью предотвращения фальсификации [5,6].

Таким образом, основными рецептурными компонентами желейного мармелада и других кондитерских изделий студнеобразной консистенции являются сахар, патока, вода, студнеобразователи. Также могут быть использованы различные виды фруктового (овощного) сырья, красители и ароматизаторы. Для оптимизации процесса студнеобразования при использовании различных видов студнеобразователей используют также буферные соли и другие компоненты [7,8].

Для оценки качества и сохранности мармелада функции полисахаридов в пищевых системах нужно оценивать на молекулярном уровне с фундаментальной и прикладной точек зрения. Проводимые исследования должны обобщать информацию о взаимодействиях сахаров, полисахаридов, влаги и других компонентов [9,10].

Пектины по химическому составу относятся к полисахаридам и состоят из двух групп полимеров, галактуронанов и рамногалактуронанов (Рисунок 1).

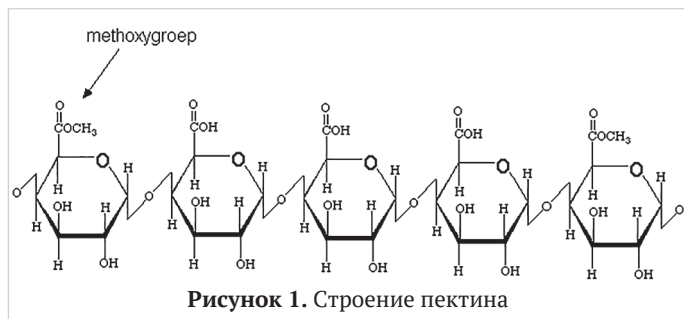


Рисунок 1. Строение пектина

Структура желейного мармелада обеспечивается комплексом сырьевых компонентов, включая высокомолекулярные полисахаридные соединения или смесь таких соединений, моно и дисахариды [11,12].

Пектин является важнейшим структурообразователем, молекулы которого состоят в основном из остатка 1,4-D-галактуроновой кислоты. Студнеобразующие свойства пектиновых веществ обусловлены длиной цепи молекулы с молекулярной массой не менее 10000. Образование студня — это процесс возникновения и постепенного упрочнения пространственной молекулярной структуры. Водородные связи образуются между участками молекул, содержащих полярные группы (-COOH, -OH) (Рисунок 2).

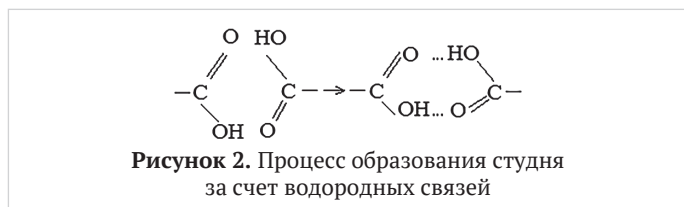


Рисунок 2. Процесс образования студня за счет водородных связей

Для исследования водосвязывающих свойств пектинов до настоящего времени в основном использовались методы с построением изотерм сорбции. Пектины «связывают» от 0,3 до 1,3 г/г воды, они взаимодействуют с макромолекулами, молекулы воды удерживаются капиллярами (набухание и утолщение, гелеобразование). Различные модификации пектинов влияют на взаимодействия с водой [13–15].

Исследование состояния воды в различных гидрофильных полимерах проводится также методами ДСК и ИК-Фурье.

Смеси гидрофильный полимер/вода имеют различное калориметрическое поведение в диапазоне температур плавления замораживаемой связанной воды, а также свободной воды. Температура плавления замораживаемой воды и количество незамерзающей воды в смесях изменяются в зависимости от изменения химической структуры полимеров. Полученные данные свидетельствуют о том, что вода, слабо связанная с полимерными цепями, может образовывать стабильную кристаллическую структуру при ее высоком содержании.

Спектры FTIR подтвердили существование различных состояний молекул воды, основанных на разной силе водородных связей, что может влиять на термическое поведение воды в смесях гидрофильный полимер/вода. Сделан вывод, что в водных растворах гидрофильных полимеров с полярными центрами образование незамерзающей воды приписывается водородным связям между гидрофильными полимерами и молекулами H<sub>2</sub>O [16].

Поперечно сшитые полимеры также увеличивают количество связанной влаги в пищевой системе [17].

Крахмальная карамельная патока, содержание которой обуславливает прочность корпуса изделия, является важнейшим технологическим компонентом мармелада на пектине и используется в качестве антикристаллизатора.

Для увеличения срока годности, а также для уменьшения скорости процессов влагопереноса используют различные модифицированные крахмалы, изменяющие соотношение связанной и свободной воды различных наименований кондитерских изделий. Они применяются в качестве пищевых добавок и позволяют управлять сохранностью кондитерских изделий [18,19].

Редуцирующие вещества патоки также играют существенную роль в процессе хранения кондитерских изделий студнеобразной консистенции. Известно, что повышение содержания редуцирующих веществ способствует увлажнению мармелада вследствие их высокой гигроскопичности, и наоборот, уменьшение их массовой доли приводит к засахариванию изделий.

Соотношение свободной и связанной влаги оказывает значительное влияние на сохранность мармелада и других изделий студнеобразной консистенции. Высокое содержание влаги в желейном мармеладе приводит к «отмоканию» поверхности, а низкое содержание влаги является причиной образования сахарной «корочки» на поверхности, при этом изменяется текстура изделий.

Доказано, что именно показатель активности воды в продуктах с одинаковой массовой долей влаги в настоящее время более часто используется для прогнозирования изменений реологических показателей пищевых систем, чем массовая доля влаги [20].

Многие работы посвящены влиянию качества фруктового сырья на срок годности кондитерских изделий студнеобразной консистенции.

Исследовано общее количество растворимых твердых веществ и pH в джеме и мармеладе. Для оценки качества продуктов предложено использовать редуцирующие сахара, кислотность, аскорбиновую кислоту и органолептические

показатели, такие как вкус, цвет, текстура и общая приемлемость. В ходе физико-химического и органолептического анализов было показано, что морковь и яблоко способствовали формированию хорошего качества изделий [6].

Морфологические свойства рецептур яблочного мармелада с низким содержанием сахара сравнивали при помощи сканирующей электронной микроскопии. Микрофотография образцов лиофилизированного мармелада показала гладкую поверхность с частичными сетками из-за наличия пектина, кислоты и смеси геля сахарозы [21].

