

DOI: <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2021-4-3-164-171>

Поступила 23.07.2021

Поступила после рецензирования 06.09.2021

Принята в печать 25.09.2021



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

Научная статья

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ РАСЧЕТНОГО МЕТОДА ОПРЕДЕЛЕНИЯ КРИОСКОПИЧЕСКОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ СМЕСЕЙ ДЛЯ МОРОЖЕНОГО ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ НАПРАВЛЕННОСТИ

Королев И. А.*, Творогова А. А., Ситникова П. Б.

Всероссийский научно-исследовательский институт холодильной промышленности, Москва, Россия

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

сахара, наполнители,
молекулярная масса,
криоскопическая
температура,
мороженое

АННОТАЦИЯ

В настоящее время развивается производство мороженого функциональной направленности, и в связи с этим происходит корректировка традиционного состава продукта. При замене низкомолекулярных нутриентов (сахарозы, лактозы и минеральных солей сухого обезжиренного молочного остатка) на технологически функциональные нутриенты изменяется криоскопическая температура, влияющая на параметры процесса производства, в частности на температуру выгрузки мороженого из фризера. В связи с этим актуальной стала проблема расчета криоскопической температуры смесей для мороженого, поскольку экспериментально определить этот показатель на всех предприятиях не представляется возможным. При выполнении расчетов криоскопических температур на основе существующих справочных данных в некоторых случаях авторами наблюдалось существенное (более 0,5 °C) отклонение результатов расчетов и эксперимента. С целью установления причины указанных отклонений авторами исследованы водные растворы сахарозы, фруктозы, трегалозы, эритрита, мальтодекстрина, полидекстрозы, сорбита, глюкозно-фруктозного сиропа, сухого глюкозного сиропа, а также инулина с концентрациями, обеспечивающими значения криоскопических температур растворов в диапазоне от 0 °C до минус 6 °C. С использованием осмометра-криоскопа выполнено измерение криоскопической температуры растворов, и на основе соотношения Рауля проведен расчет средних молекулярных масс веществ с учетом содержащихся в них высокомолекулярных веществ и примесей (условных молекулярных масс). Показано, что значения условной молекулярной массы для трегалозы и сорбита более чем на 15% отличаются от значений химически чистых веществ по причине наличия низкомолекулярных мономеров в их составе. Представленные экспериментальные данные по значениям условной молекулярной массы могут быть использованы при расчетах криоскопической температуры различных видов смесей для изготовления мороженого. В качестве примера применения полученных уточненных значений условных молекулярных масс приводится процедура расчета криоскопической температуры мороженого с пониженным содержанием сахарозы и без сахарозы, а также сравнение результатов вычислений с экспериментальными данными.

ФИНАНСИРОВАНИЕ: Статья подготовлена в рамках выполнения исследований по Государственному заданию ФНИ-№ 013.05 Федерального научного центра пищевых систем им. В. М. Горбатова Российской академии наук, тема № 0585–2019–0043–С-01.

Received 23.07.2021

Accepted in revised 06.09.2021

Accepted for publication 25.09.2021

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

Original scientific article

IMPROVEMENT OF THE COMPUTATIONAL METHOD FOR DETERMINING THE CRYOSCOPIC TEMPERATURE OF FUNCTIONAL ICE CREAM MIXTURES

Igor A. Korolev*, Antonina A. Tvorogova, Polina B. Sitnikova

All-Russian Scientific Research Institute of Refrigeration Industry, Moscow, Russia

KEY WORDS:

sugars, fillers, molecular weight,
cryoscopic temperature, ice cream

ABSTRACT

Nowadays the functional ice cream production keeps developing. Due to that the traditional composition of the ice cream is amended. In case of substitution of the low molecular weight nutrients (sucrose, lactose and mineral salts of dry skimmed milk residue) with technologically functional nutrients, it changes the cryoscopic temperature, which influences the parameters of production process, in particular the temperature of the ice cream getting from the freezer. In this regard, the problem of calculating the cryoscopic temperature of ice cream mixtures has become acute, since it is not possible to find this parameter experimentally at all food enterprises. While calculating the cryoscopic temperatures on the basis of existing reference data, in some cases the authors encountered a significant (more than 0.5 °C) deviation of the calculation results from the experimental data. In order to establish the cause of these deviations, the authors analyzed aqueous solutions of sucrose, fructose, trehalose, erythritol, maltodextrin, polydextrose, sorbitol, glucose-fructose syrup, dry glucose syrup, inulin in concentrations that provide for the cryoscopic temperatures of solutions within the range from 0 °C to minus 6 °C. The cryoscopic temperature of the solutions was measured by an osmometer-cryoscope, and the conventional molecular weight

