

УДК 664.149
https://doi.org/10.47612/2073-4794-2021-14-3(53)-19-31

Поступила в редакцию 02.08.2021
Received 02.08.2021

Е. М. Моргунова, Т. В. Шугаева, К. Н. Гершончик

*РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по продовольствию»,
г. Минск, Республика Беларусь*

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ РАЗРАБОТКИ КОНДИТЕРСКИХ ИЗДЕЛИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПОЛИОЛОВ

Аннотация: В статье обоснована актуальность разработки кондитерских изделий со сниженным содержанием легкоусвояемых углеводов и пониженной калорийностью, в том числе пригодных для диабетического питания. Проведен сравнительный анализ технологических и физиологических свойств подсластителей (полиолов), показавший перспективность использования сорбита, ксилита, мальтита и мальтитного сиропа для изготовления батончиков-мюсли без добавления сахара, в т.ч. пригодных для диабетического питания. Изучены процессы термообработки сиропов с данными подсластителями, подобраны уравнения регрессии, позволяющие определить содержание сухих веществ в сиропе при определенной температуре или установить температуру, до которой необходимо уваривать сироп для достижения требуемого содержания сухих веществ. Изучено влияние подсластителей на динамическую вязкость сиропов и прочность готовых батончиков. Проведено определение массовой доли общего сахара (в пересчете на сахарозу), по результатам которого разработанные изделия отнесены к специализированной продукции диабетического питания. На основании комплексного анализа полученных результатов определен оптимальный подсластитель (мальтитный сироп) и разработаны рецептуры батончиков-мюсли без добавления сахара «Злаки с малиной», «Злаки с фундуком», «Злаки с черникой».

Ключевые слова: подсластители, полиолы, сорбит, ксилит, мальтит, мальтитный сироп, батончики-мюсли без добавления сахара, реологические характеристики.

A. M. Marhunova, T. V. Shugaeva, K. N. Gershonchik

*RUE “Scientific and Practical Centre for Foodstuffs of the National
Academy of Sciences of Belarus”, Minsk, Republic of Belarus*

TECHNOLOGICAL ASPECTS OF DEVELOPMENT CONFECTIONERY PRODUCTS' WITH POLYOLS

Abstract: The article substantiates the relevance of the development of confectionery products with a reduced content of easily digestible carbohydrates and content of calories', including those suitable for diabetic nutrition. A comparative analysis of the technological and physiological properties of sweeteners (polyols) was carried out and showed the prospects of using sorbitol, xylitol, maltitol and maltitol syrup for the manufacture of musli-bars without added sugar, including those suitable for diabetic nutrition. The processes of heat treatment of syrups with sweeteners are studied, regression equations are selected that allow determining the dry matter content in the syrup at a certain temperature or setting the temperature to which it is necessary to boil the syrup to achieve the required dry matter content. The influence of sweeteners on the dynamic viscosity of syrups and the strength of bars is studied. The determination of the mass fraction of total sugar (in terms as sucrose) was carried out, according to the results of which the developed products were classified as specialized products of diabetic nutrition. The complex analysis allowed to determine the optimal sweetener and, based on the results obtained, developed recipes for musli-bars without added sugar: «Cereals with raspberries», «Cereals with hazelnuts», «Cereals with blueberries».

Key words: sweeteners, polyols, sorbitol, xylitol, maltitol, maltitol syrup, musli-bars without added sugar, rheological characteristics.

Введение. В Беларуси, как и во всем мире, остро стоит проблема ежегодного увеличения заболеваемости сахарным диабетом [1 - 7]. Кроме того, растет число лиц с избыточным весом и ожирением. Эти заболевания вызваны в первую очередь нарушением структуры питания (регулярное пот-

ребление избыточного количества легкоусвояемых углеводов и жиров, при дефиците жизненно необходимых макро- и микронутриентов — пищевых волокон, витаминов, минеральных веществ) и малоподвижным образом жизни [8, 9].

Кондитерские изделия пользуются стабильным потребительским спросом, в связи с чем актуальными являются исследования по разработке кондитерских изделий со сниженным гликемическим откликом, уменьшенной концентрацией легкоусвояемых углеводов и калорийностью, повышенным содержанием пищевых волокон, т.е. адаптированных по составу и пищевой ценности к потребностям организма людей, страдающих сахарным диабетом и имеющих избыточный вес [10, 11]. Следовательно, актуальной задачей является расширение ассортимента специализированных кондитерских изделий на основе современных подсластителей [12].

Цель работы — изучение влияния подсластителей на формирование показателей качества батончиков-мюсли без добавления сахара.

Методы исследований. В работе использовали стандартные и специальные методы исследований: массовую долю влаги сиропов определяли по стандартной методике, указанной в [13]; динамическую вязкость сиропов определяли на вискозиметре коаксиально-цилиндрического типа «Reolab QC». Интервал температур, в котором проводились измерения, выбран с учетом режимов формования; предел прочности батончиков-мюсли определяли на анализаторе текстуры «Brookfield СТ3» путем измерения предельного усилия нагружения подвижного инструмента в виде пластины, обеспечивающей разрушение батончика-мюсли, помещенного на уголки опоры [14], определение органолептических показателей качества батончиков-мюсли — по [15].

Результаты исследований и их обсуждение. Основным традиционным сырьем, которое обуславливает сладкий вкус кондитерских изделий является сахар (сахароза). При производстве кондитерских изделий сахар выполняет роль не только носителя сладкого вкуса, но также и структурообразователя. Так, при производстве карамели сахар способствует образованию аморфной структуры, помадных конфет — кристаллической структуры, мармелада на пектине — студнеобразной структуры, пастилы, зефира, маршмеллоу — пенообразной структуры и коагуляционно-кристаллизационной структуры кексов, пряников [16].

Рекомендуемый уровень суточного потребления сахарозы составляет 65 г [17]. Чрезмерное ее употребление способствует развитию гипергликемии, усиленному выбросу инсулина в кровь, истощению инсулинового аппарата, ведет к развитию сахарного диабета. Увеличенное количество сахарозы, которое поступает в организм человека, не может полностью депонировать в виде гликогена и превращаться в триглицерид, что способствует развитию жировой ткани, увеличению содержания холестерина в крови и развитию ряда тяжелых сердечно-сосудистых заболеваний. Приведенные негативные свойства сахарозы вызывают необходимость ее замены, при этом актуальным является сохранение традиционных органолептических характеристик кондитерских изделий [16].

На первом этапе провели анализ сырьевых компонентов, обладающих потенциалом для замены сахара.

В настоящее время роль заменителей сахара выполняют низкокалорийные объемные подсластители (сахарные спирты (полиолы), гидрогенизированные гидролизаты крахмала), высокоинтенсивные подсластители (аспартам, сахарин, сукралоза и др.), а также натуральные сырьевые ингредиенты (полидекстроза, инулин, олигофруктоза и др.).

Полиолы являются редуцированной формой сахаров, в промышленных условиях получаемых из соответствующих сахаридов путем каталитической гидрогенизации (за исключением эритрита, получаемого ферментацией глюкозы). При гидрогенизации фруктозы получается маннит, ксилозы — ксилит, мальтозы — мальтит, лактозы — лактит, а гидрогенизация глюкозного сиропа дает гидрогенизированный гидролизат крахмала.

