

Применение Инновационных Технологий в Производстве Помадных Конфет

Л.В. Зайцева^{а)}, Т.В. Баулина, Ю.А. Ускова, М.А. Пестерев и А.И. Акимов¹⁻⁵

Author Affiliations

¹⁻⁵Всероссийский научно-исследовательский институт кондитерской промышленности (ВНИИКП) – филиал ФГБНУ «ФНЦ пищевых систем им. В.М. Горбатова» РАН, 107023, ул. Электrozаводская 20 стр.3, Москва, Россия

Author Emails

^{а)} Corresponding author: conditerprom@mail.ru

Аннотация. Изучены изменения физико-химических и органолептических свойств неглазированных сливочных помадных конфет, обусловленные заменой крахмальной патоки на инвертные сиропы. Кислый инвертный сироп (IS) и инвертный сироп с применением кавитационной обработки (IS_{cav}) получали по разработанным во ВНИИКП технологиям. С применением стандартных методов исследованы плотность, динамическая вязкость, активность воды в инвертных сиропах и помадных сиропах на их основе. Изучена микроструктура помадных масс и изменение массовой доли влаги в процессе хранения готовых изделий. Установлено, что использование IS_{cav} в рецептуре дает наилучшие результаты. Применение кавитации при производстве инвертного сиропа позволяет получать продукт со 100-ной инверсией сахарозы, влажностью 20%, с дисперсностью среды 0,2-0.4 мкм. IS_{cav} по сравнению с IS имеет более высокие показатели динамической вязкости, активности воды, и меньшую плотность. Увеличение дисперсности системы приводит к лучшему удержанию влаги помадными конфетами в процессе их хранения (35 сут, 5 °С, негерметично) при соблюдении допустимых нормативных показателей микробиологической безопасности. Помадные конфеты на IS_{cav} характеризуются мелкокристаллической текстурой, что обеспечивает им более нежную, таящую во рту консистенцию по сравнению с изделиями на патоке.

Ключевые слова: помадные конфеты, инвертный сироп, кавитационная обработка, физико-химические показатели, хранение

1. ВВЕДЕНИЕ

Помадная масса является гетерогенной системой, в которой жидкая фаза представлена насыщенным раствором сахарозы в присутствии патоки, а твердая фаза представлена различными по величине кристаллами сахарозы. Одним из недостатков помадной конфетной массы является потеря влаги при хранении, что приводит к увеличению содержания твердой фазы или черствению. Реологические характеристики относятся к важнейшим физико-химическим показателям, определяющим качество кондитерских масс и особенности различных технологических процессов их переработки. Для получения продукции со стабильными качественными характеристиками необходимо учитывать особенности реологического поведения используемого сырья и полуфабрикатов. В настоящий момент известно три способа уменьшения скорости влагопереноса, один из которых заключается в увеличении упругости пара над жидкой фазой помадной массы с помощью таких добавок как инвертный сироп, яичный белок, фруктовое пюре или сочетанием всех трех компонентов.

Качество гетерофазных пищевых систем также зависит от их дисперсионных свойств. Применяя различные воздействия (ультразвуковые, электрические и магнитные поля, СВЧ и т.п.), можно изменять

свойства пищевых систем [1-6]. Инновационным вектором развития в кондитерском производстве считается применением теории механо-химических процессов в смесях жидких и твердых фаз. Одним из таких процессов является кавитационная обработка.

«Кавитация – это образование в жидкой фазе пузырьков (каверн), заполненных паром, газом или их смесью. В ультразвуковой волне во время полупериодов разрежения возникают кавитационные пузырьки, которые резко схлопываются после перехода в область повышенного давления, порождая сильные гидродинамические возмущения в жидкости и интенсивное излучение акустических волн. При этом в дисперсной системе происходит разрушение твердых частиц, граничащих с кавитирующей жидкостью» [7].