Разработаны рецептуры с частичной заменой сахарозы подсластителями, такими как стевииозид и сукралоза (25%, 50%), без использования коммерческого пектина и химических консервантов. Выявлено, что концентрация подсластителей оказывает значительное влияние на физико-химические и реологические свойства продуктов. Твёрдость мармелада уменьшается из-за снижения общего содержания растворимых твердых веществ. Предел текучести продукта увеличивается при возрастании концентрации подсластителей [22].

Для сравнения влагоудерживающей способности, влияющей на риск возникновения микробиологической порчи (плесневения), проводятся исследования процессов влагопереноса различных наименований кондитерских изделий, включающие определения как массовой доли влаги, так и активности воды.

**Целью работы** является установление факторов, влияющих на формирование структуры желейного мармелада для обеспечения его сохранности.

## 2. Материалы и методы

Объектами исследования являлись образцы желейного мармелада, изготовленные на основе яблочного пектина. Массовая доля патоки составляла 5%, 10%, 15%, 20%, 25%. При увеличении массовой доли патоки количество сахара белого соответственно уменьшалось, при этом сумма патоки и сахара составляла 73,0%.

Изготовленные образцы желейного мармелада с массовой долей патоки 15% соответствуют рецептуре и требованиям ГОСТ 6442–2014 «Мармелад. Общие технические условия» (Таблица 1).

Таблица 1

Рецептура желейного мармелада

| Наименование сырья и полуфабрикатов | Содержание сухих веществ, % | Расход сырья на загрузку 300 г, г |                   |
|-------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------------|-------------------|
|                                     |                             | в натуре                          | в сухих веществах |
| Сахар-песок                         | 99,85                       | 207,00                            | 206,69            |
| Патока                              | 78,00                       | 45,00                             | 35,10             |
| Пектин                              | 91,00                       | 5,40                              | 4,910             |
| Цитрат натрия                       | 90,00                       | 0,30                              | 0,27              |
| Лимонная кислота (50% р-р)          | 91,00                       | 0,40                              | 0,36              |
| Итого                               | —                           | 258,10                            | 247,33            |
| Выход                               | 78,00                       | 300,00                            | 234,00            |

Научные исследования проводились на базе отдела современных методов оценки качества ВНИИКП (филиал ФГБНУ «ФНЦ пищевых систем им. В. М. Горбатова» РАН) с использованием методов:

- исследования физико-химических и органолептических показателей изготовленных образцов мармелада проведены в соответствии с ГОСТ 6442–2014 «Мармелад. Общие технические условия»;
- хранение образцов осуществляли при температуре 18 °С и относительной влажности окружающего воздуха 40% в климатической камере «Climacell 404» (Чехия);

диапазон регулирования температуры от 0 до 100 °С, диапазон регулирования относительной влажности воздуха от 10% до 95%;

- массовая доля влаги измерена по ГОСТ 5900–2014 «Изделия кондитерские. Методы определения массовой доли влаги и сухих веществ» с использованием сушильного лабораторного шкафа SNOL 67/350 (Литва); диапазон автоматического регулирования температуры 50–350 °С, стабильность температуры в установившемся тепловом режиме ±2 °С;
- активность воды определена по ГОСТ Р ИСО 21807 «Микробиология пищевых продуктов и кормов для животных. Определение активности воды» на приборе AquaLab 3TE (США); диапазон измерения активности воды от 0,200 до 1,000, пределы допускаемой абсолютной погрешности измерений активности воды ± 0,006;
- реологические показатели мармелада измерены на Структурометре СТ-2 (Россия); скорость движения индентора (0–4,5) мм/с, диапазон измеряемых нагрузок от –5000 до 5000 г, диапазон перемещения индентора 0–220±1 мм;
- математический анализ проведён с использованием программы MS Excel 2010.

## 3. Результаты и обсуждение

Желейный мармелад при хранении подвержен преимущественно физическим изменениям, таким как черствение или увлажнение, однако процессы плесневения и брожения данного продукта выявляются редко. Изменения качества желейного мармелада обусловлены процессами влагопереноса, при этом градиент активности воды является движущей силой таких процессов. Закономерности протекания этих процессов могут быть использованы для прогнозирования и увеличения срока годности мармелада.

Основными компонентами химического состава мармелада, влияющими на процессы влагопереноса, являются сахара, вода, патока, модифицированный крахмал и пектин. Для обоснования механизма влагопереноса в пищевой системе желейного мармелада молекулы сырьевых компонентов представлены в схематическом виде (Рисунок 3).

При изменении химического состава пищевых систем на основе пектина, а также при их хранении происходят изменения реологических показателей прочности, вязкости и др. [23,24].

