УДК 664-4
DOI: 10.17277/vestnik.2025.02.pp.311-320

ВЛИЯНИЕ СТРУКТУРООБРАЗОВАТЕЛЕЙ НА РЕОЛОГИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ НАЧИНОК ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ШОКОЛАДНЫХ КОНФЕТ

П. М. Смолихина✉, В. В. Апаршева, О. С. Харламова

Кафедра «Технологии и оборудование пищевых и химических производств», Pm_smolihina@mail.ru; ФГБОУ ВО «ТГТУ», Тамбов, Россия

Ключевые слова: вязкость начинки; крахмал; пектин; реологические показатели; структурообразователи; формование шоколадных корпусов.

Аннотация: Приведены результаты экспериментальных исследований влияния различных концентраций крахмала и пектина на свойства начинок из пюре черной смородины для обоснования возможности их использования при производстве шоколадных конфет типа «Ассорти» с жидкими начинками. Проанализировано влияние температурных режимов на вязкость плодовых начинок в зависимости от вида и концентрации используемого структурообразователя. Установлены коэффициенты уравнения Оствальда-де-Виля при различных скоростях сдвига.

Введение

Направления совершенствования технологии производства конфет типа «Ассорти» – это расширение и улучшение органолептических показателей, модернизация способов формования шоколадных оболочек, разработка новых рецептур стабильных начинок. Кроме того, отмечается необходимость коррекции состава конфет в целях снижения калорийности, улучшения питательной ценности, повышения качества [1]. Несмотря на наличие линий и автоматов для получения шоколада с начинками, на многих кондитерских предприятиях конфеты «Ассорти» производят в основном ручным способом. В качестве начинок используют различные конфетные массы – твердые, полужидкие, густые и жидкие.

Жидкие начинки на основе плодово-ягодного пюре редко используются в производстве конфет «Ассорти», хотя они востребованы среди потребителей. Это связано с большим количеством брака и сложностью формирования донышек, устойчивых к вытеканию из них начинки. Использование в технологическом процессе производства стабилизаторов структуры (крахмала, ксантановой, рожковой, гуаровой и других видов камедей, карбоксиметилцеллюлозы и ее производных и т.д.) приводит к ухудшению сенсорных показателей готовых изделий и модификации консистенции начинки в процессе хранения: постепенное упрочнение плодово-ягодного пюре с постепенной потерей его текучести.

Цель работы – проектирование рецептуры плодово-ягодной начинки для конфет типа «Ассорти» на основе оценки реологических показателей в процессе формования изделий.

Обоснование выбора структурообразователей

Клеточные стенки плодов черной смородины богаты пектиновыми веществами. Однако рецептуры начинок, изготовленных на основе этих ягод, предусматривают внесение структурообразователя. Как отмечалось выше, консистенция плодово-ягодных пюре напрямую влияет на качество формования и потребительские свойства конфет: она не должна чрезмерно желироваться при хранении, превращаясь в студень, но в то же время не должна быть чрезмерно жидкой, чтобы не усложнять процесс формования изделий и не вытекать из шоколадных корпусов при хранении конфет.

Способность гидроколлоидов придавать системе определенную вязкость широко используется на практике, что особенно актуально для ягодных полуфабрикатов, которые содержат до 80 % воды [2].

Многие гидроколлоиды представляют собой углеводы, однако, по меньшей мере, один – желатин – это белок, относящийся к продуктам животного происхождения [2].

В настоящее время промышленность выпускает несколько типов пектинов с различной степенью этерификации (**СЭ**): высокометоксилированный (СЭ 55 – 75 %, желирование происходит под действием высокой концентрации сахаров и кислот) и низкометоксилированный (СЭ 20 – 45 %, образует гели под действием сахаров и кислот, а также под действием многовалентных катионов, например, кальция). При внесении в реакционную среду аммиака происходит превращение С6-метильных эфирных групп в амидные, что приводит к образованию амидированного низкометоксилированного пектина со степенью амидирования (**СА**) 20 % и СЭ 30 %. Такие пектины желируют при низких концентрациях и требуют меньшего количества ионов кальция для гелеобразования. Кроме того, амидированный пектин менее склонен к образованию осадка при высоких концентрациях ионов кальция, что обеспечивает стабильность и улучшает текстуру продукта. Введение амидных групп в молекулу пектина положительно влияет на текстуру, механические свойства и стабильность гелей за счет уменьшения гидрофильности и формирования водородных связей [3].