Применение кавитационной обработки для изменения реологических свойств гетерофазных пищевых сред имеет официальное разрешение в Российской Федерации. Во Всероссийском научно-исследовательском институте кондитерской промышленности разработаны и апробированы способы обработки гетерофазных пищевых систем с применением кавитационных воздействий [8-11].

Также специалистами института разработан способ получения кислого инвертного сиропа с применением кавитационной обработки. При этом, полученный инвертный сироп имеет практически однородную вязкую консистенцию с равномерной дисперсностью частиц [12]. Использование кавитационно обработанного инвертного сиропа открывает перспективы для разработки кондитерских изделий с увеличенным сроком годности и повышенными органолептическими и физико-химическими показателями.

Целью данной работы являлось изучение органолептических и физико-химических показателей помадных масс, полученных путем замены патоки на кислый инвертный сироп, прошедший кавитационную обработку.

2. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследования проводились во Всероссийском научно-исследовательском институте кондитерской промышленности (ВНИИКП) – филиал ФГБНУ «ФНЦ пищевых систем им. В.М. Горбатова» РАН.

Для выполнения экспериментальной работы были выбраны сливочные помадные конфеты с неглазированными корпусами по рецептуре [13]. Основным сырьем для их производства являются сахар белый, молоко сгущенное с сахаром (жирность 8,5%), масло сливочное (жирность 72,5%), патока крахмальная.

В модельных образцах произведена замена крахмальной патоки на кислые инвертные сиропы, полученные по разработанным во ВНИИКП технологиям, с применением и без применения кавитационной обработки [7]. Расчет количества вносимого сиропа осуществляли с учетом соблюдения одинакового количества содержания сухих и редуцирующих веществ в контрольном и модельных образцах.

Кавитационную обработку сахарного сиропа осуществляли на лабораторной установке марки «Сиринкс 250-К» (ООО «Астор-С», РФ), в которой совмещены акустические и гидродинамические воздействия на жидкую среду.

Исследование динамической вязкости инвертных и помадных сиропов проводили на ротационном вискозиметре Rheotest RV5.1 («Messgerate Medingen GmbH», Германия) с использованием цилиндрического измерительного устройства.

Методика измерения плотности (ρ) инвертных и помадных сиропов заключалась в измерении массы вещества (m) в заданном объеме (v) с последующим расчетом по известной формуле.

Массовую долю влаги помадных масс определяли с помощью анализатора влажности MB-23 («OHAUS Corp.», США).

Активность воды инвертных и помадных сиропов определяли на приборе AquaLab 3TE («Decagon Devices, Inc.», США).

Анализ микроструктуры помадных масс проводили на цифровом микроскопе Bresser LCD 50x-2000x («Bresser», Германия) с увеличением в 100 раз.

Все исследования проводили в 3-х повторностях. Достоверность результатов исследований оценивали по критерию Стьюдента при доверительном интервале $\leq 0,05$.

3. РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В соответствии с целью исследования на первом этапе были изучены свойства кислого инвертного сиропа, полученного с применением и без применения кавитационной обработки.

Разработанная во ВНИИКП технология получения кислого инвертного сиропа (IS) заключается в приготовлении сахарного сиропа с долей сухих веществ 78-79% (вместо 70% по традиционной технологии) и его гидролиза лимонной кислотой при нагревании без последующей нейтрализации. Образование оксиметилфурфузола предотвращается очень быстрым охлаждением (15 мин) [7]. Приведенная технология позволяет обеспечивать 100%-ную инверсию сахарозы и получать IS с влажностью 20%, тогда как при традиционном способе количество редуцирующих веществ в инвертном сиропе не превышает 50% при его влажности 30%.

Для усовершенствования технологии во ВНИИКП был разработан способ получения кислого инвертного сиропа, предусматривающий кавитационную обработку раствора сахара с лимонной кислотой [7]. Кавитацию полученной смеси осуществляли при температуре 85-90 °С в течение 60 мин. Нагретая смесь с помощью насоса поступает в камеру кавитационной обработки (реактор), где проходит через узкий зазор, образованный стенками трубопровода и ультразвуковым преобразователем, излучающим высокочастотные колебания (рисунок 1).