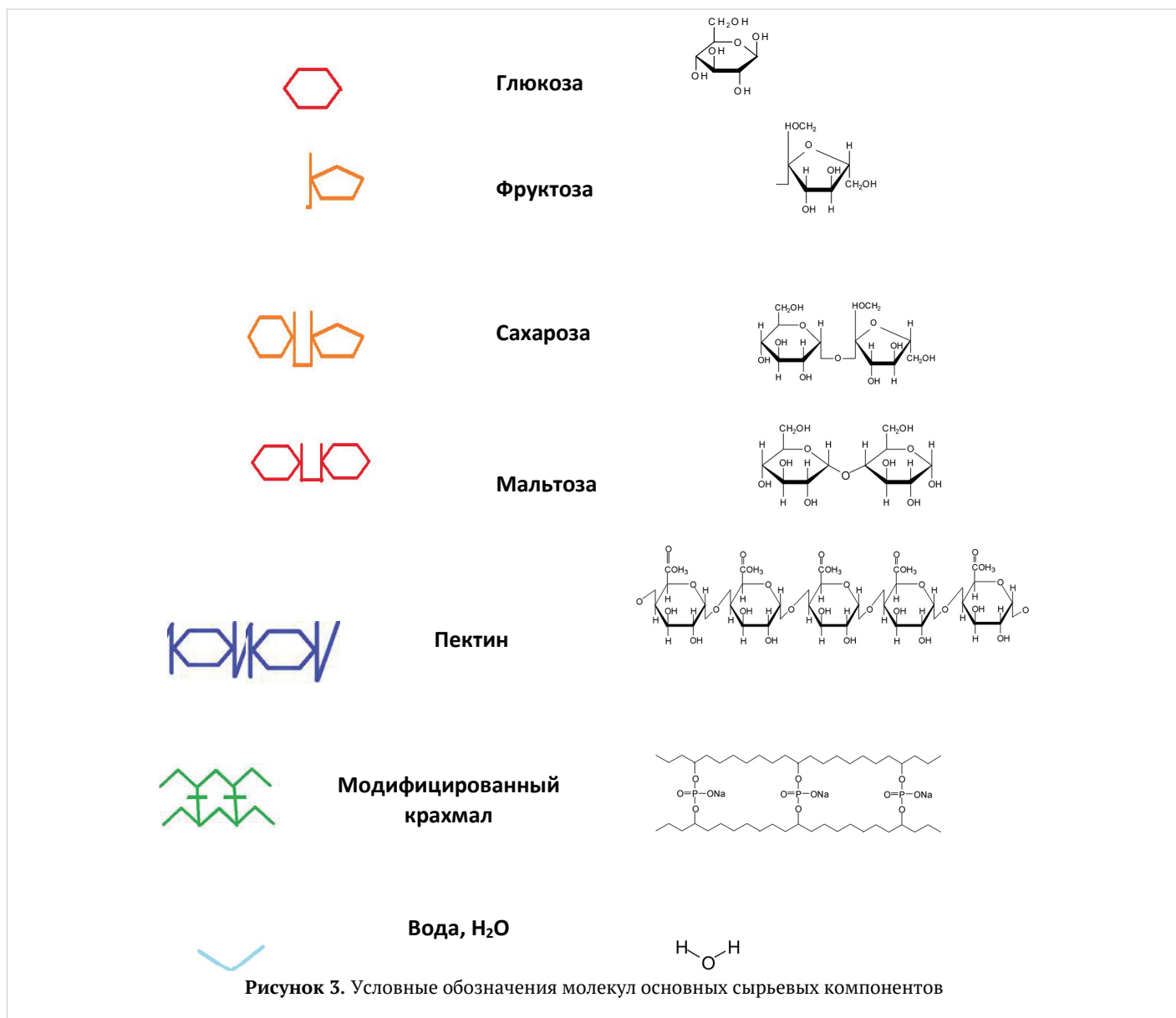
Проведены исследования влияния химического состава использованного сырья (массовая доля патоки, модифицированного крахмала) на органолептические и физико-химические характеристики, а также на изменение показателей влагопереноса в процессе хранения мармелада с массовой долей влаги 22,0% [1,25].

Установлено, что наибольшей активностью воды и наибольшей прочностью обладает желейный мармелад с массовой долей патоки 15% (Рисунок 4).

Для такого мармелада на одну молекулу патоки (глюкоза, мальтоза и др. на схеме молекулы изображены красным цветом) приходится четыре-пять молекул сахарозы, пять молекул воды, часть молекул пектина и модифицированного крахмала (Рисунок 5).

В таком мармеладе значительная часть молекул воды находится в «свободном» состоянии. Молекулы патоки встроены между молекулами пектина и сахарозы, вытесняя молекулы воды наружу в «свободном» состоянии, что обуславливает наибольшее значение активности воды.

Молекулы пектина образуют водородные связи с другими компонентами пищевой матрицы, такими как вода, сахароза, мальтоза, глюкоза и др., молекулы которых содержат полярные группы [8,13].



При уменьшении массовой доли патоки в рецептурном составе до 5% активность воды уменьшается до 0,38, что, вероятно, связано с встраиванием молекул воды на место молекул патоки между молекулами сахарозы и пектина (модифицированного крахмала), а также с образованием водородных связей (Рисунок 6).

На одну молекулу патоки (глюкоза, мальтоза и др.) приходится 14–17 молекул сахарозы, пять молекул воды, часть молекул пектина и модифицированного крахмала.

При увеличении массовой доли патоки до 25% количество молекул сахарозы соответственно уменьшается. На одну молекулу патоки приходится только 2–3 молекулы сахарозы (Рисунок 7).

При увеличении массовой доли патоки активность воды немного уменьшается до уровня 0,700, что можно объяснить связыванием влаги редуцирующими сахарами, входящими в состав патоки. Молекулы H<sub>2</sub>O связываются с полярными группами молекул глюкозы, мальтозы и других углеводов.

Необходимо отметить, что при повышении массовой доли патоки до 25% прочность мармелада уменьшается от 500 г/см<sup>2</sup> до 400 г/см<sup>2</sup>, однако при этом увеличиваются адгезия и упруго-пластичные свойства жележного мармелада, что может быть использовано с целью корректировки сроков годности изделий этой группы.

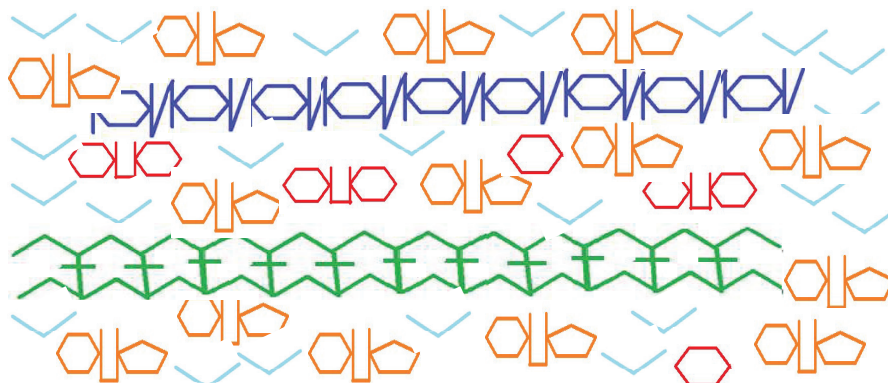


Рисунок 5. Схематическое соотношение основных компонентов желейного мармелада с массовой долей влаги 15% и активностью воды 0,755