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Королев, И. А., Творогова, А. А., Ситникова, П. Б. (2021). Совершенствование расчетного метода определения криоскопической температуры смесей для мороженого функциональной направленности. *Пищевые системы*, 4(3), 164–171. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2021-4-3-164-171>

FOR CITATION: Korolev, I. A., Tvorogova, A. A., Sitnikova, P. B. (2021). Improvement of the computational method for determining the cryoscopic temperature of functional ice cream mixtures. *Foodsystems*, 4(3), 164–171. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2021-4-3-164-171>

of the substances was calculated on the basis of Raoult ratio, taking into account the high molecular weight substances and admixed impurities. It was shown that the values of the conventional molecular weight for trehalose and sorbitol solutions differ by more than 15% from the values of chemically pure substances due to presence of low molecular weight monomers in their composition. The presented experimental data on the conventional molecular weight values can be used for calculation of cryoscopic temperature of various types of mixtures used for ice cream production. As an example of application of obtained clarified values of conventional molecular weights, this article provides a method for calculation of cryoscopic temperature of low sucrose and sucrose-free ice cream mixtures, as well as a comparison of the calculation results with experimentally obtained data.

FUNDING: The article was published as part of the research topic foundation for scientific research No. 013.05 of the state assignment of the V. M. Gorbatov Federal Research Center for Food Systems of RAS, topic No. 0585–2019–0043-C-01.

1. Введение

Мороженое и замороженные десерты представляют собой сложную многофазную систему, образованную целым рядом истинных (сахара и соли) и коллоидных (белки растительного и животного происхождения и гидроколлоиды) водных растворов, а также эмульсий содержащихся в составе продукта жиров [1]. Основным структурообразующим компонентом в смесях мороженого является вода, доля которой достигает 65–70%. На органолептические, структурно-механические и микроструктурные показатели качества мороженого оказывают значительное влияние как состав, так и технологии приготовления [2].

Рост случаев заболевания сахарный диабетом второго типа, а также количества людей с избыточным весом диктует новые условия производителям и технологам. Современные тенденции в области здорового питания направлены на создание технологий мороженого со сниженным содержанием жиров и сахарозы [3,4]. В настоящее время весьма актуальной задачей является замена сахарозы в мороженом функциональной направленности. Массовая доля сахарозы среди сухих веществ в традиционном мороженом достигает 35–55%. Для замены сахарозы по сладости и сухому веществу используют различные сахара: фруктозу и трегалозу, а также композиции сахаров в составе глюкозно-фруктозных сиропов, сухие глюкозные сиропы, пищевые волокна (инулин и др.) и другие ингредиенты [5,6]. Сахароза, являясь дисахаридом, оказывает значимое влияние на криоскопическую температуру и долю вымороженной воды при фризировании смеси для мороженого.

Именно количество вымороженной воды при окончании процесса фризирования в значительной степени влияет на дисперсность кристаллов льда [7]. Существующая практика показывает, что выбор температуры мороженого в конце фризирования и расчет доли вымороженной влаги в зависимости от температуры могут осуществляться в том числе на основе данных о криоскопической температуре смесей [8]. В странах Северной Америки традиционно используется метод расчета криоскопической температуры, учитывающий влияние сахаров, эквивалентное влиянию сахарозы [9]. Авторы отмечают, что данный подход быстр и прост, подходит для выполнения сравнительных расчетов различных рецептур, но не может рассматриваться как точный метод вычисления абсолютных значений криоскопической температуры и доли вымороженной влаги. Зачастую необходимы дополнительные экспериментальные исследования изготовленных смесей. Для выполнения более точных расчетов криоскопической температуры смесей мороженого на основании соотношения Рауля и количества ингредиентов в целом необходимо знать актуальные значения средней молекулярной массы различных видов низкомолекулярного сырья с учетом содержащихся в нем примесей (условной молекулярной массы) [10].

Среди существующих в научной литературе источников, посвященных исследованиям теплофизических характеристик компонентов мороженого, следует отметить работы

[11,12], в которых описывается разработка и экспериментальное апробирование математических моделей замерзания высококонцентрированных растворов сахарозы. В работах [13,14] авторами было исследовано влияние сахарозы и трегалозы на скорость роста кристаллов при хранении мороженого. Кроме того, существенное внимание уделяется изучению процессов стеклования водных растворов сахаров в чистом виде, а также в виде смесей [15,16].

Проведенные в работе [17] исследования подтверждают существенное влияние сахарозаменителей, применяемых в количестве 10–30%, на теплофизические, реологические и органолептические свойства смесей для мороженого. При этом наблюдается взаимосвязь вкуса и состояния структуры мороженого с его теплофизическими и реологическими свойствами. Авторами не было представлено каких-либо рекомендаций по выполнению расчетов криоскопической температуры.