Необходимо отметить, что смесь изначально содержит большое количество зародышей воздушных пузырьков. Из-за резкого увеличения скорости потока при одновременном значительном снижении давления в области сужения обеспечивается значительный рост газовых пузырьков с накоплением на их поверхности потенциальной энергии. Таким образом, происходит гидродинамическая кавитация, отражающая принцип действия трубки «Вентури». Одновременно под воздействием ультразвукового преобразователя (частота колебаний более 24 кГц, амплитуда 1-3 мкм) происходит акустическая кавитация, обеспечивающая образование волн, где на подъеме волны дополнительно в условиях вакуумирования происходит дальнейший рост пузырьков, а на спуске волны обеспечивается сдавливание пузырьков с одновременной концентрацией энергии. В конечном итоге за счет максимального накопления энергии происходит ее выброс (холодный взрыв) при частичном схлопывании пузырьков воздуха с образованием ударных волн, обеспечивающих максимальное диспергирование частиц твердой фазы.

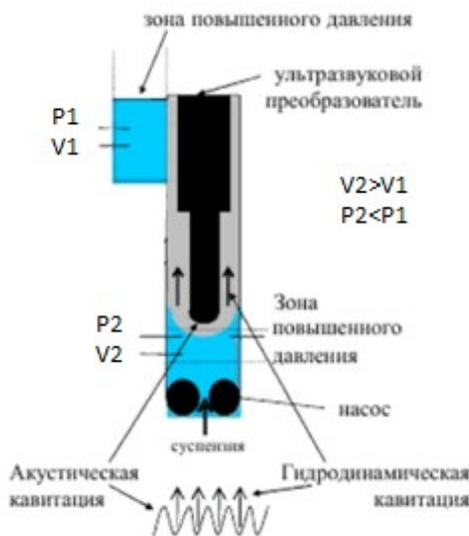


РИСУНОК 1. Принципиальная схема камеры кавитационной обработки инвертного сиропа, где V_1 , V_2 – скорость потока сиропа, P_1 и P_2 – давление в потоке [7]

На выходе из реактора происходит снижение скорости потока жидкости до первоначальной, резкое возрастание давления, и схлопывание оставшихся пузырьков воздуха, что сопровождается нагревом реакционной смеси. Описываемые воздействия способствуют максимальному диспергированию частиц до 0,2-0,4 мкм с увеличением их количества и образованием пространственных структур. Этот процесс препятствует седиментации и кристаллообразованию. Инвертный сироп после кавитационной обработки (IS_{cav}) сливают в технологическую емкость и быстро охлаждают до 60 °С для предотвращения образования оксиметилфурфузола. Полученный таким способом IS_{cav} (рН 2-3) может храниться без выпадения кристаллов длительное время (по предварительным исследованиям не менее трех лет).

Кавитационная обработка инвертного сиропа вызывает существенные изменения его физических свойств. IS_{cav} является полностью прозрачным раствором, тогда как у IS наблюдается опалесценция.

Исследование плотности IS и IS_{cav} позволило установить, что кавитационная обработка изменяет плотность инвертного сиропа в сторону ее снижения (Таблица 1). Это впоследствии приводит и к некоторому снижению плотности помадного сиропа с использованием в рецептуре IS_{cav} , что находит свое отражение в получении более воздушной и нежной структуры конечного изделия.

ТАБЛИЦА 1. Влияние кавитационной обработки на плотность инвертного и помадного сиропов

Объект исследования	Значение плотности, г/см ³
IS	1560,01
IS_{cav}	1514,47
Помадный сироп, приготовленный на IS	1429,79
Помадный сироп, приготовленный на IS_{cav}	1407,43

Кавитационная обработка кислого сахарного сиропа оказывает также влияние на показатель активности воды, характеризующий количество «свободной» влаги, как у полученного инвертного сиропа, так и у помадного сиропа, приготовленного на IS_{cav} (Таблица 2).