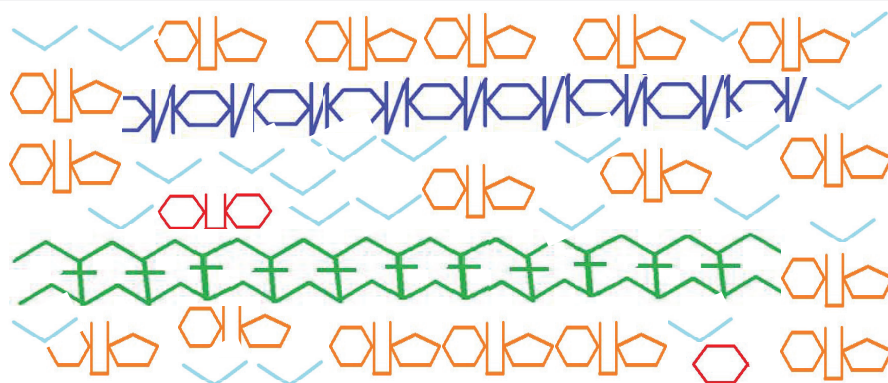


Рисунок 6. Схематическое соотношение основных компонентов желейного мармелада с массовой долей пектина 5% и активностью воды 0,738

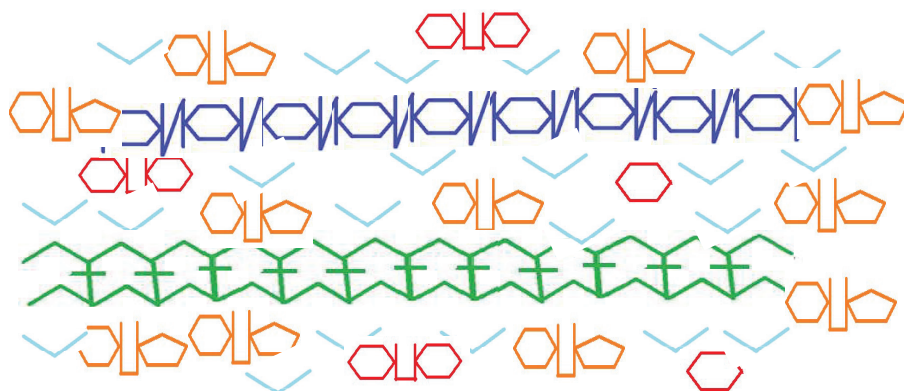


Рисунок 7. Схематическое соотношение основных компонентов желейного мармелада с массовой долей пектина 25% и активностью воды 0,750

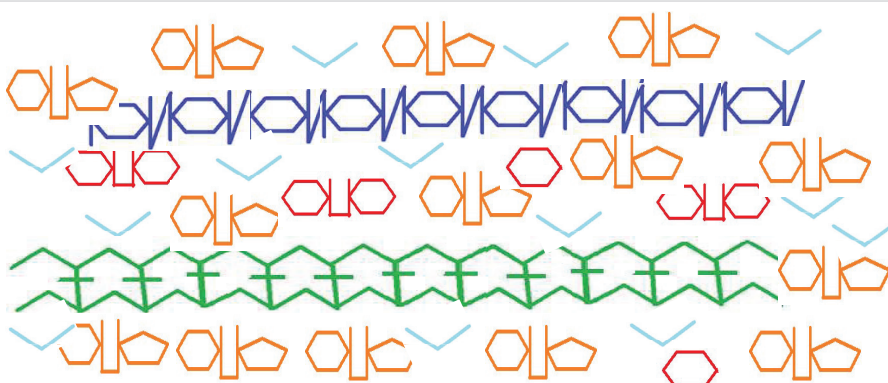


Рисунок 8. Схематическое соотношение основных компонентов желейного мармелада с активностью воды в диапазоне 0,70–0,72 и массовой долей влаги 16–18%

В процессе хранения желейного мармелада с массовой долей влаги 22% и активностью воды 0,755 при уменьшении массовой доли влаги до 16–18% активность воды также уменьшается до уровня 0,70–0,72, что является причиной кристаллизации сахарозы на поверхности изделий (Рисунок 8).

Зависимость массовой доли влаги от активности воды (изотерма сорбции) позволяет оценивать риски изменения качества мармелада при хранении в зависимости от химического состава.

В мармеладе одна часть сахара связана с полимером (пектин, крахмал), а другая часть является кристаллической или аморфной. Связанные и свободные формы сахара в желейном мармеладе находятся в равновесии и в значительной степени зависят от рецептурного состава и соотношения связанных и свободных молекул влаги, т.е. от фактической активности воды (Рисунок 9).

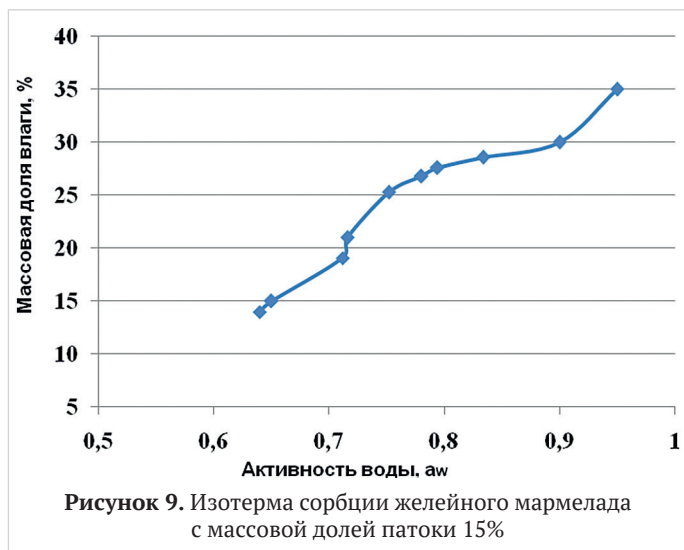


Рисунок 9. Изотерма сорбции желейного мармелада с массовой долей патоки 15%

Полученная зависимость относится к изотерме Ван дер Ваальсовой адсорбции V типа. Определенные компоненты рецептурного состава обуславливают соответствующие характерные резкие изменения изотермы сорбции желейного мармелада. Переход растворенного сахара из аморфного состояния в кристаллическое при определенном соотношении рецептурных компонентов является причиной разрыва изотермы [26–29].

В качестве инструмента управления сохранностью кондитерских изделий может быть использовано введение в рецептуру мармелада модифицированного крахмала с заданным химическим составом. Например, введение в рецептуру желейного мармелада 2% модифицированного крахмала E1401 исключает из изотермы ее разрыв (Рисунок 10).