Многие новые компоненты, применяемые при производстве мороженого, произрастают в регионах, где проводятся различные исследования. К примеру, в ОАЭ изучена возможность замены сахарозы сиропом из фиников, сладость которому, как и многим фруктам, придают глюкоза и фруктоза [18].

Отдельно следует отметить исследование [10], где систематизированы существующие справочные данные по молекулярным массам и сладости наиболее широко применяемых в составе мороженого сахаров и наполнителей, а также представлены рекомендации по проведению расчетов криоскопической температуры. В существующей практике лаборатории технологии мороженого ВНИИХИ, филиала ФГБНУ «ФНЦ пищевых систем им. В. М. Горбатова» РАН, при использовании некоторых сахаров и наполнителей наблюдалось заметное отклонение ($\pm 0,5...1,0^\circ\text{C}$) расчетных величин криоскопической температуры от экспериментально измеренных значений. Одной из причин этого следует отметить отсутствие в сырье для производства мороженого высокой его химической чистоты. К примеру, в полидекстрозе, применяемой в составе мороженого в качестве источника сухих веществ, основное вещество составляет не менее 90%, а около 10% сырья составляют мономеры (глюкоза, сорбит), которые не учитываются при расчетах криоскопической температуры.

Таким образом, задачами представленной работы являлись определение условных молекулярных масс ингредиентов, используемых в производстве мороженого без сахарозы, расчет криоскопических температур с их использованием и сравнительная оценка с экспериментальными значениями.

2. Объекты и методы

С использованием аналитических весов «САРТОГОСМ МВ 210 А» с ценой деления 0,01 мг авторами были подготовлены водные растворы: сахарозы, фруктозы, трегалозы, эритрита, мальтодекстрина, полидекстрозы, сорбита, глюкозно-фруктозного сиропа, сухого глюкозного сиропа, инулина

различных концентраций, соответствующих депрессии криоскопической температуры растворов вплоть до минус 6 °С.

Измерение криоскопической температуры каждого из растворов осуществлялось не менее трех раз с использованием осмометра-криоскопа КИВИ ОСКР-1. Данный прибор оснащен механическим инициатором процесса кристаллизации и в диапазоне температур от 0 °С до минус 0,93 °С обеспечивает погрешность измерения криоскопической температуры растворов не более ±0,002 °С; при температурах ниже минус 0,93 °С погрешность измерения криоскопической температуры составляет ±0,010 °С.

Характерный график изменения температуры при измерении криоскопической температуры представлен на Рисунке 1. При этом наблюдается охлаждение и переохлаждение образца AS, криоскопическая температура B, вымерзание основной влаги в исследуемом образце BC и охлаждение замороженного образца CD.

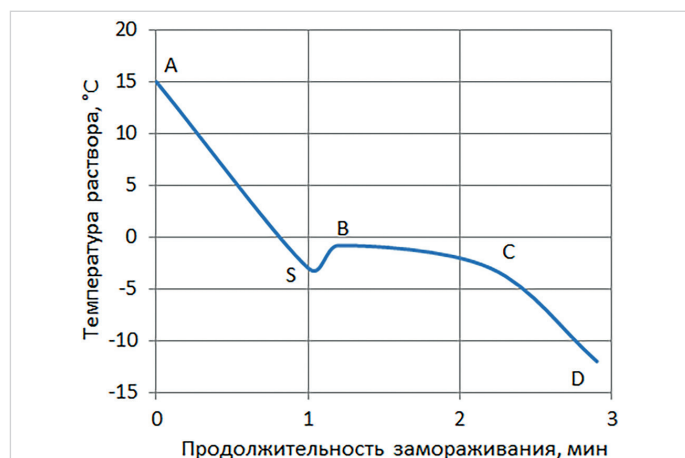


Рисунок 1. Характерное изменение температуры образца при измерении криоскопической температуры

Расчет криоскопической температуры в водном растворе для известной моляльной концентрации раствора C_m , моль/кг может быть выполнен по известному соотношению Рауля:

$$t_{кр} = C_S \cdot K_K \quad (1)$$

где K_K — криоскопическая постоянная воды, $K_K = 1,86$ °С·кг/моль.

Для водного раствора с криоскопической температурой $t_{кр}$, содержащего m_s г растворенного вещества в m_{H_2O} г воды, молярная масса растворенного вещества может быть рассчитана по формуле:

$$M_s = \frac{K_K \cdot m_s \cdot 1000}{-t_{кр} \cdot (m_{H_2O} - K_{св} \cdot m_s)} \quad (2)$$

где $K_{св}$ — коэффициент, учитывающий количество связанной воды. Для большинства углеводов $K_{св} \approx 0,3$ (кг воды/кг сухого вещества).