ТАБЛИЦА 2. Влияние кавитационной обработки на показатель активности воды в инвертном и помадном сиропсах

Объект исследования	Значение активности воды
IS	0,537
IS_{cav}	0,576
Помадный сироп, приготовленный на IS	0,790
Помадный сироп, приготовленный на IS_{cav}	0,787

Как видно из приведенных данных в IS_{cav} наблюдается некоторое увеличение количества «свободной» влаги, что в дальнейшем создает благоприятные условия для ее адсорбционного и осмотического связывания, способствует удерживанию влаги в процессе хранения помадных конфет и замедлению их черствения. Повышение количества «свободной» влаги в дисперсионной среде также способствует образованию адсорбционных оболочек из дисперсионной среды вокруг максимально возможного количества частиц твердой фазы. В результате повышается относительная подвижность частиц твердой фазы, что подтверждается некоторым снижением плотности IS_{cav} (Таб. 1).

Исследование зависимости коэффициента динамической вязкости IS и IS_{cav} от скорости деформации (скорость сдвига) показало, что увеличение скоростей деформации в интервале 0,3...0,6 с⁻¹ приводит к значительному повышению коэффициента динамической вязкости с 8,5 до 23,7 Па·с и с 17,0 до 66,3 Па·с, соответственно (Рисунок 2а). При дальнейшем увеличении скорости деформации в интервале 0,6...5,4 с⁻¹ коэффициент динамической вязкости изменяется незначительно, практически оставаясь на постоянном уровне. При повышении скорости деформации выше 5,4 с⁻¹ коэффициент динамической вязкости снижается, что свидетельствует о переходе системы из связнодисперсного в свободнодисперсное состояние.

При этом для IS_{cav} при сходном характере кривых отмечен более высокий коэффициент динамической вязкости при всех скоростях деформации, чем для IS . Это свидетельствует о наличии большего количества взаимодействий между твердой и жидкой фазами благодаря уменьшению размера частиц сахара при кавитации и увеличению их количества в 75-80 раз. Также для IS_{cav} характерно более резкое снижение коэффициента динамической вязкости с ростом скорости деформации свыше 5,4 с⁻¹.

Исследованы изменения коэффициентов динамической вязкости помадных сиропов до стадии взбивания (охлажденные до 60 °С), приготовленных с использованием IS и IS_{cav} (Рис. 2б). Установлено, что увеличение скоростей деформации в интервале 0,3...0,6 с⁻¹ приводит к повышению коэффициента динамической вязкости помадных сиропов с 187,5 до 388 Па·с и с 477,2 до 605,9 Па·с, соответственно. С повышением скорости деформации более 1,0 с⁻¹ коэффициент динамической вязкости резко снижается, что свидетельствует о разрушении структурированной системы. Следует отметить, что при всех скоростях деформации у помадного сиропа на IS_{cav} наблюдаются более высокие коэффициенты динамической вязкости. Использование IS_{cav} увеличивает число центров кристаллизации и их удельную поверхность, что приводит к увеличению вязкости помадного сиропа. Помадный сироп на IS_{cav} имеет более выраженную упруговязкопластичную структуру.