Неамидированный и амидированный низкометоксилированные пектины взаимозаменяемы. Поскольку амидированный пектин дает более прочный гель, использование неамидированного для получения начинки для шоколадных конфет из плодов черной смородины является более предпочтительным.

Крахмалы представляют собой высокомолекулярные полимеры, свойства которых зависят от ботанического происхождения и формируются в процессе роста растений. Гранулы крахмала состоят из α-D-глюкопиранозных звеньев, полимеры глюкозы представлены амилозой и амилопектином. Входящие в состав крахмала мономеры соединены α-связями, α-связанные фрагменты усваиваются человеком [3]. На свойства готового продукта оказывает влияние несколько ключевых параметров: температура клейстеризации (достижение показателя сопровождается изменением вязкости, процесс желирования протекает по-разному для различных видов крахмалов), максимальная вязкость (достигается при нагревании) и вязкость, при которой нативный крахмал разрушается. Завершающей стадией процесса является гелеобразование и «садка» застывания. На этом этапе особенно заметны различия между высокоамилозными крахмалами (содержанием амилозы более 40 %) и восковыми крахмалами (содержанием амилозы менее 15 %). Высокоамилозные крахмалы более склонны к «садке» и желеобразованию по сравнению с низкоамилозными. Данный факт важно учитывать при разработке жидких систем.

Таким образом, для получения густой плодово-ягодной массы, пригодной для формования в шоколадные оболочки без последующего студнеобразования,

наиболее предпочтителен картофельный крахмал, для которого характерны низкая температура клейстеризации, образование вязких клейстеров при низкой концентрации и высокая степень деградации. Данный вид крахмала повсеместно распространен и доступен с экономической точки зрения.

Проводимые исследования направлены на изучение влияния пектина и картофельного крахмала не реологические свойства пюре из плодов черной смородины для получения конфет типа «Ассорти» с полужидкой начинкой.

Экспериментальная часть

В рамках обоснования выбора концентрации загустителя в целях достижения необходимой консистенции начинки для формования шоколадных корпусов конфет исследовали влияние концентрации пектина и крахмала на вязкость смородинового полуфабриката.

Пюре из плодов черной смородины представляет собой сложную систему, состоящую из природных многокомпонентных органических полимеров. Вязкие свойства такой системы, не подчиняющейся закону вязкости Ньютона, можно описать степенным уравнение Оствальда-де-Виля

$$\tau = K\dot{y}^{n},$$

где τ – напряжение сдвига, Па; K – коэффициент консистенции, зависящий от природы материала; $\dot{y}$ – скорость деформации, $с^{-1}$; n – индекс течения.

В рамках проведенных исследований установлены коэффициенты уравнения Оствальда-де-Виля (табл. 1), вязкость и напряжение при различных скоростях сдвига. Полученные кривые (рис. 1) эффективно описываются степенной функцией в широком диапазоне скоростей сдвига (коэффициент аппроксимации не менее 0,95).

Реологическая константа уравнения (индекс течения) отражает степень отклонения течения аномальных жидкостей от ньютоновских и применяется в расчетах процессов переработки полимеров.