Полиолы представляют собой неферментируемые слизистой кишечника, неперевариваемые, плохо усваиваемые углеводы, в связи с чем они являются субстратом для сахаролитических и ацидогенных (кислотообразующих) микроорганизмов толстой кишки, снижают энергетическую ценность пищевой продукции. Полиолы не ферментируются бактериями полости рта, следовательно, предотвращается образование кислоты и снижения значения pH, в связи с чем снижается риск возникновения кариеса.

Сахарные спирты не обладают редуцирующими свойствами, так как альдегидная группа сахара редуцирована до спирта, из-за чего они не вступают в реакцию Майяра. Полиолы в своем большинстве устойчивы к действию кислот и способны выдерживать длительное воздействие высоких температур.

Кроме того, некоторые виды полиолов наряду с функцией подсластителей выполняют функцию влагоудерживающих агентов, другие — обеспечивают снижение активности воды, регулирования процесса кристаллизации [18, 19].

Основные технологические свойства углеводов и подсластителей приведены в табл. 1. [18].

Таблица 1. Основные технологические свойства углеводов и подсластителей
Table 1. The main technological properties of carbohydrates and sweeteners

Наименование углеводов и подсластителей	Молекулярная масса	Относительная сладость	Растворимость в воде при 25 °С, г / 100 мл	Теплота растворения, кал / г	Относительная влажность для начала водопоглощения при 20 °С, %	Пороговое слабительное действие, г / сут	Энергетическая ценность*, ккал / г
Сахароза	342	100	185	–4,3	84	–	4,0
Эритрит	122	60–70	61	–43,9	90	Сильное	0
Ксилит	152	100	200	–36,6	85	50	2,4
Сорбит	182	60	235	–26,5	65	50	2,4
Маннит	182	50	22	–28,9	90	20	2,4
Мальтит	344	90	175	–5,5	89	100	2,4
Лактит	344	40	140	–13,9	85	20–50	2,4
Изомальт	344	40–50	39	–9,4	85	50	2,4

*Значения, принятые в странах Евразийского экономического союза (далее — ЕАЭС)

Молекулярная масса подсластителей влияет на структуру, консистенцию и функциональные свойства готового изделия. Использование подсластителей с молекулярной массой близкой к сахарозе позволит получить изделие с характеристиками, аналогичными продукции на сахарозе [19].

Из данных табл. 1 следует, что молекулярная масса сахарных спиртов варьирует в широком диапазоне — от очень низкой у эритрита (122) до 600 у мальтитных сиропов. Молекулярная масса мальтита, лактита и изомальта одинакова (344) и близка к сахарозе (342).

Степень и профиль сладости являются одним из основных факторов в восприятии вкуса и качества продукции без добавления сахара, обусловлены молекулярной массой и структурой подсластителя.

Из данных табл. 1 следует, что степень сладости полиолов (за исключением ксилита, мальтита) гораздо ниже сахарозы.

Ксилит — самый сладкий из полиолов, степень и профиль сладости которого эквивалентны сахарозе [19, 20].

Кроме того, степень и профиль сладости близкие к сахарозе, отсутствие горечи, сильного охлаждающего эффекта и неприятного металлического привкуса характерно для мальтита [21].

Растворимость сахарных спиртов влияет на восприятие сладости в готовом изделии. Изделия на основе высокорастворимых сахарных спиртов характеризуются быстрым началом ощущения сильной сладости, на основе плохо растворимых сахарных спиртов — слабой, но дольше ощущаемой сладостью [19].

Эритрит, изомальт, маннит характеризуются самой низкой растворимостью, в связи с чем быстро кристаллизуются при пересыщении растворов. Их применение целесообразно в изделиях с низким содержанием влаги, низкой гигроскопичностью и быстрой кристаллизацией. Наиболее сходными с сахарозой свойствами растворимости обладают мальтит, сорбит, лактит и ксилит [19].

По сравнению с сахарозой у полиолов отрицательная теплота растворения больше, за исключением мальтита (–5,5 кал / г), у которого она примерно равна сахару (–4,3 кал / г). Растворение кристаллических форм полиолов в воде происходит с поглощением тепла, в связи с чем при употреблении изделий, в которых подсластители находятся в кристаллическом виде, возникает «охлаждающий эффект».

Медленное всасывание полиолов обуславливает их меньшую калорийность по сравнению сахаром. На территории стран ЕАЭС энергетическая ценность всех полиолов независимо от их вида принята 2,4 ккал / г (за исключением эритрита, калорийность которого 0) [16].

О пригодности использования подсластителей в диабетическом питании следует судить по величине их гликемического индекса, который отражает гликемическую реакцию организма на углевод. Гликемический индекс представляет собой величину от 0 до 100, которая ранжирует углеводы по степени повышения уровня глюкозы в крови после употребления данного продукта [22]. Низким ГИ считаются значения от 0 до 55, средним — 56 - 69, высоким — 70 и выше [19].

В табл. 2 представлены величины гликемического индекса и реакция на инсулин для различных углеводов и подсластителей [19].

Таблица 2. Величины гликемического индекса и реакция на инсулин для различных углеводов подсластителей
Table 2. The values of the glycemic index and the reaction to insulin for various carbohydrates sweeteners

Наименование углеводов и подсластителей	Гликемический индекс, г-экв глюкозы / 100 г	Инсулиновый отклик, г-экв глюкозы / 100 г	Реакция на инсулин
Глюкоза	100	100	Высокая
Сахароза	68	45	Средняя
Эритрит	0	2	Очень низкая
Ксилит	12	11	Очень низкая
Сорбит	9	11	Очень низкая
Маннит	0	0	Очень низкая
Мальтит	45	27	Низкая
Лактит	5	4	Очень низкая
Изомальт	9	6	Очень низкая
Мальтитный сироп:	48	35	Низкая
- с высоким содержанием мальгита;			
- со средним содержанием мальгита;	53	41	Низкая
- обычный;	52	44	Низкая
- высокополимеризованный	36	31	Очень низкая

Бактерии полости рта не вырабатывают ферменты, необходимые для расщепления сахарных спиртов, организм человека также. В желудочно-кишечном тракте полиолы всасываются медленно, для их метаболизма не требуется инсулин. Поэтому они могут применяться для изготовления кондитерских изделий диabetического питания. Вместе с тем, неполное усвоение и медленное всасывание полиолов при определенном уровне их потребления может привести к нарушению осмотического баланса и (или) их ферментации бактериями в нижних отделах желудочно-кишечного тракта с ощущением дискомфорта в виде метеоризма и диареи, что обусловлено чрезмерным одноразовым употреблением полиолов, при этом степень послабляющего действия полиолов зависит от их типа.

Пороговые значения суточного потребления полиолов указаны в табл. 1 [18]. На слабительное действие сахарных спиртов влияют индивидуальная реакция, возраст, микробиота толстой кишки, пол, состояние здоровья, прием лекарственных препаратов и др. Длительное употребление сахарных спиртов способствует адаптации организма и улучшению переносимости [19].