По результатам серии измерений выполнялось осреднение молекулярной массы, где в качестве веса измерения использовалось значение криоскопической температуры конкретного измерения, а среднее арифметическое взвешенное рассчитывалось как

$$M_s = \frac{\sum_i M_{s,i} \cdot t_{кр,i}}{\sum_i t_{кр,i}} \quad (3)$$

3. Результаты и обсуждение

Перечень исследованных водных растворов, их криоскопические температуры, а также рассчитанные значения молекулярных масс растворенных веществ для сахаров представлены в Таблице 1.

Среди рассмотренных веществ наилучшее совпадение рассчитанных условных молекулярных масс по сравнению с молекулярными массами химически чистых веществ [19] наблюдается у сахарозы, фруктозы, глюкозно-фруктозного сиропа (ГФС). Сахароза, производимая из сахарного тростника и сахарной свеклы, является несомненным лидером по объему производства среди сахаров [20,21]. В соответствии с «ГОСТ 33222-2015 Сахар белый» для сахарозы класса «ЭКСТРА» массовая доля редуцирующих веществ и массовая доля золы (в пересчете на сухое вещество) не должны превышать соответственно 0,03% и 0,027%. По данной причине отклонение измеренной условной молекулярной массы сахарозы от значений, характерных для химически чистого вещества, не превышает погрешности измерений. При расчетах криоскопической температуры водных растворов сахарозы рекомендуется использовать молекулярную массу химически чистого вещества.

Таблица 1

Результаты исследований криоскопической температуры растворов сахаров

Вещество	Концентрация раствора, г / 100 г воды	Криоскопическая температура экспериментальная $t_{кр}$, °С	Рассчитанные значения молекулярной массы M_s , г/моль	Среднее значение молекулярной массы M_s , г/моль	Значение молекулярной массы M_s , г/моль по справочным данным
фруктоза	10,55	минус 1,04	188	187	180,16 [19]
	21,1	минус 2,25	186		
	24,6	минус 2,64	187		
	45,5	минус 4,98	188		
трегалоза	21,1	минус 1,05	399	408	342,296 [19] 378,3* [19]
	24,6	минус 1,23	402		
	44,3	минус 2,31	411		
	74,5	минус 4,35	410		
сахароза	22,7	минус 1,28	354	344	342,296 [19]
	45,5	минус 2,84	345		
	68,2	минус 4,72	338		
	73,8	минус 5,1	346		
глюкозно-фруктозный сироп (сухих веществ 77,5%)	19,65	минус 1,49	191	184	180,16** [19]
	40,37	минус 3,08	190		
	60,6	минус 4,84	181		
	74,5	минус 5,95	182		

* приведена молекулярная масса дигидрата трегалозы.

** приведена молекулярная масса глюкозы и фруктозы, которые являются структурными изомерами.

Наиболее распространенным сырьем для производства глюкозно-фруктозных сиропов ГФС является крахмал, подвергаемый ряду ферментативных процессов. Кроме того, возможно использование инулина и сахарозы [22]. С применением различного сырья и производственных процессов в сиропе возможно присутствие дополнительных олигосахаридов, в том числе функциональной направленности (в качестве пребиотиков и антиоксидантов), к примеру, известен обогащенный олигосахаридами сироп, производимый из корней лопуха (*Arctiumlappa L.*) [23]. Согласно проведенным исследованиям [24] в большинстве производимых в настоящее время в США ГФС количество олигосахаридов не превышает 5,23% (в пересчете на сухое вещество). Для ряда сиропов из агавы, производимых в Мексике, по данным [25], количество олигосахаридов не превышает 2%, а также наблюдается присутствие до 0,4% инозитола. Проведенные исследования подтверждают, что при расчетах криоскопической температуры растворов ГФС также рекомендуется использовать молекулярную массу химически чистых веществ с учетом влагосодержания растворов. Влияние олигосахаридов и прочих примесей на условную молекулярную массу пренебрежительно мало.

При производстве фруктозы (осуществляемой из ГФС с содержанием фруктозы не менее 90%) наиболее сложным процессом является кристаллизация, при этом для данного процесса крайне нежелательно наличие любых дополнительных примесей в матричном растворе [26]. Согласно существующим стандартам для промышленно производимой кристаллической фруктозы число примесей декстрозы составляет не более 0,5%, а количество олигосахаридов не превышает следовых количеств.

Таким образом, для большинства применяемых в промышленности пищевых сахаров количество примесей незначительно, и при расчетах может быть рекомендовано использование значений молекулярных масс химически чистых веществ. Исключение составляет трегалоза, химическая чистота которой, по данным [27], может варьироваться от 92,38 до 99,6%. Кроме того, рядом производителей под маркой

«трегалоза» осуществляется продажа сухого порошка гидрированной трегалозы. По результатам исследований авторов условное значение молекулярной массы исследованной трегалозы с учетом примесей составило 408 г/моль — отклонение на 20% от молекулярной массы химически чистой трегалозы. Таким образом, в случае использования пищевой трегалозы от различных производителей рекомендуется дополнительно уточнять значение условной молекулярной массы при выполнении расчетов криоскопической температуры.