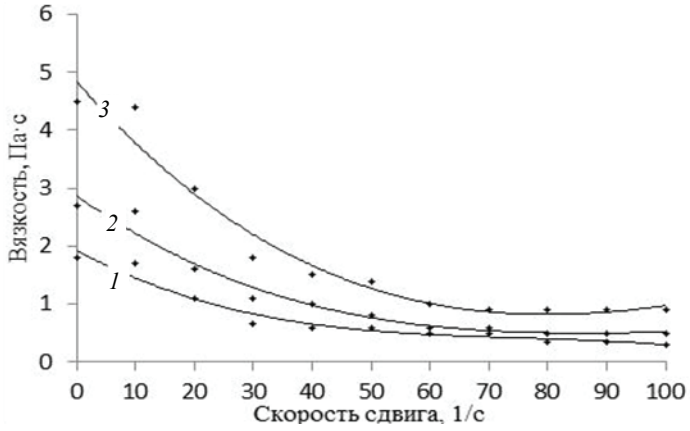
Для полимеров, обладающих высокоэластичными свойствами и вязкостью, индекс течения находится в пределах нескольких десятых и зависит от молекулярной массы, структуры цепей, а также от концентрации наполнителя и температуры [3].

Анализ представленных на рис. 1 данных позволяет отнести контрольный образец начинки из плодов черной смородины к псевдопластичным жидкостям ($n < 1$), поскольку вязкость образца снижается с ростом скорости сдвига. Снижение вязкости в результате ослабевания сопротивления между отдельными слоями массы связано с изменением структуры молекул начинки: частицы черной смородины и молекулы пектина, вращаясь под действием ротора, располагаются параллельно движению его поверхности [3, 4].

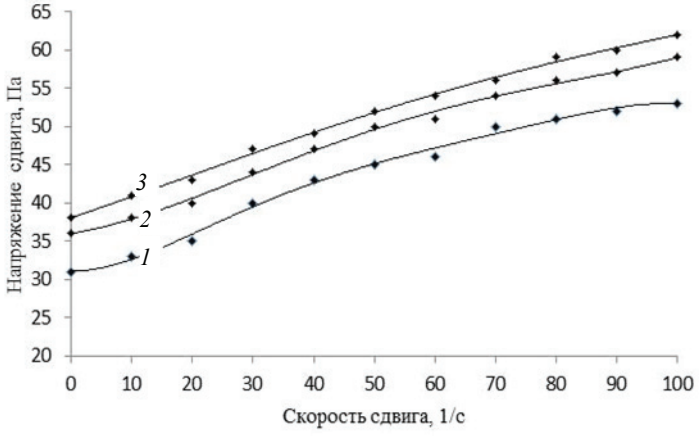
Таблица 1

Коэффициенты уравнения Оствальда-де-Виля для контрольного образца

Коэффициенты уравнения	Температура, °С		
	50 ± 2	25 ± 2	18 ± 2
K	24,60	23,54	22,91
n	0,1836	0,2006	0,2194
Достоверность аппроксимации	0,9563	0,9548	0,9571



а)



б)

Рис. 1. Кривые вязкости (*а*) и течения (*б*) для контрольного образца начинки при температуре,°С: *1* – 50; *2* – 25; *3* – 18

Высокомолекулярные углеводы, перешедшие в раствор при нагревании плодово-ягодного сырья, дифференцируются степенью полимеризации, этерификации и другими свойствами. Так, пектиновые вещества, полученные при температуре выше 80 °С, отличаются более высокой молекулярной массой и имеют высокую метоксильную составляющую, чем растворенные вещества при низких температурах, что объясняется гидролизом протопектина и превращением его в пектиновые вещества [3].