Данные табл. 1 свидетельствуют, что наибольшая способность оказывать слабительное действие свойственна лактиту и манниту.

Следует отметить, что к аналогичным побочным эффектам может привести чрезмерное употребление пищевых волокон, простых сахаров (сахарозы, фруктозы).

В соответствии с [16] маркировка кондитерских изделий, изготовленных с применением подсластителей, должна содержать информацию следующего содержания:

«Содержит подсластители. При чрезмерном употреблении могут оказывать слабительное действие», а также «Предельно допустимый уровень потребления подсластителей» (при его наличии).

С учетом растворимости, степени сладости, предельно допустимого уровня потребления особый интерес представляет изучение сорбита, ксилита и мальгита с целью изготовления батончиков-мюсли без добавления сахара, пригодных для диabetического питания.

Сорбит — полиол, получаемый путем каталитической конверсии D-глюкозы. Изготавливается в виде кристаллического порошка или сиропа с содержанием сухих веществ 70 %, высоко гигроскопичен, хорошо растворим в воде, устойчив в отношении кислот и нагревания [18, 19].

Сорбит (сорбитовый сироп) характеризуется способностью поглощать или выделять влагу медленнее, чем изменяется относительная влажность воздуха, начинает поглощать влагу при относительной влажности воздуха около 65 %. Для предотвращения поглощения влаги готовые изделия должны быть герметично упакованы [19].

Кристаллический сорбит полиморфен, то есть он может существовать в разных кристаллических формах. Наиболее стабилен полиморф γ , температура плавления которого составляет около 98–99 °С. Полиморфы α и β очень гигроскопичны, из-за чего их применение ограничено. Под действием влаги и теплоты эти нестабильные формы превращаются в стабильную γ -форму [18].

Сорбит слабо всасывается в желудочно-кишечном тракте и поступает в кровоток благодаря пассивной абсорбции [19, 24].

Ксилит — полиол, получаемый путем каталитической гидрогенизации ксилозы, сырьем для его изготовления является источник гемицеллюлозы (початки кукурузы, древесные опилки). Ксилит — самый сладкий из всех полиолов, хорошо растворим в воде, оптически неактивен, гигроскопичен — быстро поглощает влагу при относительной влажности выше 80 %, однако менее гигроскопичен по сравнению с сорбитом. Растворы ксилита термоустойчивы и выдерживают температуры порядка 200 °С. Вязкость ксилита ниже, чем у сахарозы и других полиолов. Смесь ксилита и сорбита в соотношении 60 : 40 или мальтита и ксилита в соотношении 80 : 20 благодаря синергизму имеет ту же сладость, что и сахароза.

В производстве сахарных кондитерских изделий ксилит чаще всего используют в производстве жевательной резинки без сахара [18, 19].

Мальтит — полиол, продукт гидрогенизации мальтозы, получаемой путем гидролиза крахмала, изготавливают в виде кристаллического порошка или в виде мальтитного сиропа.

Профиль сладости и ее степень (90 %) близки к сахарозе, негигроскопичен.

Сиропа на основе гидрогенизированного гидролизата крахмала и мальтитные сиропа изготавливают путем гидрогенизации глюкозных сиропов (или гидролизатов крахмала). Данные сиропа представляют собой смесь сахарных спиртов с разной длиной цепи, состав которых определяется типом исходного глюкозного сиропа. При гидрогенизации глюкозных сиропов глюкоза превращается в сорбит, мальтоза — в мальтит и т. д. во всем спектре присутствующих в данном глюкозном сиропе полимеров глюкозы. Состав сиропов на основе гидрогенизированного гидролизата крахмала (далее ГГК-сиропа) зависит от длины цепи или степени полимеризации присутствующих сахаров. Одной из категорий ГГК-сиропов являются мальтитные сиропа, получаемые путем гидрогенизации высокомальтозного сиропа, в которых должно содержаться не менее 50 % мальтита (в пересчете на сухое вещество).

ГГК-сиропа с низкой средней молекулярной массой более гигроскопичны, чем сиропа с более высокой средней молекулярной массой. Вязкость ГГК-сиропов с более высокой средней молекулярной массой выше, в связи с чем они увеличивают стабильность готовых изделий.

При нагревании, особенно в кислых условиях, ГГК-сиропа могут гидролизироваться до глюкозы и сорбита [18].

На следующем этапе изучили влияние подсластителей на формирование показателей качества батончиков-мюсли без добавления сахара.

Батончики-мюсли — кондитерские изделия, изготовленные из злаковых хлопьев и взорванных круп, жареных дробленых ядер орехов, масличных семян, сушеных фруктов, соединенных сиропом на основе различных углеводов.

В литературных источниках присутствуют лишь единичные публикации, относящиеся к технологии производства батончиков-мюсли, предназначенных для диабетического питания, поэтому целесообразным является проведение научных исследований в данной области.

На рынке Республики Беларусь батончики-мюсли, позиционируемые как продукты без добавления сахара, представлены импортной продукцией на мальтозе, фруктозе, глюкозе, однако эти углеводы являются сахарами и не пригодны для диабетического питания. Кроме того, данные изделия имеют достаточно высокую стоимость.

В литературе отсутствуют данные о совместном применении подсластителей. Интерес представляет изучение влияния мальтита, мальтитного сиропа, сорбита, ксилита и их смесей на технологические процессы изготовления и качество батончиков-мюсли.

Так как сироп является обязательным полуфабрикатом при изготовлении батончиков-мюсли, то на первом этапе изучили процессы термообработки сиропов: провели три серии экспериментов по матрице планирования, приведенной в табл. 3.

Таблица 3. Матрица планирования эксперимента
Table 3. Experiment planning Matrix

№	Наименование и содержание подсластителей в сиропе, %		
	Мальтит	Мальтитный сироп	Сорбит
1	100	0	0
2	0	100	0
3	0	0	100
4	50	50	0
5	0	50	50
6	50	0	50
7	33,3	33,3	33,3

В первой использовали мальтит, мальтитный сироп, сорбит, во второй – мальтит, мальтитный сироп, ксилит, в третьей — мальтитный сироп, ксилит, сорбит.

Приготовление сиропа для батончиков-мюсли без добавления сахара осуществляли следующим образом. В чашку из нержавеющей стали вносили кристаллические подсластители и воду (в количестве 30 % от массы подсластителей), растворяли подсластители при нагревании, затем, если предусмотрено, добавляли мальтитный сироп, перемешивали и термически обрабатывали до 140 °С. Начиная с 100 °С через каждые 5 °С отбирали пробы сиропа, в которых определяли содержание сухих веществ рефрактометрическим методом. Кривые зависимости содержания сухих веществ от температуры обработки в сиропах на подсластителях по отдельности представлена на рис. 1, их смеси — на рис. 2.