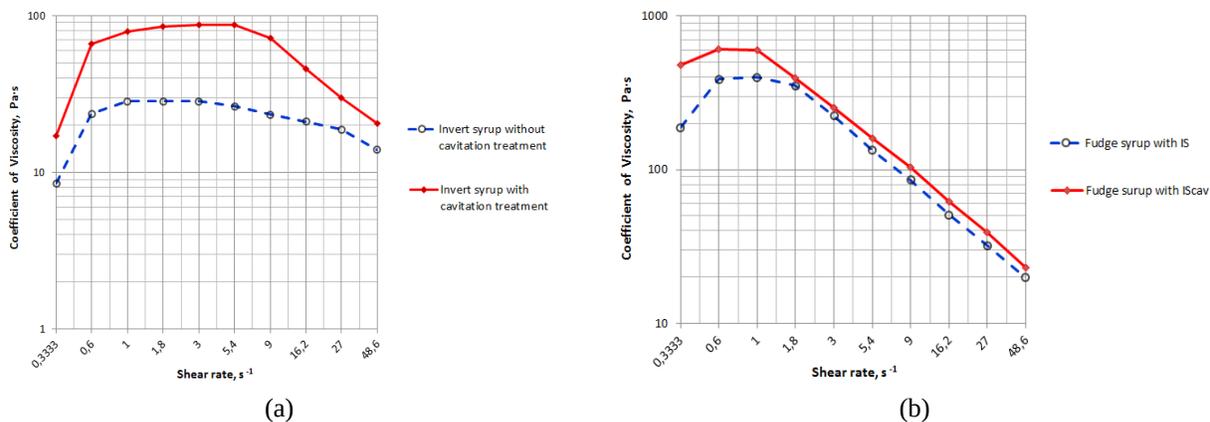


РИСУНОК 2. Зависимость коэффициента динамической вязкости от скорости деформации: а) для инвертных сиропов; б) для помадных сиропов

Проведено исследование микроструктуры помадных масс, полученных на крахмальной патоке и инвертных сиропах (Рисунок 3). Использование инвертных сиропов вместо патоки при приготовлении помадных конфет позволяет значительно уменьшить размер образующихся кристаллов. Значительное повышение дисперсности помадной массы наблюдается при использовании IS_{cav} за счет увеличения в нем количества твердых частиц при уменьшении их размера. Это оказывает свое влияние на качество получаемой помады. Мелкокристаллическая текстура полученной помадки обеспечивала ей в конечном итоге нежную, тягущую во рту консистенцию, не утрачивающуюся до конца срока их хранения (35 сут).

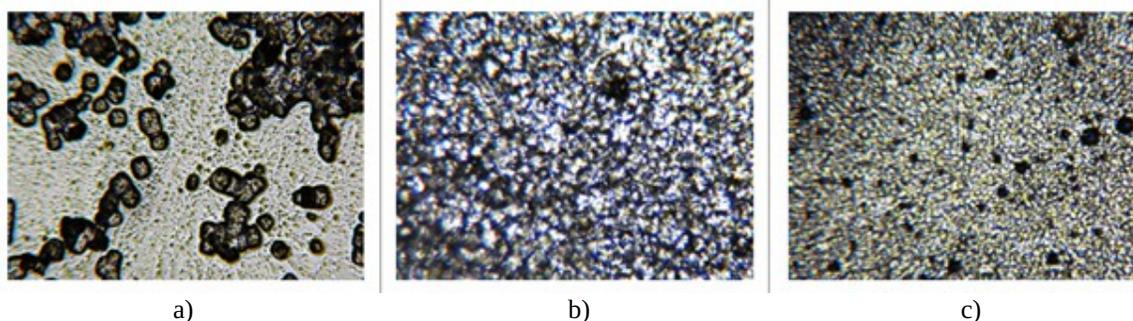


РИСУНОК 3. Микроструктура помадных конфет при увеличении в 100 раз: а) на патоке; на инвертных сиропах: б) IS; в) IS_{cav}

Повышенное количество редуцирующих веществ в IS и IS_{cav} по сравнению с крахмальной патокой делает помаду более устойчивой к засахариванию. Было проведено сравнительное изучение потери влаги в процессе хранения помадных конфет, приготовленных на патоке, а также с использованием IS и IS_{cav} (Рисунок 4). Проведенные исследования позволили установить, что помадные конфеты, приготовленные с использованием инвертных сиропов, лучше удерживают влагу в процессе хранения, что свидетельствует о замедлении протекания в них процессов черствения. Наилучшие результаты достигнуты с использованием IS_{cav} , в этом случае в конце срока хранения массовая доля влаги в помадных конфетах была выше на 15% по сравнению с изделиями на патоке.