Перечень исследованных водных растворов заменителей сахаров по сухому веществу, их криоскопические температуры, а также рассчитанные значения молекулярных масс растворенных веществ представлены в Таблице 2. Под торговой маркой полидекстрозы А и N (E1200) производители подразумевают не химически чистое вещество, а набор случайно связанных полимеров глюкозы с сильно разветвленной и сложной структурой [28], образованных в результате синтеза глюкозы с сорбитом и лимонной кислотой. Согласно существующим экспериментальным данным степень полимеризации составляет от 12 [29] до 12,53 [30] при молекулярной массе полимеров от 182 до 5000 г/моль. Все то же самое касается и инулина, широко используемого в качестве пищевого волокна [31]. Степень полимеризации инулина варьируется от 3 до 60 (остатков фруктозы в фуранозной форме), однако в среднем составляет 30–35, что соответствует молекулярной массе 4800–6200 г/моль [32]. По результатам исследований авторов, условная молекулярная масса для изученных образцов полидекстрозы и инулина составляет соответственно 625 и 807 г/моль.

Сорбит изготавливается путем каталитического гидрирования глюкозы, и в качестве основных примесей в его составе выступают маннит, мальтит и мальтодекстрины [33]. В соответствии с требованиями зарубежных стандартов к пищевой добавке E420 (сорбит) содержание основного вещества должно составлять не менее 91%. Согласно результатам исследований, проведенных авторами, для сорбита условная молекулярная масса на 13% больше, чем у химически чистого вещества, и составляет 205 г/моль.

Таблица 2

Результаты исследований криоскопической температуры растворов заменителей сахаров по сухому веществу

Вещество	Концентрация раствора, г / 100 г воды	Криоскопическая температура экспериментальная $t_{кр}$, °C	Рассчитанные значения молекулярной массы M_s , г/моль	Среднее взвешенное значение молекулярной массы M_s , г/моль	Значение молекулярной массы M_s , г/моль по справочным данным
полидекстроза	45,5	минус 1,49	636	625	342,30 [19] 182–5000 (ср. 570)* [29]
	68,2	минус 2,52	618		
Мальтодекстрин ГЛЮСИДЕКС DE19	45,5	минус 0,815	1203	1203	1000–3600** [10]
	68,2	минус 1,33	1199		
	74,5	минус 1,48	1207		
	21,1	минус 3,32	126		
эритрит	24,6	минус 3,92	126	126	122,12 [19]
	30,3	минус 4,95	125		
	32,8	минус 5,39	126		
	21,1	минус 2,08	201		
сорбит	24,6	минус 2,45	202	205	182,17 [19]
	45	минус 4,70	209		
сухой глюкозный сироп DE39	45,5	минус 1,64	598	594	296–643*** [10]
	60,6	минус 2,37	581		
	74,5	минус 2,97	602		
инулин	45,5	минус 1,19	824	807	6179 [19]

* Условная молекулярная масса для полидекстрозы, изготовленной под торговой маркой Litesse®.

** Для мальтодекстринов с декстрозным эквивалентом DE18–DE5.

*** Для сухих глюкозных сиропов с декстрозным эквивалентом DE28–DE62.

Эритрит представляет собой заменитель сахара, изготавливаемый из кукурузы методом натурального брожения. По данным [34], пищевой эритрит характеризуется относительно высокой чистотой, которая достигает 98%. Это также подтверждается хорошим совпадением измеренной условной молекулярной массы с массой химически чистого вещества.

Сухие глюкозные сиропы и мальтодекстрины с различным декстрозным эквивалентом изготавливаются путем ферментативного расщепления крахмалов [20]. При этом к мальтодекстринам относятся продукты гидролиза крахмала с декстрозным эквивалентом DE меньше 20, а сухой сироп глюкозы имеет декстрозный эквивалент DE в диапазоне от 20 до 96. У исследованного авторами мальтодекстрина «ГЛЮСИДЕКС DE19» условная молекулярная масса составляла 1203 г/моль, а у сухого глюкозного сиропа с DE39–594 г/моль. Столь существенное снижение условной молекулярной массы происходит за счет большего количества мальтозы, содержащейся в глюкозном сиропе по сравнению с мальтодекстрином, которое согласно данным производителей составляет соответственно 37% и 7%.

На основе полученных авторами данных, а также справочных данных [10], построен график, позволяющий с погрешностью не более $\pm 10\%$ определить условную молекулярную массу сухих глюкозных сиропов и мальтодекстринов на основе показателей величины их декстрозного эквивалента (Рисунок 2). Таким образом, при использовании ингредиентов с более низким декстрозным эквивалентом следует ожидать повышенные значения температуры замерзания и молекулярной массы, а также лучшую водосвязывающую способность сахарозаменителя.