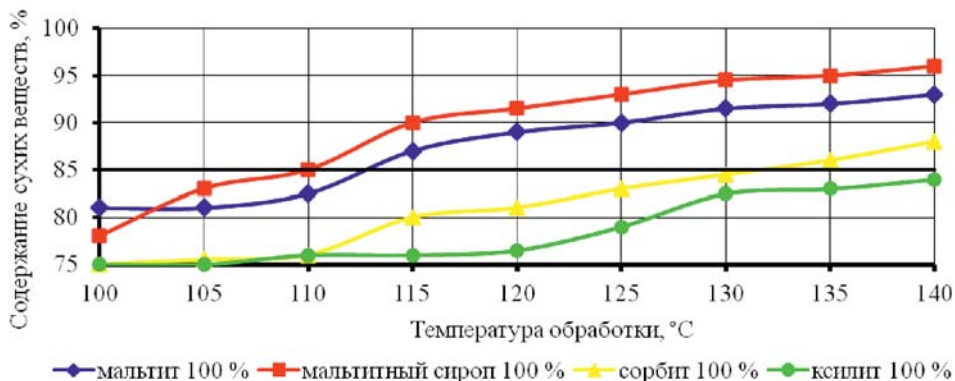


Рис. 1. Кривые зависимости содержания сухих веществ от температуры обработки в сиропах на подсластителях

Fig. 1. Curves of the dependence of the dry matter content on the processing temperature in sweetener syrups

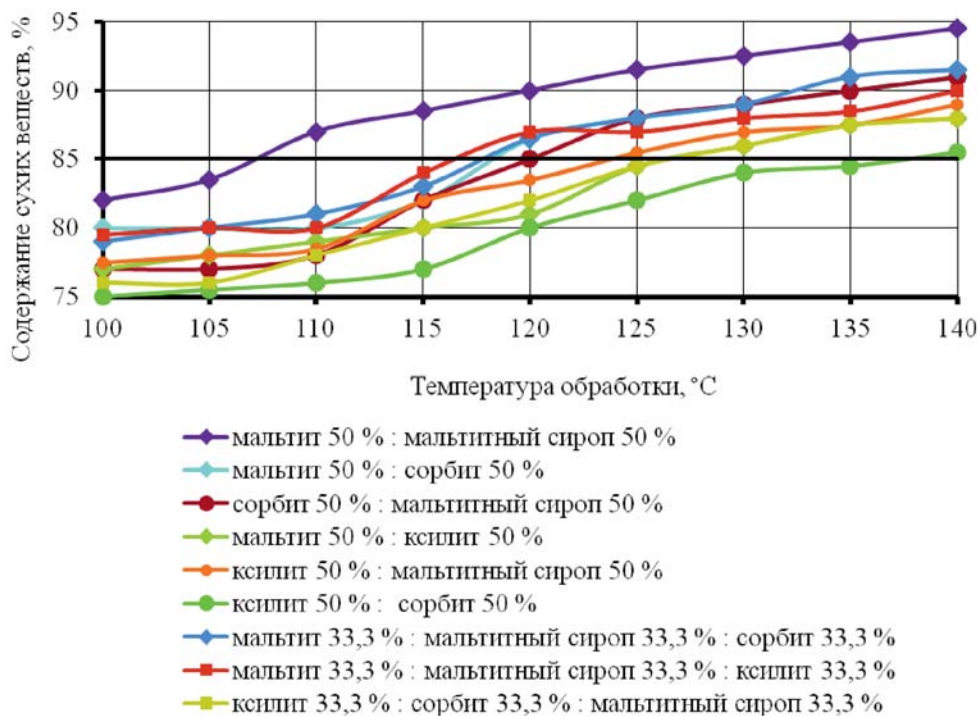


Рис. 2. Кривые зависимости содержания сухих веществ от температуры обработки в сиропах различного состава

Fig. 2. Curves of the dependence of the dry matter content on the processing temperature in syrups of various compositions

Как видно из рис. 1, 2, при увеличении температуры содержание сухих веществ увеличивается, однако динамика этого процесса отличается в зависимости от используемого подсластителя.

Анализ процесса термообработки позволил установить, что для достижения 85 % сухих веществ сироп на мальтите необходимо уварить до 113 °С. Использование мальтитного сиропа позволяет снизить температуру термообработки сиропа до 110 °С. Использование сорбита требует увеличения температуры тепловой обработки сиропа до 132 °С, при уваривании до 140 °С в сиропе из ксилита достигается только 84 % сухих веществ. Замена мальтитом и мальтитным сиропом благодаря синергизму позволяет снизить температуру термообработки сиропа до 107 °С. Благодаря высокой термостабильности мальтита, мальтитного сиропа, ксилита, сорбита, сиропы, приготовленные на их основе, при тепловой обработке не темнеют.

Подобраны уравнения регрессии, описывающие зависимость содержания сухих веществ в сиропе от температуры уваривания:

$$Y = b_0 + b_1 \times X, \quad (1)$$

где Y — содержание сухих веществ, %; X — температура, °С; b_0, b_1 — коэффициенты уравнения регрессии.

В табл. 4 представлены значения коэффициентов для уравнения (1).

Таблица 4. Значения коэффициентов уравнения регрессии (1), описывающего зависимость содержания сухих веществ в сиропах от температуры
Table 4. The values of the coefficients of the regression equation (1) describing the dependence of the dry matter content in syrups on temperature

Наименование и содержание подсластителей в сиропе, %				Значения коэффициентов		
Мальтит	Мальтитный сироп	Сорбит	Ксилит	b_1	b_0	R^2
100	0	0	0	0,3400	46,644	0,9387
0	100	0	0	0,4333	37,556	0,9124
0	0	100	0	0,3450	39,600	0,9783
0	0	0	100	0,2857	44,000	0,9167
50	50	0	0	0,3133	51,622	0,9622
50	0	50	0	0,3267	45,967	0,9306
0	50	50	0	0,4100	34,911	0,9519
33,3	33,3	33,3	0	0,3467	43,844	0,9759
50	0	0	50	0,3033	45,933	0,9685
0	50	0	50	0,3167	45,167	0,9704
0	0	50	50	0,300	43,944	0,9593
33,3	33,3	0	33,3	0,2883	50,289	0,9211
0	33,3	33,3	33,3	0,3433	40,800	0,9796

Полученные зависимости позволяют определить содержание сухих веществ в данном сиропе при определенной температуре или установить температуру, до которой необходимо уваривать сироп с заданным содержанием сухих веществ.

С целью определения вида подсластителя на следующем этапе изучили зависимость вязкости сиропов от их компонентного состава. Провели три серии экспериментов по матрице планирования, приведенной в табл. 3.

Для исследований изготавливали сахаро-паточно-инвертный сироп (контроль) и сиропы без добавления сахара. Кривые зависимости вязкости сиропов (контроль и сиропы с максимальным содержанием подсластителя) от температуры охлаждения приведены на рис. 3, результаты определения оптимальной вязкости представлены на рис. 4 а, б, в (для первой, второй и третьей серии экспериментов).

Установлено, что вязкость сахаро-паточно-инвертного сиропа (контроль) выше, чем сиропов с использованием подсластителей (рис. 3.) Высокую вязкость сиропам на сахаре придает патока вследствие высокого содержания декстринов [24]. Вязкость сиропа на мальтитном сиропе при температуре 90 °С составляет 0,47 Па·с, что ниже вязкости контроля (0,69 Па·с) на 32 %. Полученные данные позволяют предположить, что батончики-мюсли на мальтитном сиропе будут иметь более мягкую консистенцию. Сироп с дозировкой мальтитного сиропа 100 % имеет значение вязкости более близкое к контролю.