Были получены изотермы адсорбции и десорбции каррагинана. Спектроскопические методы и методы рентгеновской дифракции позволили определить фундаментальный состав перечисленных выше биополимеров. Реологические свойства хорошо коррелировали с гигроскопическими. Была разработана модель прогноза для оценки изотерм водной сорбции на основе содержания в ней отдельных дисахаридных единиц [30]. Таким образом, при разработке рецептуры мармелада ожидается получение аналогичных результатов.

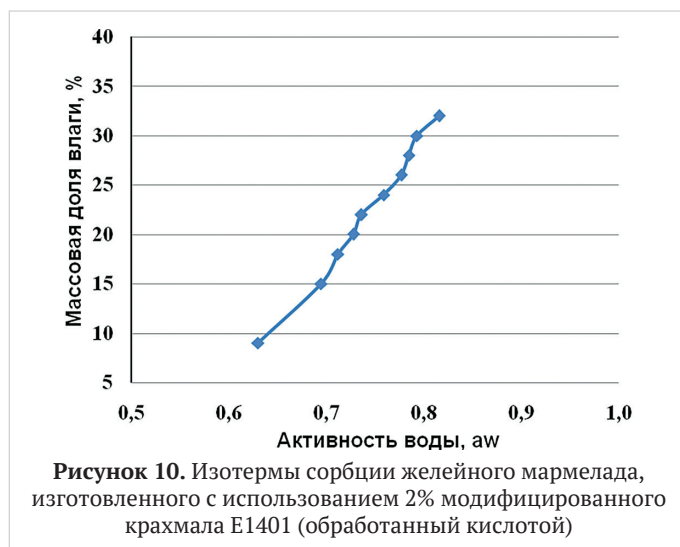


Рисунок 10. Изотермы сорбции желейного мармелада, изготовленного с использованием 2% модифицированного крахмала E1401 (обработанный кислотой)

Для мармелада, изготовленного с применением различных модифицированных крахмалов, получены соответствующие химическому составу изотермы сорбции. Так, при использовании 2% модифицированного крахмала E1401 (обработанный кислотой) формируются поперечно связанные структуры, в которых молекулы H<sub>2</sub>O препятствуют превращению сахара из аморфного состояния в кристаллическое. В результате этого срок годности изделий увеличивается.

В продуктах, изготовленных без модифицированного крахмала, молекулы воды связаны недостаточно сильно и при определенных условиях хранения могут быстро переходить из связанного состояния в свободное, способствуя образованию кристаллического сахара, что приводит к увеличению прочности поверхности.

#### 4. Заключение

Установлено влияние содержания патоки, студнеобразователей на физико-химические и реологические свойства желейного мармелада. Увеличение массовой доли патоки от 5% до 25% приводит к увеличению упруго-пластичных свойств желейного мармелада. Показана корреляция активности воды и прочности желейного мармелада. Для желейного мармелада, содержащего 15% патоки, показатели активности воды и прочность наибольшие, что обуславливает самую высокую скорость влагопереноса.

Использование модифицированного крахмала дает возможность управления потерями влаги при хранении мармелада. Применение 2,0% модифицированного крахмала E1401 предотвращает образование «корочки» на поверхности желейного мармелада при хранении. Корректировка рецептуры значительно уменьшает риск образования нежелательной сахарной «корочки» при уменьшении массовой доли влаги мармелада. Используя различные виды модифицированного крахмала, можно управлять сохранностью желейно-фруктового мармелада. Изменение соотношения основных компонентов желейного мармелада влияет на формирование молекулярной структуры продукта, обусловленной соотношением свободной и связанной влаги.