Исследование показателей микробиологической порчи помадных конфет, полученных на крахмальной патоке, IS и IS_{cav} , после 35 суток хранения при 5 °C в картонных коробках (негерметично) без дополнительного внесения пищевых добавок, включая консерванты, показало, что исследуемые показатели находятся в пределах допустимой нормы (Таблица 3).

При этом помадные конфеты, полученные на инвертных сиропах, к концу хранения характеризовались меньшим количеством мезофильных аэробных и факультативно анаэробных микроорганизмов по сравнению с конфетами, выработанными на патоке.

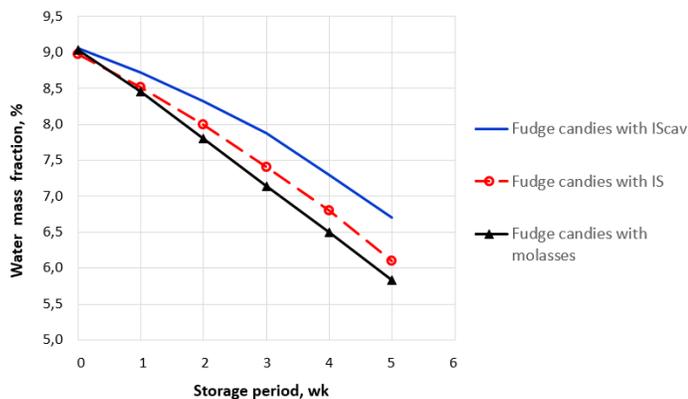


РИСУНОК 4. Зависимость массовой доли влаги от срока хранения помадных конфет

ТАБЛИЦА 3. Показатели микробиологической порчи для помадных масс, выработанных на патоке и инвертных сиропах, после хранения (35 сут, 5 °С в картонных коробках)

Помадная масса, выработанная	Анализируемая часть изделия	КМАФАнМ, КОЕ/г	Плесени, КОЕ/г	Дрожжи, КОЕ/г
на патоке	Корпус	7 x 10	10	0
	Начинка	12 x 10	20	0
на IS	Корпус	6 x 10	10	0
	Начинка	10 x 10	20	0
на IS _{cav}	Корпус	5 x 10	10	0
	Начинка	9 x 10	20	0
Микробиологические нормативы безопасности [14]		5 x 10 ³	50	10

4. ВЫВОДЫ

В соответствии с целью исследования на первом этапе были изучены свойства кислого инвертного сиропа, полученного с применением и без применения кавитационной обработки. Изучение органолептических и физико-химических показателей помадных масс, выработанных путем замены крахмальной патоки на кислые инвертные сиропы, полученные с применением и без применения кавитационных воздействий, подтвердило целесообразность такой замены с точки зрения повышения качества помадных конфет. Разработанные во ВНИИКП способы приготовления инвертных сиропов (IS, IS_{cav}) позволяют достигнуть 100%-ной инверсии сахарозы при влажности сиропов 20%. При этом использование кавитационной обработки на стадии приготовления инвертного сиропа приводит к получению степени дисперсности среды на уровне 0,2-0,4 мкм. Таким образом, IS_{cav} является высококонцентрированной дисперсной системой, что приводит к изменению его физико-химических показателей относительно IS, и как следствие оказывает влияние и на изменение физико-химических показателей помадных сиропов и помадных масс.