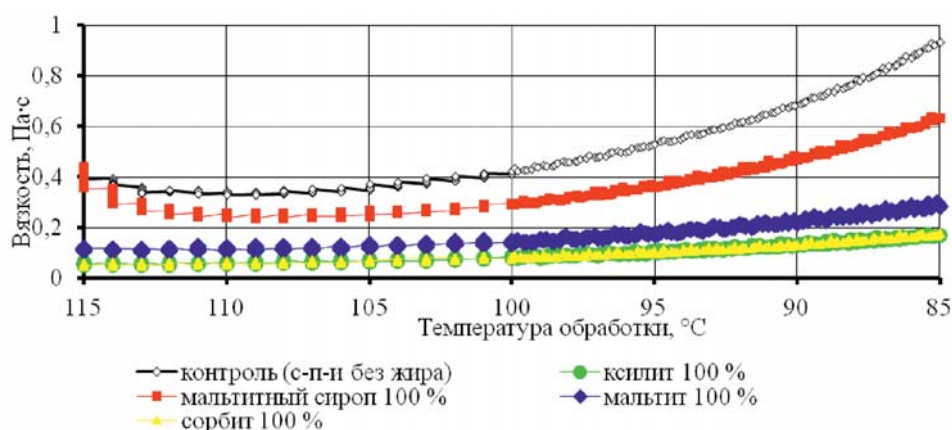


Рис. 3. Кривые зависимости вязкости от температуры в сиропах на подсластителях
 Fig. 3. Curves of the dependence of viscosity on temperature in syrups on sweeteners

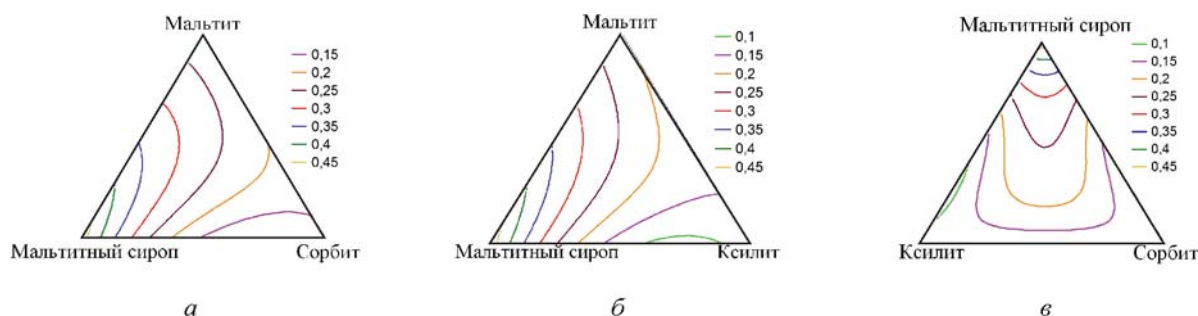


Рис. 4. Контурные кривые поверхности отклика вязкости сиропа
 Fig. 4. Contour curves of the syrup viscosity response surface

Следует отметить, что синергический эффект увеличения вязкости при использовании смеси подсластителей отсутствует (рис. 4). Так, при добавлении мальтита, ксилита и сорбита к мальтитному сиропу вязкость сиропов существенно снижается по сравнению с вязкостью сиропа с максимальным содержанием мальтитного сиропа.

Подобраны уравнения, описывающие зависимость вязкости от вида подсластителя и его содержания:

$$Y = k_1X_1 + k_2X_2 + k_3X_3 + k_{12}X_1X_2 + k_{13}X_1X_3 + k_{23}X_2X_3 + k_{123}X_1X_2X_3, \quad (2)$$

где Y — вязкость, Па·с; X_1, X_2, X_3 — вид и содержание подсластителя в смеси, °С; $k_1, k_2, k_3, k_{12}, k_{13}, k_{23}, k_{123}$ — коэффициенты уравнения регрессии.

В табл. 5 представлены значения коэффициентов для уравнения (2).

На следующем этапе исследований изучили влияние подсластителей на структурно-механические свойства батончиков-мюсли — предел прочности. Для проведения исследований батончики-мюсли готовили из сиропов и смеси сухих компонентов в соотношении 1:1.

Батончики-мюсли, изготовленные с использованием сиропов на основе ксилита, сорбита мальтита, имеют повышенную рассыпчатость, ломкость.

С учетом проведенных исследований для изготовления батончиков-мюсли в качестве альтернативы сахару перспективно использовать мальтитный сироп.

На следующем этапе осуществлялась разработка проектов рецептур батончиков-мюсли с необходимыми показателями качества. Подбор наименований и оптимальных дозировок вкусовых компонентов в батончики-мюсли осуществляли с учетом их влияния на органолептические свойства продукции и содержания в них общего сахара. Потенциалом к использованию при производстве батончиков-мюсли для диабетического питания обладают хлопья и взорванные воздушные зерна злаковых культур, ядра орехов и арахиса, масличные семена, сублимированные ягоды.

Разработаны проекты рецептов батончиков-мюсли («Злаки с фундуком», «Злаки с малиной», «Злаки с черникой», «Злаки с клубникой»). Проведена дегустация импортного («Fitness» (клубника)) и отечественного («Злаки с семенами льна») батончиков-мюсли с применением сахаросодержащего сырья, а также батончиков-мюсли, изготовленных по разработанным проектам рецептов. Результаты органолептической оценки качества, преобразованные в балльные оценки и структурированные в лепестковую диаграмму, представлены на рис. 5.

Таблица 5. Значения коэффициентов уравнения (2), описывающего зависимость содержания вязкости от вида и содержания подсластителя

Table 5. The values of the coefficients of equation (2) describing the dependence of the viscosity content on the type and content of the sweetener

Коэффициенты	Вид сиропа для батончиков-мюсли		
	мальтит : мальтитный сироп : сорбит	мальтит : мальтитный сироп : ксилит	мальтитный сироп : ксилит : сорбит
k_1	0,217595	0,213314	0,471652
k_2	0,469867	0,471214	0,127352
k_3	0,130238	0,131771	0,129595
k_{12}	-0,0100392	-0,00343918	-0,688961
k_{13}	0,116475	-0,00356798	-0,611882
k_{23}	-0,610211	-0,697918	-0,0358823
k_{123}	1,20173	1,08608	3,77079
R^2	99,9969	99,6593	99,9729