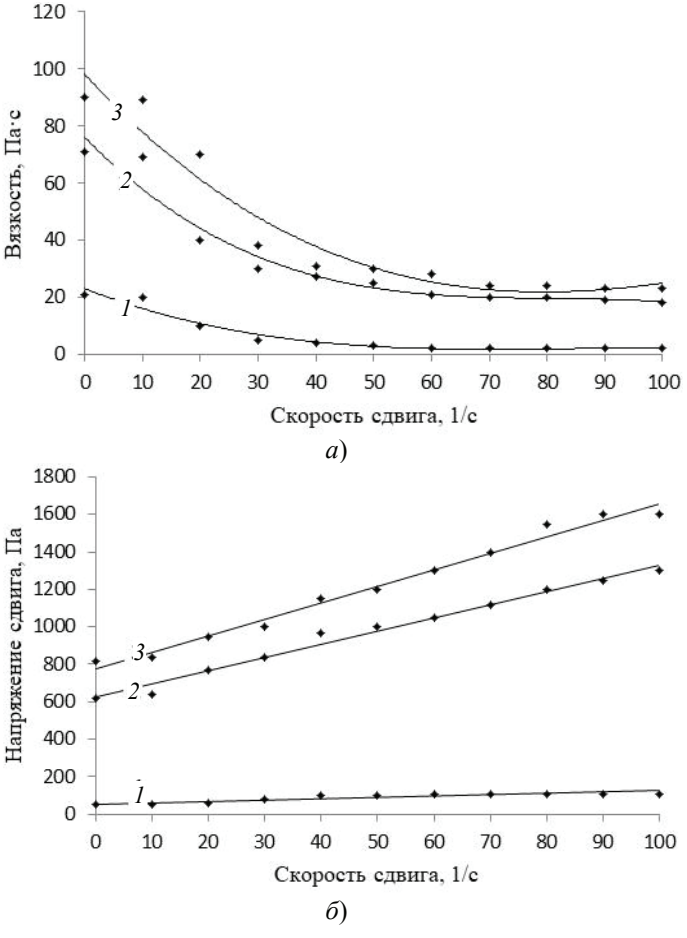
Пектиновые компоненты пюре из черной смородины находятся в состоянии ограниченного набухания и представляют собой двухкомпонентную систему: насыщенный водный раствор полисахарида и полимер, насыщенный водой. Повышение температуры на стадии уваривания начинки вызывает дисбаланс в системе [3]. Однако температурные режимы получения начинки не позволяют провести полный гидролиз пектиновых веществ, содержащихся в черной смородине. Кроме того, в ягодное пюре, согласно рецептуре, дополнительно вносится сахарный сироп, поэтому для получения требуемой консистенции смеси необходимо дополнительное внесение загустителя.

На основании проведенных экспериментальных исследований установлено, что при внесении в начинку низкометоксилированного пектина, вязкость ягодной смеси значительно возрастает (табл. 2, рис. 2). Анализ полученных графических данных свидетельствует о четкой корреляции между вязкостью начинки и содер-

Таблица 2

Коэффициенты уравнения Оствальда-де-Виля для образцов с пектином

Коэффициенты уравнения	Температура, °С								
	50 ± 2			25 ± 2			18 ± 2		
	1 %	3 %	5 %	1 %	3 %	5 %	1 %	3 %	5 %
K	7,845	69,14	113,5	248,1	288,9	392,7	557,6	591,5	705,4
n	0,444	0,336	0,391	0,198	0,332	0,303	0,205	0,368	0,372
Достоверность аппроксимации	0,998	0,987	0,997	0,976	0,987	0,983	0,982	0,987	0,979



а)

б)

Рис. 2. Кривые вязкости (*а*) и течения (*б*) для экспериментальных образцов начинки с низкометоксилированным пектином при температуре формования 18 °С и концентрации, %: *1* – 1; *2* – 3; *3* –5

жанием пектина: во всех экспериментальных образцах прирост концентрации пектина на 1 % приводил к повышению вязкости в диапазоне 10…15 Па·с. Важно отметить, что при различных температурах образцов характер зависимостей оставался практически неизменным. Параллельно установлено, что увеличение доли пектина на 1 % приводило к росту напряжения сдвига в среднем на 50…70 Па.

Вязкость начинок снижается по экспоненте при увеличении скорости деформации до 40…50 $с^{-1}$, после чего изменяется линейно. При больших скоростях деформации (после 60 $с^{-1}$) вязкость изменяется незначительно, что свидетельствует о частичном обратимом разрушении структуры [5 – 7].

Зависимость напряжения сдвига имеет обратный характер: с ростом скорости деформации значение напряжения сдвига увеличивается. Причем при скорости деформации до 30 об/мин изменения незначительны, а при дальнейшем увеличении скорости происходит резкий рост, который несколько замедляется по мере приближения значения скорости к 50 об/мин.