Проведенные исследования показали, что внесение в водный раствор СОМО приводит к дополнительному снижению на 73% криоскопической температуры в сравнении с сахарозой, поэтому в технологических расчетах можно принять, что молекулярная масса СОМО составляет 471 г/моль.

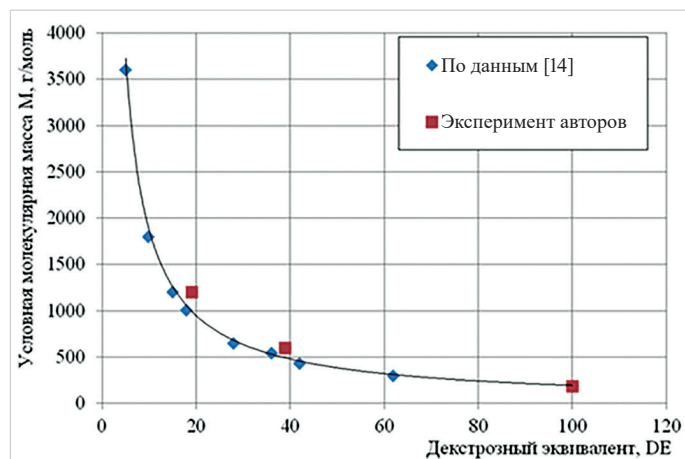


Рисунок 2. Зависимость условной молекулярной массы сухих глюкозных сиропов и мальтодекстринов в зависимости от величины декстрозного эквивалента

К настоящему времени лабораторией технологии мороженого ВНИИ, филиала ФГБНУ «ФНЦ пищевых систем им В. М. Горбатова» РАН, была исследована возможность изготовления мороженого с пониженной массовой долей сахарозы и мороженого без сахарозы. Рассмотрим возможность применения методики расчета криоскопической температуры применительно к трем образцам мороженого с одинаковой массовой долей жира 8% и различной заменой сахарозы на глюкозно-фруктозный сироп (ГФС), состав которых представлен в Таблице 3. При этом в соответствии с рассматриваемым выше подходом принимается во внимание

влияние на криоскопическую температуру не нутриентов, а ингредиентов в целом.

Таблица 3

Рецептура мороженого без снижения массовой доли сахарозы (образец № 1), с пониженным содержанием сахарозы (образец № 2), без добавления сахарозы (образец № 3)

Наименование ингредиентов	Массовая доля ингредиентов, %		
	Образец № 1	Образец № 2	Образец № 3
Сухое обезжиренное молоко	10,53	10,53	10,53
Сливочное масло (массовая доля жира 72,5%)	11,04	11,04	11,04
Сахар	14	9	0
ГФС	0	6,37	15,93
Мальтодекстрин	0	0	1,58
Стабилизационная система CREMODAN SE709 VEG	0,6	0,6	0,6
Вода	63,83	62,46	60,32
ИТОГО, %	100	100	100

Выбор состава образцов мороженого с пониженным содержанием и без сахарозы (Образец № 2 и Образец № 3) обусловлен различной заменой сахарозы на сухие вещества ГФС с учетом его относительной сладости и массовой доли сухих веществ. В образце с частичной заменой сахарозы глюкозно-фруктозным сиропом (Образец № 2) массовая доля сахарозы была снижена от 14,0% до 9,0%. Для полной замены сахарозы по сухому веществу количество сиропа в рецептуре было установлено на уровне 16%. Уменьшение массовой доли заменителя сахара (при равной сладости) в образце мороженого № 3 повлекло за собой понижение общей массовой доли сухих веществ в продукте, что отрицательно сказывается на формировании его структуры. Во избежание указанного эффекта массовая доля сухих веществ в нем была восполнена посредством дополнительного использования мальтодекстрина в количестве 1,6%.

Таблица 4

Расчет и экспериментальное значение криоскопической температуры

Ингредиент	Образец № 1	Образец № 2	Образец № 3
Вода с учетом влаги сливочного масла и ГФС, %	64,93	65,00	65,01
Свободная влага, %	57,40	57,48	57,49
Молярная концентрация сахарозы, моль/кг	0,71	0,46	0,00
Молярная концентрация мальтодекстрина, моль/кг	0,00	0,00	0,02
Молярная концентрация ГФС-70, моль/кг	0,00	0,60	1,51
Молярная концентрация СОМО, моль/кг	0,39	0,39	0,39
Всего молей на 1 кг воды	1,10	1,45	1,92
Криоскопическая температура расчетная, $t_{кр}$, °C	минус 2,05	минус 2,70	минус 3,57
Криоскопическая температура, эксперимент, $t_{кр}$, °C	минус 2,13	минус 2,64	минус 3,48