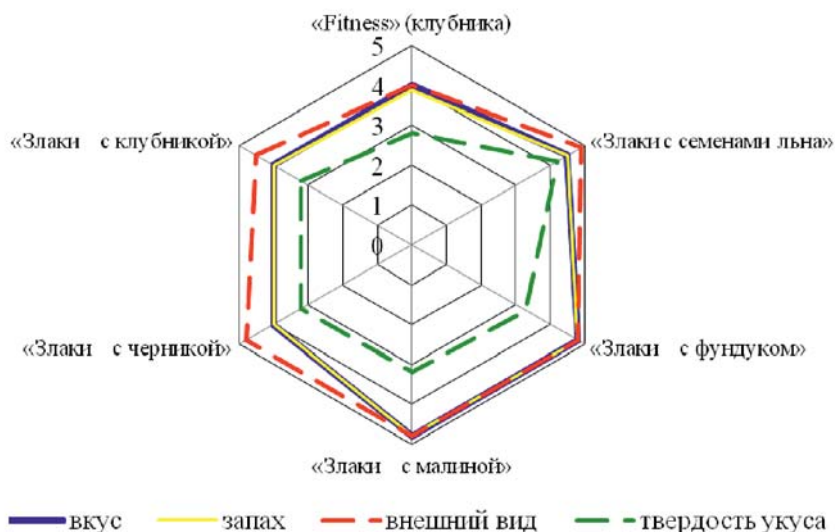


Рис. 5. Балльная оценка органолептических показателей качества батончиков-мюсли
Fig. 5. Score assessment of organoleptic indicators of the quality of muesli bars

Высокую оценку по показателю «Вкус», «Запах», «Внешний вид» получил батончик-мюсли «Злаки с семенами льна» (4,5 - 4,9 балла), а также образцы батончиков-мюсли «Злаки с фундуком», «Злаки с малиной» (по 4,8 балла). Остальные батончики-мюсли по показателям «Вкус» и «Запах» имели более низкую оценку, но не менее 4,0 балла. Согласно органолептической оценке, разработанные батончики-мюсли имеют достаточно мягкую структуру, что отражается в средней балльной оценке по показателю «Твердость укуса» на уровне 3,2 балла. Твердость батончика-мюсли «Злаки с семенами льна» составляет 4,2 балла, что объясняется большим содержанием масличных семян и наличием сахаро-паточно-инвертного сиропа, обладающего большей вязкостью. Минимальное значение твердости укуса имеет батончик-мюсли «Fitness» (клубника) (2,8 балла), кроме того отмечены, рассыпчатость и потеря формы данного батончика при разрезании.

Провели исследования по определению предела прочности батончиков-мюсли, результаты определения предела прочности импортного и отечественного батончиков-мюсли, а также разработанных образцов приведены в табл. 6.

Таблица 6. Структурно-механические свойства батончиков-мюсли
Table 6. Structural and mechanical properties of muesli bars

Вид батончика-мюсли	Предел прочности, кПа
«Fitness» (клубника)	22,9
«Злаки с семенами льна»	65,3
«Злаки с фундуком»	50,2
«Злаки с малиной»	27,8
«Злаки с черникой»	29,8
«Злаки с клубникой»	32,2

Из данных табл. 6 следует, что прочность разработанных батончиков-мюсли с добавлением сублимированных ягод выше импортного образца в 1,2 - 1,4 раза и составляет 28 - 32 кПа, что достаточно для последующего упаковывания.

Требования к продуктам для диабетического питания установлены в нормативной документации. Согласно требованиям [25, 26], в специализированной пищевой продукции диабетического питания гарантированное изготовителем содержание сахаров (сумма моно- и дисахаридов) должно составлять не более 5 г на 100 г для твердой пищевой продукции (т.е. массовая доля сахара в пересчете на сахарозу должна составлять не более 5 %).

Подтверждение соответствия разработанных батончиков-мюсли критериям для продукции диабетического питания было осуществлено в Республиканском контрольно-испытательном комплексе по качеству и безопасности продуктов питания РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по продовольствию». В результате определения массовой доли общего сахара (в пересчете на сахарозу) в батончиках-мюсли без добавления сахара (на примере батончиков-мюсли «Злаки с фундуком», «Злаки с малиной») установлено наличие в них 1,9 % и 2,5 % общего сахара, соответственно. Данные результаты сопоставимы с расчетными значениями, что подтверждает возможность отнесения разработанных изделий к продукции, пригодной для диабетического питания.

В результате исследований разработаны и утверждены в установленном порядке рецептуры батончиков-мюсли без добавления сахара «Злаки с малиной», «Злаки с фундуком», «Злаки с черникой».

Заключение. В результате проведенных исследований подтверждена актуальность разработки батончиков-мюсли, предназначенных для диабетического питания. Изучены процессы термообработки и динамическая вязкость сиропов для изготовления батончиков-мюсли, а также прочность готовых изделий. Обоснован выбор мальтитного сиропа для изготовления батончиков-мюсли диабетического питания.

Разработаны рецептуры батончиков-мюсли с пониженным содержанием легкоусвояемых углеводов на основе мальтитного сиропа, а также овсяных и ячменных хлопьев, ядер фундука, арахиса, семян кунжута, льна, сублимированных ягод.

Установлено, что содержание сахара в разработанных батончиках-мюсли составляет не более 5 %, что соответствует требованиям специализированной пищевой продукции диабетического питания.

Список использованных источников

1. Бандюк, Т.В. Потенциал использования порошка топинамбура в технологии специализированных батончиков-мюсли / Бандюк Т.В., Томашевич С.Е. // Молодежь в науке-2016 : сборник материалов Международной конференции молодых ученых (Минск, 22 - 25 ноября, 2016 г.). В 2 ч. Ч.1. Аграрные науки / Нац. акад. наук Беларуси. Совет молодых ученых; редкол.; В.Г. Гусаков (гл. ред.) [и др]. — Минск : Беларуская навука, 2017. — 534 с.
2. Дорохович, В.В. Мучные кондитерские изделия для больных сахарным диабетом и целиакией / В.В. Дорохович, И.В. Тарасенко, А.Г. Абрамова // Перспективы развития кондитерской промышленности: материалы IV Республиканского научно-практического семинара, 27-28 ноября