Кавитационная обработка сахарного сиропа способствует увеличению количества «свободной» влаги в IS_{cav}, что в дальнейшем создает благоприятные условия для ее адсорбционного и осмотического связывания и способствует удержанию в процессе хранения помадных конфет. Это было подтверждено исследованием потери влаги в процессе хранения помадных конфет (5 недель), приготовленных с использованием IS и IS_{cav}. Помадные конфеты на IS_{cav} характеризовались на 15% более высоким содержанием влаги по сравнению с помадными конфетами на патоке, что свидетельствует о более длительном сохранении потребительских свойств. Повышению количества «свободной» влаги способствует образование адсорбционных оболочек из дисперсионной среды вокруг максимально возможного количества частиц твердой фазы, в результате повышается их относительная подвижность, что приводит к некоторому снижению плотности IS_{cav} и помадной массы на его основе.

Использование высококонцентрированного и высокодисперсного IS_{cav} при получении помадного сиропа способствует повышению коэффициента динамической вязкости последнего за счет увеличения числа

центров кристаллизации и их удельной поверхности. Помадный сироп на IS_{cav} имеет более выраженную упруговязкопластичную структуру.

Использование при производстве помадной массы IS и IS_{cav} вместо крахмальной патоки обеспечивает конечному изделию мелкокристаллическую структуру (особенно на IS_{cav}), нежную, таящую во рту консистенцию. Показатели микробиологической порчи для всех исследованных помадных масс не превышали установленных нормативов.

БЛАГОДАРНОСТИ

Коллектив авторов выражает благодарность М. А. Талейснику за концептуальную помощь в проведении исследований по получению инвертных сиропов с применением кавитационных воздействий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. O. Krasulya, V. Bogush, I. Potoroko, L. Tsirulnichenko, S. Khmelev, S. Anandan, *Agronomy Research* **16**(S2), 1396 (2018).
2. I. Potoroko, I. Kalinina, R. Fatkullin, V. Botvinnikova, O. Krasulya, U. Bagale, S. H. Sonawane, *Ultrasonics Sonochemistry* **48**, 463 (2018).
3. L. Qiu, M. Zhang, B. Chitrakar and B. Bhandari, *Ultrasonics sonochemistry* **68**, 105230 (2020).
4. F. Chen, M. Zhang and Ch.-H. Yang, *Ultrasonics sonochemistry* **63**, 104953 (2020).
5. R. Cui and F. Zhu, *Ultrasonics sonochemistry* **66**, 105118 (2020).
6. V. A. Romanova, D. A. Pomogova, I. A. Kirsh, O. V. Beznaeva, O. A. Bannikova, I. S. Tveritnikova, *Food Processing Industry* **7**, 58 (2019).
7. Л. М. Аксенова, В. К. Кочетов, А. Б. Лисицын, К. Н. Никольский, В. А. Панфилов, Н. В. Подхомутов, А. А. Семенова, М. А. Талейсник, *Пищевые технологии будущего и нанопреобразования биополимеров* (Диапазон-В, Краснодар, 2015).
8. L. M. Aksenova, *Food processing industry* **11**, 50 (2015).
9. О. С. Руденко, М. А. Пестерев, Н. Б. Кондратьев, М. А. Талейсник и А. Е. Баженова, *Вестник ВГУИТ* **82**(4), 163 (2020).
10. М. А. Талейсник, Л. М. Аксенова, А. И. Акимов, И. И. Мизинчикова и М. А. Пестерев, *Вестник ВГУИТ* **82**(4), 17 (2020).
11. О. С. Руденко, М. А. Пестерев, М. А. Талейсник, Н. Б. Кондратьев и А. Д. Сакуллари, *Все о мясе* **5S**, 304 (2020).
12. T. V. Savenkova, M. A. Talejsnik, N. A. Scherbakova, S. Yu. Misteneva and I. I. Mizinchikova, *Food Technology* **1** (378), 43 (2021).
13. Рецептуры на конфеты и ирис, том 2 (ВНИИКП, Москва, 1986), с. 178.
14. Технический регламент Таможенного Союза ТР ТС 021/2011 «О безопасности пищевой продукции», 74-78 (2011), available at <http://24.rospotrebnadzor.ru/s/24/files/links/NormMetodObesp/TehRegTS/98765.pdf>