Полученные результаты работы позволяют управлять качеством продукта при его создании, а также прогнозировать срок хранения пищевых продуктов студнеобразной консистенции.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кондратьев, Н.Б., Казанцев, Е.В., Осипов, М.В., Баженова, А.Е., Линовская, Н.В. (2020). Влияние количества патоки на процессы влагопереноса при хранении мармелада. *Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий*, 82(4(86)), 24–29. <https://doi.org/10.20914/2310-1202-2020-4-24-29>
2. Rivero, R., Archaina, D., Sosa, N., Schebor, C. (2021). Development and characterization of two gelatin candies with alternative sweeteners and fruit bioactive compounds. *LWT*, 141, Article 110894. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.110894>
3. Teixeira-Lemos, E., Almeida, A. R., Vouga, B., Morais, C., Correia, I., Pereira, P. et al. (2021). Development and characterization of healthy gummy jellies containing natural fruits. *Open Agriculture*, 6(1), 466–478. <https://doi.org/10.1515/opag-2021-0029>
4. Ergun, R., Lietha, R., Hartel, R. W. (2010). Moisture and shelf life in sugar confections. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 50(2), 162–192. <https://doi.org/10.1080/10408390802248833>
5. Wolf, B. (2016). Confectionery and Sugar-Based Foods. Chapter in a book: Reference Module in Food Science. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100596-5.03452-1>
6. Kavaya, R.I., Omwamba, M.N., Chikamai, B.N., Mahungu, S.M. (2019). Sensory evaluation of syneresis reduced jam and marmalade containing gum Arabic from *Acacia senegal* var. *kerensis*. *Food and Nutrition Sciences*, 10(11), 1334–1343. <https://doi.org/10.4236/fns.2019.1011096>
7. de Avelar, M. H. Efraim, M.P. (2020). Alginate/pectin cold-set gelation as a potential sustainable method for jelly candy production. *LWT*, 123, Article 109119. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109119>
8. Gawkowska, D., Cybulska, J., Zdunek, A. (2018). Structure-related gelling of pectins and linking with other natural compounds: A review. *Polymers*, 10(7), Article 762 <https://doi.org/10.3390/polym10070762>
9. Funami, T. (2010). Functions of food polysaccharides to control the gelatinization and retrogradation behaviors of starch in an aqueous system in relation to the macromolecular characteristics of food polysaccharides. *Food Science and Technology Research*, 15(6), 557–568. <https://doi.org/10.3136/fstr.15.557>
10. Донченко, Л.В., Фирсов, Г.Г. (2007). Пектин: основные свойства, производство и применение. — М.: ДеЛи принт, 2007.
11. Табаторович, А.Н., Резниченко, И.Ю. (2019). Обоснование рецептур и оценка качества желейного мармелада на основе настоя лепестков розеллы (*Hibiscus Sabdariffa* L.). *Пищевая промышленность*, 5, 66–71. <https://doi.org/10.24411/0235-2486-2019-10075>
12. Табаторович, А.Н., Степанова, Е.Н., Бакайтис, В.И. (2018). Анализ химического состава и показателей качества нетрадиционных фруктовых пюре-полуфабрикатов. *Пищевая промышленность*, 8, 25–29.
13. Panchev, I. N., Slavov, A., Nikolova, K., Kovacheva, D. (2010). On the water-sorption properties of pectin. *Food Hydrocolloids*, 24(8), 763–769. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2010.04.002>
14. Южакова, К.В., Савенкова, Т.В., Талейник, М.А. (2018). Технологические процессы образования кондитерской массы при получении мармелада. *Вестник Российской сельскохозяйственной науки*, 1, 57–59.
15. Einhorn-Stoll, U. (2018). Pectin-water interactions in foods — from powder to gel. *Food Hydrocolloids*, 78, 109–119. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2017.05.029>
16. Guan, L., Xu, H., Huang, D. (2011). The investigation on states of water in different hydrophilic polymers by DSC and FTIR. *Journal of Polymer Research*, 18(4), 681–689. <https://doi.org/10.1007/s10965-010-9464-7>
17. Abasi, S., Podstawczyk, D. A., Sherback, A. F., Guiseppi-Elie, A. (2019). Bio-technical properties of poly(HEMA-co-HPMA) hydrogels are governed by distribution among water states. *ACS Biomaterials Science and Engineering*, 5(10), 4994–5004. <https://doi.org/10.1021/acsbmaterials.9b00705>
18. Ping, Z. H., Nguyen, Q. T., Chen, S. M., Zhou, J. Q., Ding, Y. D. (2001). States of water in different hydrophilic polymers — DSC and FTIR studies. *Polymer*, 42(20), 8461–8467. [https://doi.org/10.1016/S0032-3861\(01\)00358-5](https://doi.org/10.1016/S0032-3861(01)00358-5)
19. Осипов, М.В., Кондратьев, Н.Б., Казанцев, Е. В., Руденко, О.С., Семёнова, П.А. (2019). Влияние модифицированного крахмала на влагоудерживающую способность начинок в пряниках. *Вестник Российской сельскохозяйственной науки*, 3, 59–62. <https://doi.org/10.30850/vrtn/2019/3/59-62>
20. Juarez-Enriquez, E., Olivas, G.I., Ortega-Rivas, E., Zamudio-Flores, P.B., Perez-Vega, S., Sepulveda, D.R. (2019). Water activity, not moisture content, explains the influence of water on powder flowability. *LWT*, 100, 35–39. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.10.043>
21. Ullah, N., Ullah, S., Khan, A., Ullah, I., Badshah, S. (2018). Preparation and evaluation of carrot and apple blended jam. *Journal of Food Processing & Technology*, 9(4), Article 725. <https://doi.org/10.4172/2157-7110.1000725>
22. Sirin, P. (2019). Rheological, textural, physico-chemical and sensory properties of low sugar apple marmalade. A Thesis Submitted to the Graduate School of Engineering and Sciences of Izmir Institute of Technology in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of MASTER OF SCIENCE in Food Engineering. Izmir, Turkey. Retrieved from <https://gcris.iyte.edu.tr/bitstream/11147/7352/1/T002026.pdf> Accessed August 2, 2021.
23. Mierczynska, J., Cybulska, J., Pieczywek, P. M., Zdunek, A. (2015). Effect of storage on rheology of water-soluble, chelate-soluble and diluted alkali-soluble pectin in carrot cell walls. *Food and Bioprocess Technology*, 8(1), 171–180. <https://doi.org/10.1007/s11947-014-1392-9>
24. Хатко, З.Н., Титов, С.А., Ашинова, А.А., Колодина, Е.М. (2019). Влияние комбинирования пектиновых веществ на вязкость их водных растворов. *Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий*, 81(2(80)), 133–138. <https://doi.org/10.20914/2310-1202-2019-2-133-138>
25. Ben-Yoseph, E., Hartel, R. W. (2006). Computer simulation of sugar crystallization in confectionery products. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 7(3), 225–232. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2005.12.003>
26. Осипов М. В., Казанцев Е. В., Руденко, Кондратьев Н. Б. (2020). Прогнозирование сохранности кондитерских изделий студнеобразной консистенции. *Всё о мясе*, 5S, 257–260. <https://doi.org/10.21323/2071-2499-2020-5S-257-260>
27. Ergun, R., Lietha, R., Hartel, R. W. (2010). Moisture and shelf life in sugar confections. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 50(2), 162–192. <https://doi.org/10.1080/10408390802248833>
28. Sitnikova, P.B., Tvorogova, A.A. (2019). Physical changes in the structure of ice cream and frozen fruit desserts during storage. *Food systems*, 2(2), 31–35. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2019-2-2-31-35>
29. Ali, M.R., Mohamed, R.M., Abedelmaksoud, T.G. (2021). Functional strawberry and red beetroot jelly candies rich in fibers and phenolic compounds. *Food systems*, 4(2), 82–88. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2021-4-1-82-88>
30. Torres, M. D., Chenlo, F., Moreira, R. (2018). Structural features and water sorption isotherms of carrageenans: A prediction model for hybrid carrageenans. *Carbohydrate Polymers*, 180, 72–80. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2017.10.010>