- 2014 г., Могилев / редкол. Е.С. Новожилова (отв. ред.) [и др.]. — Могилев: МГУП, 2014. — 79 с. — С. 31-34.
3. *Шубина, О.Г.* Низкокалорийные продукты как составляющие сбалансированного рациона питания современного человека / О.Г. Шубина, А.А. Кочеткова // Пищевые ингредиенты, сырье и добавки. — 2005. — № 1. — С. 9-13.
 4. *Колдина, Т.В.* Исследование фруктово-желейных масс изготовленных с использованием сахарозаменителей / Т.В. Колдина, А.А. Вытовтов, Л.И. Кузнецова // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия «Процессы и аппараты пищевых производств». — 2014. — № 3. — С. 88-98.
 5. *Конь, И.Я.* Использование шоколада, изготовленного на основе сахарозаменителя мальтитола, в питании детей, больных сахарным диабетом 1-го типа: клиничко-лабораторная оценка / И.Я. Конь, Н.Н. Пустограев, Т.Л. Кураева // Вопросы детской диетологии — 2006. — Т. 4, № 4. — С. 68–70.
 6. *Крылова, Э.Н.* Использование подсластителей при получении молочных масс / Э.Н. Крылова, Т.В. Савенкова, Е.Н. Маврина // Кондитерское производство — 2012. — №6. — С. 6 - 8.
 7. *Савенкова, Т.В.* Теоретические и практические аспекты создания мучных кондитерских изделий для больных сахарным диабетом 2-го типа / Т.В. Савенкова А.А. Кочеткова, Х.Х. Шараетдинов и др. // Пищевая промышленность. — 2017. — №4. — С. 44 - 48.
 8. *Жаббарова, С. К.* Влияние сахарозаменителей и подсластителей на безвредность кондитерских изделий / С. К. Жаббарова // Технология продовольственных продуктов. — 2019. — № 2 (59).
 9. ООО «Родиа рус» Мальтит для производства низкокалорийных изделий // Пищевая промышленность. — 2005. — №5. — С. 56 - 57.
 10. *Крылова, Э.Н.* Технологические аспекты производства молочных конфет без сахара / Э.Н. Крылова, Т.В. Савенкова, Е.Н. Маврина // Инновационные пищевые технологии в области хранения и переработки сельскохозяйственного сырья. : материалы III Международной научно-практической конференции, посвященной 20-летию юбилею ГНУ КНИИХП Россельхозакадемии, 23-24 мая 2013 г. / [под общ. ред. Р. И. Шаizzo]. - Краснодар, 2013. - С. 102-105.
 11. *Крылова, Э.Н.* Фруктово-желейные конфеты без сахара / Э.Н. Крылова, Е.Н. Маврина // Инновационно-технологическое развитие пищевой промышленности - тенденции, стратегии, вызовы : 21-ая Международная научно-практическая конференция, посвященная памяти Василия Матвеевича Горбатова, 6 декабря 2018 г. / Федер. науч. центр пищевых систем им. В. М. Горбатова. - Москва, 2018. - С. 122-123.
 12. *Крылова, Э.Н.* Подсластители в желейном мармеладе на желатине / Э.Н. Крылова, Е.Н. Маврина, Т.В. Савенкова // Кондитерское производство. — 2016. — №5. — С. 16 - 17.
 13. Изделия кондитерские. Методы определения влаги и сухих веществ: ГОСТ 5900-2014. — Введ. 01.11.2016. — М.:СТАНДАРТИНФОРМ, 2014. — 16 с.
 14. *Максимов, А. С.* Реология пищевых продуктов. Лабораторный практикум / А.С. Максимов, В.Я. Черных. — СПб. : ГИОРД, 2006. — 176 с.
 15. Изделия кондитерские. Методы определения органолептических показателей качества, размеров, массы нетто и составных частей: ГОСТ 5897-90. — Введ. 01.01.92. — Минск: Госстандарт: Белорус. гос. ин-т стандартизации и сертификации, 2010. — 6 с.
 16. *Дорохович, А.Н.* Сахарозаменители нового поколения низкой калорийности и гликемичности // А.Н. Дорохович, В.В. Дорохович, Н.П. Лазоренко // Продукты & ингредиенты. — 2011. — №6(8). — С. 46-48.
 17. Пищевая продукция в части маркировки: Технический Регламент Таможенного Союза: ТР ТС 022/2011 — Введ. 01.07.2013. — Минск: БелГИСС: Белорус. гос. ин-т стандартизации и сертификации, 2012. — 18 с.
 18. *Гартел, Р.У.* Сахарные кондитерские изделия / Р.У. Гартел, Й.Г. фон Эльбе, Р. Хофбергер / пер. с англ. под науч. ред. канд. техн. наук Л.И. Рысейвой. — Спб. : ИД «Профессия», 2019. — 784 с.
 19. *Митчелл, Х.* Подсластители и сахарозаменители / Х. Митчелл. — Пер. с англ. — СПб.: Профессия, 2010. — 512 с.
 20. *Громова, О.А.* Сахарозаменители. Вопросы эффективности и безопасности применения / О.А. Громова, В.Г. Ребров // Трудный пациент. — 2007. — №12 - 13. — ТОМ 5. — С. 47-49.
 21. *Натуральные и искусственные подсластители. Свойства и экспертиза качества / К.К. Полянский [и др.]. — М.: ДеЛи принт, 2009. — 252 с.*
 22. *Полунин, Е.Г.* О применении полидекстрозы и бетаина в производстве мармеладно-пастильных изделий / Е.Г. Полунин, О.Г. Шубина. — Кондитерское производство. — 2011. — №6. — С. 12-15.
 23. *Журавлева, Е.И.* Сырье и технология кондитерского производства: Справочник кондитера. Часть 1. / Под. ред. канд. техн. наук Е.И. Журавлевой. — М.: Пищевая промышленность, 1966. — 712 с.

24. Журавлева, Е.И. Технология кондитерского производства / Под общей редакцией канд. техн. наук Е.И. Журавлевой. — ПИЩЕПРОМИЗДАТ, Москва, 1962. — 443 с.
25. Санитарные нормы и правила «Требования к продовольственному сырью и пищевым продуктам», утв. постановлением Министерства здравоохранения Республики Беларусь 21.06.2013 №52.
26. Гигиенический норматив «Показатели безопасности и безвредности для человека продовольственного сырья и пищевых продуктов», утв. постановлением Министерства здравоохранения Республики Беларусь 21.06.2013 № 52.