Согласно расчетным данным, представленным в Таблице 4, образец № 1 характеризуется наиболее высокой криоскопической температурой, а образец № 3 — наиболее низкой за счет применения в его составе глюкозно-фруктозного сиропа с меньшей условной молекулярной массой. С полной заменой сахарозы на ГФС наблюдается снижение криоскопической температуры в 1,6 раза. Отклонение рассчитанных значений криоскопической температуры от полученных экспериментально для представленных растворов мороженого, в том числе с пониженным содержанием и без сахарозы, не превышает 0,1 °C. Уточненные авторами значения условных молекулярных масс позволяют с достаточной точностью выполнять расчет криоскопической температуры мороженого с различным составом.

4. Выводы

С разработкой технологий новых разновидностей мороженого функциональной направленности с измененным углеводно-солевым составом весьма актуальной стала проблема определения криоскопической температуры. В частности, для замены сахарозы по сладости и сухому веществу используют различные моносахара — фруктозу и трегалозу, а также композиции сахаров в составе глюкозно-фруктоз-

ных сиропов, сухие глюкозные сиропы, пищевые волокна (инулин и др.) и другие ингредиенты.

Авторами модифицирован расчетный метод определения криоскопической температуры смесей, при этом в расчетах принимается во внимание количество не нутриентов, а ингредиентов в целом. Для этого экспериментально исследованы водные растворы сахарозы, фруктозы, трегалозы, эритрита, мальтодекстрина, полидекстрозы, сорбита, глюкозно-фруктозного сиропа, сухого глюкозного сиропа, инулина различных концентраций, и на основании закона Рауля расчетным путем определены условные молекулярные массы ингредиентов, применяемых для замены сахарозы.