## REFERENCES

1. Kondratyev, N.B., Kazantsev, E.V., Osipov, M.V., Bazhenova, A.E., Linovskaya, N.V. (2020). The influence of the amount of caramel syrup on the processes of moisture transfer during the storage of marmalade. *Proceedings of the Voronezh State University of Engineering Technologies*. 82(4(86)), 24–29. <https://doi.org/10.20914/2310-1202-2020-4-24-29> (In Russian)
2. Rivero, R., Archaina, D., Sosa, N., Schebor, C. (2021). Development and characterization of two gelatin candies with alternative sweeteners and fruit bioactive compounds. *LWT*, 141, Article 110894. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.110894>
3. Teixeira-Lemos, E., Almeida, A. R., Vouga, B., Morais, C., Correia, I., Pereira, P. et al. (2021). Development and characterization of healthy gummy jellies containing natural fruits. *Open Agriculture*, 6(1), 466–478. <https://doi.org/10.1515/opag-2021-0029>
4. Ergun, R., Lietha, R., Hartel, R. W. (2010). Moisture and shelf life in sugar confections. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 50(2), 162–192. <https://doi.org/10.1080/10408390802248833>
5. Wolf, B. (2016). Confectionery and Sugar-Based Foods. Chapter in a book: Reference Module in Food Science. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100596-5.03452-1>
6. Kavaya, R.I., Omwamba, M.N., Chikamai, B.N., Mahungu, S.M. (2019). Sensory evaluation of syneresis reduced jam and marmalade containing gum Arabic from *Acacia senegal* var. *kerensis*. *Food and Nutrition Sciences*, 10(11), 1334–1343. <https://doi.org/10.4236/fns.2019.1011096>
7. de Avelar, M. H. Efraim, M.P. (2020). Alginate/pectin cold-set gelation as a potential sustainable method for jelly candy production. *LWT*, 123, Article 109119. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109119>
8. Gawkowska, D., Cybulska, J., Zdunek, A. (2018). Structure-related gelling of pectins and linking with other natural compounds: A review. *Polymers*, 10(7), Article 762 <https://doi.org/10.3390/polym10070762>
9. Funami, T. (2010). Functions of food polysaccharides to control the gelatinization and retrogradation behaviors of starch in an aqueous system in relation to the macromolecular characteristics of food polysaccharides. *Food Science and Technology Research*, 15(6), 557–568. <https://doi.org/10.3136/fstr.15.557>
10. Donchenko L. V., Firsov, G.G. (2010). Pectin: main properties, production and application. Moscow: DeLi print, 2007. (In Russian)
11. Tabatorovich, A.N., Reznichenko, I. Yu. (2019). Substantiation of formulations and quality assessment of jelly marmalade based on infusion of rosella petals (*Hibiscus Sabdariffa* L.). *Food industry*, 5, 66–71. <https://doi.org/10.24411/0235-2486-2019-10075> (In Russian)
12. Tabatorovich, A.N., Stepanova, Ye.N., Bakaytis, V.I. (2018). Analysis of the chemical composition and quality indicators of unconventional fruit puree-semi-finished products. *Food industry*, 8, 25–29 (In Russian)
13. Panchev, I. N., Slavov, A., Nikolova, K., Kovacheva, D. (2010). On the water-sorption properties of pectin. *Food Hydrocolloids*, 24(8), 763–769. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2010.04.002>

14. Yuzhakova, K.V., Savenkova, T.V., Taleysnik, M.A. (2018). Technologic processes of the confectionery mass formation when marmalade production. *Vestnik of the Russian Agricultural Science*, 1, 57–59. (In Russian)

15. Einhorn-Stoll, U. (2018). Pectin-water interactions in foods — from powder to gel. *Food Hydrocolloids*, 78, 109–119. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2017.05.029>

16. Guan, L., Xu, H., Huang, D. (2011). The investigation on states of water in different hydrophilic polymers by DSC and FTIR. *Journal of Polymer Research*, 18(4), 681–689. <https://doi.org/10.1007/s10965-010-9464-7>

17. Abasi, S., Podstawczyk, D. A., Sherback, A. F., Guiseppi-Elie, A. (2019). Bio-technical properties of poly(HEMA-co-HPMA) hydrogels are governed by distribution among water states. *ACS Biomaterials Science and Engineering*, 5(10), 4994–5004. <https://doi.org/10.1021/acsbomaterials.9b00705>

18. Ping, Z. H., Nguyen, Q. T., Chen, S. M., Zhou, J. Q., Ding, Y. D. (2001). States of water in different hydrophilic polymers — DSC and FTIR studies. *Polymer*, 42(20), 8461–8467. [https://doi.org/10.1016/S0032-3861\(01\)00358-5](https://doi.org/10.1016/S0032-3861(01)00358-5)

19. Osipov, M.V., Kondratyev, N.B., Kazantsev, E.V., Rudenko, O.S., Semeno-va, P.A. (2019). Effect of modified starch on the water-holding capacity of gingerbread fillings. *Vestnik of the Russian Agricultural Science*, 3, 59–62. <https://doi.org/10.30850/vrsn/2019/3/59-62> (In Russian)

20. Juarez-Enriquez, E., Olivas, G.I., Ortega-Rivas, E., Zamudio-Flores, P.B., Perez-Vega, S., Sepulveda, D.R. (2019). Water activity, not moisture content, explains the influence of water on powder flowability. *LWT*, 100, 35–39. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.10.043>

21. Ullah, N., Ullah, S., Khan, A., Ullah, I., Badshah, S. (2018). Preparation and evaluation of carrot and apple blended jam. *Journal of Food Processing & Technology*, 9(4), Article 725. <https://doi.org/10.4172/2157-7110.1000725>

22. Sirin, P. (2019). Rheological, textural, physico-chemical and sensory properties of low sugar apple marmalade. A Thesis Submitted to the Graduate School of Engineering and Sciences of İzmir Institute of Technology in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of MASTER OF SCIENCE in Food Engineering. İzmir, Turkey. Retrieved from <https://gcris.iyte.edu.tr/bitstream/11147/7352/1/T002026.pdf> Accessed August 2, 2021.