References

1. Bandyuk T.V., Tomashevich S.E. Potencial ispol'zovaniya poroshka topinambura v tekhnologii specializirovannyh batonchikov-mysli. Molodezh' v nauke-2016 : sbornik materialov Mezhdunarodnoj konferencii molodyh uchenyh (Minsk, 22 - 25 noyabrya, 2016 g.). V 2 ch. CH.1. Agrarnye nauki. Nac. akad. nauk Belarusi. Sovet molodyh uchenyh; redkol.; V.G. Gusakov (gl. red.) [i dr.]. Minsk, Belaruskaya navuka Publ., 2017. 534 p.
2. Dorohovich V.V., Tarasenko I.V., Abramova A.G. Muchnye konditerskie izdeliya dlya bol'nyh saharnym diabetom i celiakiej. Perspektivy razvitiya konditerskoj promyshlennosti: materialy IV Respublikanskogo nauchno-prakticheskogo seminar, 27-28 noyabrya 2014 g., Mogilev. redkol. E.S. Novozhilova (otv. red.) [i dr.]. — Mogilev: MGUP, 2014, pp. 31-34.
3. Shubina O.G., Kochetkova A.A. Nizkokalorijnye produkty kak sostavlyayushchie sbalansirovannogo racionalnogo pitaniya sovremennogo cheloveka. Pishchevye ingredienty, syr'e i dobavki. 2005, no. 1., pp. 9-13.
4. Koldina T.V., Vytovtov A.A., Kuznecova L.I. Issledovanie fruktovo-zhelejnyh mass izgotovlennyh s ispol'zovaniem saharozamenitelej. Nauchnyj zhurnal NIU ITMO. Seriya «Processy i apparaty pishchevyh proizvodstv». 2014, no. 3, pp. 88-98.
5. Kon' I.YA., Pustograev N.N., Kuraeva T.L. Ispol'zovanie shokolada, izgotovlennogo na osnove saharozamenitelya mal'titola, v pitanii detej, bol'nyh saharnym diabetom 1-go tipa: kliniko-laboratornaya ocenka. Voprosy detskoj dietologii, 2006, vol. 4, no. 4, pp. 68-70.
6. Krylova E.N., Savenkova T.V., Mavrina E.N. Ispol'zovanie podslastitelej pri poluchenii molochnyh mass. Konditerskoe proizvodstvo, 2012, no 6, pp. 6-8.
7. Savenkova T.V., Kochetkova A.A., SHarafetdinov H.H. Teoreticheskie i prakticheskie aspekty sozdaniya muchnyh konditerskih izdelij dlya bol'nyh saharnym diabetom 2-go tipa. Pishchevaya promyshlennost, 2017, no.4, pp. 44–48.
8. Zhabbarova S. K. Vliyanie saharozamenitelej i podslastitelej na bezvrednost' konditerskih izdelij. Tekhnologiya prodovol'stvennyh produktov, 2019, no.2 (59), pp. 35-39.
9. ООО «Rodia rus» Mal'tit dlya proizvodstva nizkokalorijnyh izdelij. Pishchevaya promyshlennost', 2005, no.5, pp. 56–57.
10. Krylova E.N., Savenkova T.V., Mavrina E.N. Tekhnologicheskie aspekty proizvodstva molochnyh konfet bez sahara. Innovacionnye pishchevye tekhnologii v oblasti hraneniya i pererabotki sel'skohozyajstvennogo syr'ya. : materialy III Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii, posvyashchennoj 20-letnemu yubileyu GNU KNIHP Rossel'hozadademii, 23-24 maya 2013 g. Krasnodar, 2013, pp. 102-105.
11. Krylova E.N., Mavrina E.N. Fruktovo-zhelejnye konfety bez sahara. Innovacionno-tekhnologicheskoe razvitie pishchevoj promyshlennosti - tendencii, strategii, vyzovy : 21-aya Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferenciya, posvyashchennaya pamyati Vasiliya Matveevicha Gorbatova, 6 dekabrya 2018 g. Feder. nauch. centr pishchevyh sistem im. V. M. Gorbatova. Moskva, 2018, pp. 122–123.
12. Krylova E.N., Mavrina E.N., Savenkova T.V. Podslastiteli v zhelejnom marmelade na zhelatine. Konditerskoe proizvodstvo, 2016, no.5, pp. 16–17.
13. Izdeliya konditerskie. Metody opredeleniya vlagi i suhij veshchestv: GOST 5900-2014. — Vved. 01.11.2016. M.:STANDARTINFORM, 2014. 16 p.
14. Maksimov A. S., CHernyh V.YA. Reologiya pishchevyh produktov. Laboratornyj praktikum. SPb. GIORD Publ., 2006, 176 p.
15. Izdeliya konditerskie. Metody opredeleniya organolepticheskikh pokazatelej kachestva, razmerov, massy netto i sostavnyh chastej: GOST 5897-90. — Vved. 01.01.92. Minsk, Gosstandart: Belarus. gos. in-t standartizacii i sertifikacii, 2010. 6 p.
16. Dorohovich A.N., Dorohovich V.V., Lazorenko N.P. Saharozameniteli novogo pokoleniya nizkoj kalorijnosti i glikemichnosti. Produkti & ingredient, 2011, no.6(8), pp. 46-48.
17. Pishchevaya produkcija v chasti markirovki: Tekhnicheskij Reglament Tamozhennogo Soyuz: TR TS 022/2011 — Vved. 01.07.2013. Minsk: BelGISS: Belarus. gos. in-t standartizacii i sertifikacii, 2012. 18 p.

18. Gartel R.U. fon El'be J.G., Hofberger R. Saharnye konditerskie izdeliya. Spb., ID Professiya Publ., 2019. 784 p.
19. Mitchell H. Podslastiteli i saharozameniteli. SPb., Professiya Publ., 2010. 512 p.
20. Gromova O.A., Rebrov V.G. Saharozameniteli. Voprosy effektivnosti i bezopasnosti primeneniya. Trudnyj pacient, 2007, vol. 5, no.12–13, pp. 47–49.
21. Polyanskij K.K., Rudakov O. B., Podporinova G. K., Khripushin V. V., Verzilina N. D. Natural'nye i iskusstvennye podslastiteli. Svoystva i ekspertiza kachestva. M., DeLi print Publ., 2009. 252 p.
22. Polunin E.G., SHubina O.G. O primeneni polidekstrozy i betaina v proizvodstve marmeladno-pastil'nyh izdelij. Konditerskoe proizvodstvo, 2011, № 6, p. 12–15.
23. ZHuravleva E. I. Syr'e i tekhnologiya konditerskogo proizvodstva: Spravochnik konditera. CHast' 1. Moskow, Pishchevaya promyshlennost' Publ., 1966. 712 p.
24. ZHuravleva E.I. Tekhnologiya konditerskogo proizvodstva. Moskow, Pishchepromizdat publ., 1962. 443 p.
25. Sanitarnye normy i pravila «Trebovaniya k prodovol'stvennomu syr'yu i pishchevym produktam», utv. postanovleniem Ministerstva zdravoohraneniya Respubliki Belarus' 21.06.2013 №52.
26. Gigienicheskij normativ «Pokazateli bezopasnosti i bezvrednosti dlya cheloveka prodovol'stvennogo syr'ya i pishchevyyh produktov», utv. postanovleniem Ministerstva zdravoohraneniya Respubliki Belarus' 21.06.2013 № 52.

Информация об авторах

Моргунова Елена Михайловна — кандидат технических наук, доцент, заместитель генерального директора по стандартизации и качеству продуктов питания РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по продовольствию», (ул. Козлова, 29, 220037, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: info@belproduct.com

Шугаева Татьяна Вячеславовна — ведущий инженер-технолог отдела технологий кондитерской и масложировой продукции РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по продовольствию», (ул. Козлова, 29, 220037, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: candy@belproduct.com

Гершончик Ксения Николаевна — кандидат технических наук, старший научный сотрудник отдела технологий кондитерской и масложировой продукции РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по продовольствию», (ул. Козлова, 29, 220037, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: candy@belproduct.com

Information about authors

Marhunova Alena Mikhailovna — PhD (Technical) Associate Professor, Deputy General Director for Standardization and Food Quality of the RUE «Scientific and Practical Center of the National Academy of Sciences of Belarus for Food» (220037, Republic of Belarus, Minsk, Kozlova str., 29). E-mail: info@belproduct.com

Shugaeva Tatsiana Viacheslavovna — leading engineer-technologist of the department of technologies of confectionery and fat-and-oil products of RUE «Scientific and Practical Center of the National Academy of Sciences of Belarus for Food» (220037, Republic of Belarus, Minsk, Kozlova str., 29). E-mail: candy@belproduct.com

Gershonchik Ksenia Nikolaevna — Ph.D. (Technical), Senior Researcher of the Department of technologies of confectionery and fat-and-oil products of RUE «Scientific and Practical Center of the National Academy of Sciences of Belarus for Food» (220037, Republic of Belarus, Minsk, Kozlova str., 29). E-mail: candy@belproduct.com