Анализируя коэффициенты уравнения, можно заметить, что коэффициент консистенции *K* наиболее чувствителен к изменению концентрации пектина в образцах и достигает максимального своего значения при содержании пектина в образце в количестве 5 %. При уменьшении температуры коэффициент консистенции значительно увеличивается, причем наибольшее изменение значения коэффициента (в 32 раза) наблюдается при наименьшей концентрации пектина 0,5 %.

Индекс течения для образцов с пектином имеет прямую зависимость от температуры пробы: чем выше температура, тем выше индекс течения для образца с конкретной концентрацией пектина. При высокой температуре с увеличением концентрации индекс течения уменьшается, при низкой температуре с увеличением концентрации пектина – возрастает. Это объясняется тем, что при остывании начинается процесс гелеобразования, то есть происходит формирование пространственной структуры пектинового каркаса [5 – 7].

При приближении температуры начинки к температуре формования вязкость достигает максимальных значений, при концентрации 3 – 5 % начинается процесс студнеобразования массы. При концентрации 0,5 – 1 % – консистенция гелеобразная, что позволяет эффективно сформировать донышки шоколадных корпусов, однако по истечении 2 – 4 суток хранения начинка превращается в мягкий студень.

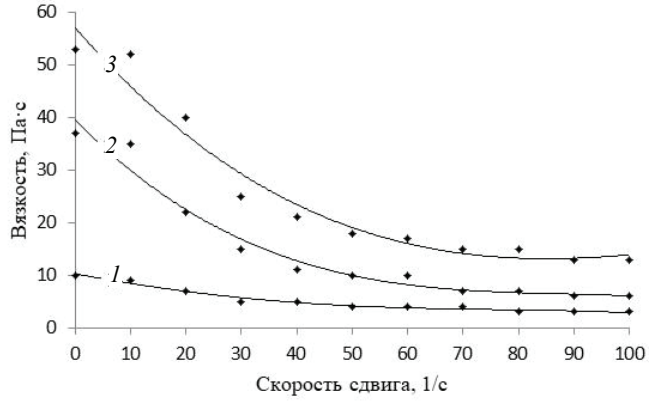
Сухие вещества крахмала, представленные нерастворимыми волокнами и зернами, оказывают влияние на формирование необходимой структуры и повышают вязкость начинок. Кроме того, внесение данного растительного полисахарида в рецептуру пюре из плодово-ягодного сырья оказывает влияние на такие параметры конечного продукта, как выход, вкус, сроки хранения и др. [5 – 7].

Крахмал хорошо набухает в водной среде при температуре 50 °С, а при 65 °С начинает клейстеризоваться, что удобно для получения жидких начинок. Кривые течения пюре из плодов черной смородины с добавлением крахмала представлены на рис. 3, коэффициенты уравнения – в табл. 3.

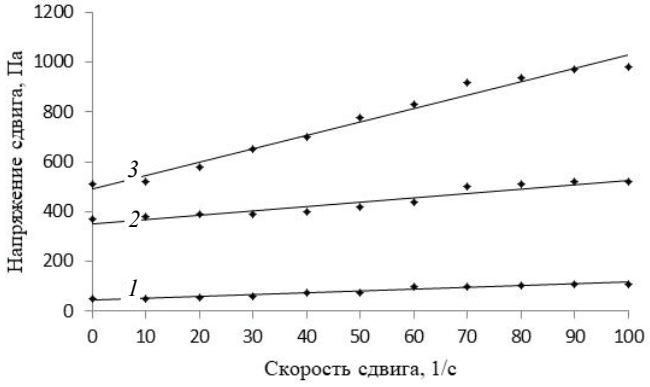
Реологические исследования выявили закономерности изменения вязкости экспериментальных образцов от скорости деформации: в начальном диапазоне скоростей деформации (в интервале 10…30 $с^{-1}$) наблюдалось экспоненциальное резкое снижение вязкости начинок; при дальнейшем увеличение скорости сдвига (в интервале 30…100 $с^{-1}$) показатель вязкости снижался постепенно, достигая стабильных минимальных значений.