23. Mierczyńska, J., Cybulska, J., Pieczywek, P. M., Zdunek, A. (2015). Effect of storage on rheology of water-soluble, chelate-soluble and diluted alkali-soluble pectin in carrot cell walls. *Food and Bioprocess Technology*, 8(1), 171–180. <https://doi.org/10.1007/s11947-014-1392-9>

24. Khatko, Z. N., Titov, S.A., Ashinova, A.A., Kolodina, E.M. (2019). Effect of combination of pectin substances on viscosity of their aqueous solutions. *Proceedings of the Voronezh State University of Engineering Technologies*, 81(2(80)), 133–138. <https://doi.org/10.20914/2310-1202-2019-2-133-138> (In Russian)

25. Ben-Yoseph, E., Hartel, R. W. (2006). Computer simulation of sugar crystallization in confectionery products. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 7(3), 225–232. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2005.12.003>

26. Osipov, M.V., Kazantsev, E.V., Rudenko, O.S., Kondratyev, N. B. Predicting the safety of confectionery products of jelly-like consistency. *Vsyo o myase*, 5S, 257–260. <https://doi.org/10.21323/2071-2499-2020-5S-257-260> (In Russian)

27. Ergun, R., Lietha, R., Hartel, R. W. (2010). Moisture and shelf life in sugar confections. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 50(2), 162–192. <https://doi.org/10.1080/10408390802248833>

28. Sitnikova, P.B., Tvorogova, A.A. (2019). Physical changes in the structure of ice cream and frozen fruit desserts during storage. *Food systems*, 2(2), 31–35. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2019-2-2-31-35>

29. Ali, M.R., Mohamed, R.M., Abdelmaksoud, T.G. (2021). Functional strawberry and red beetroot jelly candies rich in fibers and phenolic compounds. *Food systems*, 4(2), 82–88. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2021-4-1-82-88>

30. Torres, M. D., Chenlo, F., Moreira, R. (2018). Structural features and water sorption isotherms of carrageenans: A prediction model for hybrid carrageenans. *Carbohydrate Polymers*, 180, 72–80. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2017.10.010>

| СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ   | AUTHOR INFORMATION   |
|---|--|
| <b>Принадлежность к организации</b>   | <b>Affiliation</b>   |
| <b>Кондратьев Николай Борисович</b> — доктор технических наук, главный научный сотрудник, Всероссийский научно-исследовательский институт кондитерской промышленности<br>107023, Москва, ул. Электrozаводская, д. 20<br>Тел.: +7-495-963-54-75<br>E-mail: conditerprom_lab@mail.ru<br>ORCID: <a href="https://orcid.org/0000-0003-332-9621">https://orcid.org/0000-0003-332-9621</a><br>* автор для контактов     | <b>Nikolay B. Kondratev</b> — doctor of technical sciences, chief researcher, All-Russian Research Institute of the Confectionery Industry<br>20, Electrozavodskaya Str., 107023, Moscow, Russia<br>Tel.: +7-495-963-54-75<br>E-mail: conditerprom_lab@mail.ru<br>ORCID: <a href="https://orcid.org/0000-0003-332-9621">https://orcid.org/0000-0003-332-9621</a><br>* corresponding author           |
| <b>Осипов Максим Владимирович</b> — кандидат технических наук, директор, Всероссийский научно-исследовательский институт кондитерской промышленности<br>107023, Москва, ул. Электrozаводская, д. 20<br>Тел.: +7-495-963-54-75<br>E-mail: conditerprom_lab@mail.ru<br>ORCID: <a href="https://orcid.org/0000-0002-8981-5606">https://orcid.org/0000-0002-8981-5606</a>   | <b>Maxim V. Osipov</b> — candidate of technical sciences, director, All-Russian Research Institute of the Confectionery Industry<br>20, Electrozavodskaya Str., 107023, Moscow, Russia<br>Tel.: +7-495-963-54-75<br>E-mail: conditerprom_lab@mail.ru<br>ORCID: <a href="https://orcid.org/0000-0002-8981-5606">https://orcid.org/0000-0002-8981-5606</a>   |
| <b>Руденко Оксана Сергеевна</b> — кандидат технических наук, заместитель директора по научной работе, Всероссийский научно-исследовательский институт кондитерской промышленности<br>107023, Москва, ул. Электrozаводская, д. 20<br>Тел.: +7-495-962-17-40<br>E-mail: oxana0910@mail.ru<br>ORCID: <a href="https://orcid.org/0000-0003-2436-4100">https://orcid.org/0000-0003-2436-4100</a>                       | <b>Oxana S. Rudenko</b> — candidate of technical sciences, deputy director, All-Russian Research Institute of the Confectionery Industry<br>20, Electrozavodskaya Str., 107023, Moscow, Russia<br>Tel.: +7-495-962-17-40<br>E-mail: oxana0910@mail.ru<br>ORCID: <a href="https://orcid.org/0000-0003-2436-4100">https://orcid.org/0000-0003-2436-4100</a>  |
| <b>Казанцев Егор Валерьевич</b> — научный сотрудник, отдел современных методов оценки качества кондитерских изделий, Всероссийский научно-исследовательский институт кондитерской промышленности<br>107023, Москва, ул. Электrozаводская, д. 20<br>Тел.: +7-926-545-32-76<br>E-mail: conditerprom_lab@mail.ru<br>ORCID: <a href="https://orcid.org/0000-0001-8923-0029">https://orcid.org/0000-0001-8923-0029</a> | <b>Egor V. Kazantsev</b> — researcher, department of modern methods for assessing the quality of confectionery, All-Russian Research Institute of the Confectionery Industry<br>20, Electrozavodskaya Str., 107023, Moscow, Russia<br>Tel.: +7-926-545-32-76<br>E-mail: conditerprom_lab@mail.ru<br>ORCID: <a href="https://orcid.org/0000-0001-8923-0029">https://orcid.org/0000-0001-8923-0029</a> |
| <b>Калинкина Евгения Станиславовна</b> — техник, технологический отдел, Всероссийский научно-исследовательский институт кондитерской промышленности<br>107023, Москва, ул. Электrozаводская, д. 20<br>Тел.: +7-999-099-61-74<br>E-mail: kalinkina826@gmail.com<br>ORCID: <a href="https://orcid.org/0000-0003-0713-6667">https://orcid.org/0000-0003-0713-6667</a>  | <b>Evgeniia S. Kalinkina</b> — technician, technology department, All-Russian Research Institute of the Confectionery Industry<br>20, Electrozavodskaya Str., 107023, Moscow, Russia<br>Tel.: +7-999-099-61-74<br>E-mail: kalinkina826@gmail.com<br>ORCID: <a href="https://orcid.org/0000-0003-0713-6667">https://orcid.org/0000-0003-0713-6667</a>   |
| <b>Критерии авторства</b>   | <b>Contribution</b>  |
| Авторы в равных долях имеют отношение к написанию рукописи и одинаково несут ответственность за плагиат   | Authors equally relevant to the writing of the manuscript, and equally responsible for plagiarism  |
| <b>Конфликт интересов</b>   | <b>Conflict of interest</b>  |
| Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов   | The authors declare no conflict of interest  |