Полученные экспериментальные данные (см. рис. 3) свидетельствуют о выраженной зависимости реологических свойств начинки от концентрации крахмала. Установлено, что прирост содержания крахмала на 2 % во всех экспериментальных образцах приводил к увеличению вязкости в среднем на 15 Па·с. При этом температура исследуемых образцов не оказывала существенного влияния на характер выявленных зависимостей.

При достижении температуры 60 °С , являющейся точкой клейстеризации, наблюдалась максимальная вязкость начинки. В этом состоянии крахмальные гранулы интенсивно гидратируют и увеличиваются до максимального размера [8]. В связи с отсутствием дальнейшего нагрева, достигнутые размеры гранул крахмала сохраняются в течение всего срока хранения продукта.



а)



б)

Рис. 3. Кривые вязкости (*а*) и течения (*б*) для образцов начинки с крахмалом при температуре формования 18 °С и концентрации, %:
1 – 1; *2* – 3; *3* – 5

Таблица 3

Коэффициенты уравнения Оствальда-де-Виля для образцов с крахмалом

Коэффициенты уравнения	Температура, °С								
	60 ± 2			25 ± 2			18 ± 2		
	1 %	3 %	5 %	1 %	3 %	5 %	1 %	3 %	5 %
K	23,32	90,45	170,6	49,80	226,9	251,6	73,35	237,15	184,92
n	0,285	0,260	0,297	0,265	0,170	0,302	0,276	0,249	0,315
Достоверность аппроксимации	0,990	0,964	0,991	0,970	0,935	0,996	0,987	0,991	0,985

Реологические исследования выявили, что при низких скоростях деформации изменения напряжения сдвига практически отсутствуют. При достижении критического значения скорости деформации наблюдается незначительный рост напряжения сдвига, который постепенно замедляется и стабилизируется. Это связано с реструктуризацией системы вблизи вращающегося ротора.

Установлено, что повышение содержания крахмала на 2 % приводит к увеличению напряжения сдвига в диапазоне от 120 до 390 Па, причем это более заметно проявляется при высоких скоростях деформации. Анализ реологических кривых (см. рис. 3) подтвердил наличие положительной корреляции между на-

пряжением сдвига и скоростью деформации: с увеличением скорости механического воздействия наблюдается рост напряжения сдвига. Причем, при скорости деформации до 30 об/мин изменения незначительны, при дальнейшем увеличении скорости происходит резкий рост, который несколько замедляется по мере приближения значения скорости к 50 об/мин.

С увеличением концентрации крахмала и уменьшением температуры коэффициент консистенции *K* возрастает, что связано с процессами набухания и клейстеризации зерен крахмала, приводящими к постепенному образованию коагуляционной структуры.

Индекс течения для образцов с крахмалом при температуре (50 ± 2) °С изменяется незначительно для разных концентраций крахмала, поэтому исследуемые массы можно отнести к вязкопластичным материалам. Для остывших образцов разница значений данного коэффициента уже больше, что связано с изменением консистенции начинки – при остывании происходит частичное гелеобразование структуры.

Заключение

Таким образом, в качестве загустителя рекомендуется использование крахмала с концентрацией 3 %, так как именно крахмал позволяет получать необходимую жидкую консистенцию начинки без образования студня. Формование корпусов осуществляют следующим образом. Оттемперированная шоколадная масса поступает на отливку в предварительно подогретые поликарбонатные формы. Формы с шоколадом подвергаются вибрации для равномерного заполнения пустот и удаления пузырьков воздуха, затем их переворачивают на 180° с последующей вертикальной вибрацией для удаления излишков шоколада и получения ячейки со стенками одинаковой толщины. Вытекший шоколад собирается и возвращается на темперирование. Формы возвращаются в первоначальное положение и охлаждаются при температуре 8…10 °С, после затвердевания шоколада они подаются на дозирование начинки. Каждая ячейка наполняется начинкой, имеющей температуру 25…28 °С. В целях предотвращения смешения начинки из черной смородины с шоколадом при заливке донышка необходимо, чтобы на поверхности образовалась тонкая пленка. Для этого формы охлаждают при температуре 8…10 °С. Конечными операциями производства конфет типа «Ассорти» на основе начинки из черной смородины является заливка донышек шоколадом, охлаждение в течение 25…30 мин и извлечение готовых изделий из форм с минимальным количеством брака.

Список литературы

1. Фролова, Н. А. Методологические подходы к созданию функциональных сахаристых кондитерских изделий : монография / Н. А. Фролова, И. Ю. Резниченко. – Благовещенск : Амурский государственный университет, 2020. – 144 с. doi: 10.22250/madfs.2020

2. Габдукаева, Л. З. Влияние структурообразователей на потребительские характеристики мармеладных изделий / Л. З. Габдукаева, Т. Ю. Гумеров, О. А. Решетник // Индустрия питания. – 2020. – Т. 5, № 1. – С. 50 – 57. doi: 10.29141/2500-1922-2020-5-1-6

3. Пищевые загустители, стабилизаторыи гелеобразователи / ред.-сост. А. Аймесон ; пер. с англ. С. В. Макарова. – СПб. : Профессия, 2012. – 408 с.

4. Нуриева, Э. Н. Поверхностные явления и дисперсные системы / Э. Н. Нуриева, Т. Р. Сафиуллина, С. В. Вдовина. – Москва-Берлин : Директмедиа Паблишинг, 2020. – 139 с.

5. Бывалец, О. А. Технология кондитерского производства : учеб. пособие / О. А. Бывалец. – М. : Вологда : Инфра-Инженерия, 2023. – 120 с.

6. Павлов, А. Н. Физико-химические и коллоидно-химические основы пищевой технологии : учеб. пособие для студентов технологических направлений подготовки всех форм обучения / А. Н. Павлов. – М. : Московский государственный университет технологий и управления им. К. Г. Разумовского (Первый казачий университет), 2015. – 58 с.

7. Зубченко, А. В. Физико-химические основы технологии кондитерских изделий : учебник для вузов / А. В. Зубченко. – 2-е изд., перераб. и доп. – Воронеж : Воронеж. гос. технол. акад., 2001. – 386 с.

8. Зубченко, А. В. Влияние физико-химических процессов на качество кондитерских изделий / А. В. Зубченко. – М. : Агропромиздат, 1986. – 295 с.

Influence of Structure-Forming Agents on Rheological Properties of Fillings in the Production of Chocolate Candies

P. M. Smolikhina✉, V. V. Aparsheva, O. S. Kharlamova

Department of Technology and Equipment for Food and Chemical Productio, Pm_smolihina@mail.ru; TSTU, Tambov, Russia

Keywords: viscosity of filling; starch; pectin; rheological parameters; structure-forming agents; molding of chocolate shells.

Abstract: The article presents the results of experimental studies of the influence of different concentrations of starch and pectin on the properties of blackcurrant puree fillings to substantiate the possibility of their use in the production of chocolate candies of the "Assorted" type with liquid fillings. The influence of temperature conditions on the viscosity of fruit fillings is analyzed depending on the type and concentration of the structure-forming agent used. The coefficients of the Ostwald-de-Wille equation are determined at different shear rates.

References

1. Frolova N.A., Reznichenko I.Yu. *Metodologicheskiye podkhody k sozdaniyu funktsional'nykh sakharistykh konditerskikh izdeliy: monografiya* [Methodological approaches to the creation of functional sugar confectionery products: monograph], Blagoveshchensk: Amurskiy gosudarstvennyy universitet, 2020, 144 p. doi: 10.22250/madfs.2020 (In Russ.)

2. Gabdukayeva L.Z., Gumerov T.Yu., Reshetnik O.A. [Influence of structure-forming agents on consumer characteristics of marmalade products], *Industriya pitaniya* [Food industry], 2020, vol. 5, no. 1, pp. 50-57. doi: 10.29141/2500-1922-2020-5-1-6 (In Russ., abstract in Eng.)

3. Aymeson A. (Comp.-Ed.); Makarova S.V. (Trans.) *Pishchevyye zagustiteli, stabilizatoryi geleobrazovateli* [Food thickeners, stabilizers and gelling agents], St. Petersburg: Professiya, 2012, 408 p. (In Russ.)

4. Nuriyeva E.N., Safiullina T.R., Vdovina S.V. *Poverkhnostnyye yavleniya i dispersnyye sistemy* [Surface phenomena and disperse systems], Moscow-Berlin: Direktmedia-Pablishing, 2020, 139 p. (In Russ.)

5. Byvalets O.A. *Tekhnologiya konditerskogo proizvodstva: ucheb. posobiye* [Confectionery production technology: textbook], Moscow; Vologda: Infra-Inzheneriya, 2023, 120 p. (In Russ.)

6. Pavlov A.N. *Fiziko-khimicheskiye i kolloidno-khimicheskiye osnovy pishchevoy tekhnologii: ucheb. posobiye dlya studentov tekhnologicheskikh napravleniy podgotovki vsekh form obucheniya* [Physicochemical and Colloid-Chemical Foundations of Food Technology: a textbook for students of technological areas of training of all forms of education], Moscow: Moskovskiy gosudarstvennyy universitet tekhnologiy i upravleniya im. K.G. Razumovskogo (Pervyy kazachiy universitet), 2015, 58 p. (In Russ.)

7. Zubchenko A.V. *Fiziko-khimicheskiye osnovy tekhnologii konditerskikh izdeliy: uchebnik dlya vuzov* [Physicochemical foundations of confectionery technology: textbook for universities], Voronezh: Voronezh. gos. tekhnol. akad., 2001, 386 p. (In Russ.)

8. Zubchenko A.V. *Vliyaniye fiziko-khimicheskikh protsessov na kachestvo konditerskikh izdeliy* [Influence of physical and chemical processes on the quality of confectionery products], Moscow: Agropromizdat, 1986, 295 p. (In Russ.)

Einfluss von Strukturierungsmitteln auf rheologische Parameter von Füllungen bei der Herstellung von Schokoladen

Zusammenfassung: Der Artikel präsentiert die Ergebnisse experimenteller Studien über den Einfluss unterschiedlicher Stärke- und Pektinkonzentrationen auf die Eigenschaften von Füllungen aus schwarzem Johannisbeerpüree, um die Möglichkeit ihrer Verwendung bei der Herstellung von Pralinenmischungen mit flüssigen Füllungen zu untermauern. Der Einfluss der Temperaturbedingungen auf die Viskosität von Fruchtfüllungen ist abhängig von der Art und Konzentration des eingesetzten Strukturbildners analysiert. Die Koeffizienten der Ostwald-de-Wille-Gleichung sind für unterschiedliche Schergeschwindigkeiten ermittelt.

Influence de la structuration sur les paramètres rhéologiques des garnitures dans la production des chocolats

Résumé: Sont cites les résultats des études expérimentales sur l'influence de différentes concentrations d'amidon et de pectine sur les propriétés des garnitures de purée de cassis pour justifier la possibilité de leur utilisation dans la production des chocolats de type «Assorti» avec des garnitures liquides. Est analysé l'effet des régimes de température sur la viscosité des garnitures de fruits en fonction du type et de la concentration de l'agent structural utilisé. Sont établis les coefficients de l'équation d'Ostwald-de Waele à différents taux de cisaillement.

Авторы: ***Смолихина Полина Михайловна*** – кандидат технических наук, доцент кафедры «Технологии и оборудование пищевых и химических производств»; ***Апаршева Вера Викторовна*** – кандидат технических наук, заместитель начальника управления образовательных программ; ***Харламова Оксана Сергеевна*** – ассистент кафедры «Технологии и оборудование пищевых и химических производств», ФГБОУ ВО «ТГТУ», Тамбов, Россия.