Установлено, что расчетные данные криоскопической температуры, полученные с использованием условных молекулярных масс, отличались не более чем на 0,2 °C от полученных экспериментально. С дальнейшим расширением базы данных условных молекулярных масс ингредиентов предложенный метод расчета может быть рекомендован к применению для определения криоскопических температур различных разновидностей мороженого, в том числе мороженого функциональной направленности с измененным углеводно-солевым составом.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Goff, H. D. (2019). The structure and properties of ice cream and frozen desserts. Chapter in a book: *Encyclopedia of Food Chemistry*, 47–54. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/b978-0-08-100596-5.21703-4>
- Ландиговская, А. В., Творогова, А.А. (2021). Нутриентный состав мороженого и замороженных десертов: современные направления исследований. *Пищевые системы*, 4(2), 74–81. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2021-4-2-74-81>
- Azari-Anpar, M., Khomeiri, M., Ghafouri-Oskuei, H., Aghajani, N. (2017). Response surface optimization of low-fat ice cream production by using resistant starch and maltodextrin as a fat replacing agent. *Journal of Food Science and Technology*, 54(5), 1175–1185. <https://doi.org/10.1007/s13197-017-2492-0>
- García-Segovia, P., Iborra-Bernad, C., Andrés-Bello, A., González-Carrasco, R., Barreto-Palacios, V., Bretón-Prats, J. et al. (2013). Replacing sugar in ice cream: Fruit up® as a substitute. *Journal of Culinary Science and Technology*, 11(2), 155–164. <https://doi.org/10.1080/15428052.2013.769865>
- Plaza-Díaz, J., Gil, A. (2016) Sucrose: dietary importance. Chapter in a book: *Encyclopedia of Food and Health*, 199–204. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384947-2.00668-1>
- Коновалова, Т.В. (2017) Что использовать вместо пищевых добавок? Особенности производства мороженого пломбир без пищевых добавок и с ограниченным их применением. *Империя холода*, 2, 75–76.
- Блинова, Н. П., Матусевич, Л. Н., Постников, В. А. (1972). Влияние поверхностно-активных примесей на устойчивость пересыщенных растворов и размер получаемых кристаллов. *Журнал прикладной химии*, 2, 169–175.
- Polischuk, G., Sharahmatova, T., Breus, N., Bass, O., Shevchenko, I. (2019). Studies of water freezing features in ice cream with starch syrup. *Food Science and Technology*, 13(2), 71–77. <https://doi.org/10.15673/fst.v13i2.1383>
- Goff H. D., Hartel R. W. (2013) Calculation of Ice Cream Mixes. Chapter in a book: *Ice Cream*. Springer, Boston, MA, 179–191. https://doi.org/10.1007/978-1-4614-6096-1_6
- Mullan, W.M.A. (2013). Perfect ice cream or gelato. Getting the hardness or “scoopability” just right. [On-line]. Retrieved from <https://www.dairyscience.info/index.php/ice-cream/228-ice-cream-hardness.html> Accessed: 10 March, 2021. First posted 13 May 2013. Modified: February 2014; August 2015; January 2017; January 2018; April 2018.
- Lopez-Quiroga, E., Wang, R., Gouseti, O., Fryer, P. J., Bakalis, S. (2016). Crystallisation in concentrated systems: A modelling approach. *Food and Bioprocess Processing*, 100, 525–534. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2016.07.007>
- Lopez-Quiroga, E., Wang, R., Gouseti, O., Fryer, P. J., Bakalis, S. (18–20 February 2015). *Modelling freezing processes of high concentrated systems*. 8th Vienna International Conference on Mathematical Modelling, MATHMOD2015, Vienna, Austria, 28(1), 749–754. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2015.05.140>
- Goff, H. D., Caldwell, K. B., Stanley, D. W., Maurice, T. J. (1993). The influence of polysaccharides on the glass transition in frozen sucrose solutions and ice cream. *Journal of Dairy Science*, 76(5), 1268–1277. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(93\)77456-1](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(93)77456-1)
- Whelan, A. P., Regand, A., Vega, C., Kerry, J. P., Goff, H. D. (2008). Effect of trehalose on the glass transition and ice crystal growth in ice cream. *International Journal of Food Science and Technology*, 43(3), 510–516. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2006.01484.x>
- Wungtanagorn, R., Schmidt, S. J. (2001). Phenomenological study of enthalpy relaxation of amorphous glucose, fructose, and their mixture. *Thermochimica Acta*, 369(1–2), 95–116. [https://doi.org/10.1016/S0040-6031\(00\)00741-3](https://doi.org/10.1016/S0040-6031(00)00741-3)
- Urbani, R., Sussich, F., Prejac, S., Cesàro, A. (1997). Enthalpy relaxation and glass transition behaviour of sucrose by static and dynamic DSC. *Thermochimica Acta*, 304–305(SPEC. ISS.), 359–367. [https://doi.org/10.1016/S0040-6031\(97\)00094-4](https://doi.org/10.1016/S0040-6031(97)00094-4)
- Soukoulis, C., Rontogianni, E., Tzia, C. (2010). Contribution of thermal, rheological and physical measurements to the determination of sensorially perceived quality of ice cream containing bulk sweeteners. *Journal of Food Engineering*, 100(4), 634–641. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2010.05.012>
- Hashim, I. B., Al Shamsi, K.S. (2016). Physicochemical and sensory properties of ice-cream sweetened with date syrup. *MOJ Food Processing & Technology*, 2(3), 91–95. <https://doi.org/10.15406/mojfpt.2016.02.00038>
- Data deposited in or computed by PubChem. Retrieved from <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov> Accessed June 25, 2021
- Cuong, N.P., Lee, W.-H., Oh, I.-N., Thuy N. M., Kim D.-G., Park, J.-T. et al. (2016). Continuous production of pure maltodextrin from cyclodextrin using immobilized *Pyrococcus furiosus* thermostable amylase. *Process Biochemistry*, 51(2), 282–287. <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2015.11.022>
- Švatoš, M., Maitah, M., Belova, A. (2013). World sugar market—basic development trends and tendencies. *Agris on-line Papers in Economics and Informatics*, 5(2), 73–88. <http://doi.org/10.22004/ag.econ.152692>
- Paulino, B. N., Molina, G., Pastore, G.M., Bicas, J.L. (2021). Current perspectives in the biotechnological production of sweetening syrups and polyols. *Current Opinion in Food Science*, 41, 36–43. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2021.02.004>
- Tian, K., Wang, J., Zhang, Z., Cheng, L., Jin, P., Singh, S. et al. (2019). Enzymatic preparation of fructooligosaccharides-rich burdock syrup with enhanced antioxidative properties. *Electronic Journal of Biotechnology*, 40, 71–77. <https://doi.org/10.1016/j.ejbt.2019.04.009>
- White, J. S., Hobbs, L. J., Fernandez, S. (2015). Fructose content and composition of commercial HFCS-sweetened carbonated beverages. *International Journal of Obesity*, 39(1), 176–182. <https://doi.org/10.1038/ijo.2014.73>
- Willems, J. L., Low, N.H. (2012). Major carbohydrate, polyol, and oligosaccharide profiles of agave syrup. Application of this data to authenticity analysis. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 60(35), 8745–8754. <https://doi.org/10.1021/jf3027342>
- Chu, Y.D., Shiau, L.D., Berglund, K.A. (1989). Effects of impurities on crystal growth in fructose crystallization. *Journal of Crystal Growth*, 97(3–4), 689–696. [https://doi.org/10.1016/0022-0248\(89\)90572-1](https://doi.org/10.1016/0022-0248(89)90572-1)

27. Huang L., Li C., Li B., Liu M., Lian M., Yang S. (2020). Studies on qualitative and quantitative detection of trehalose purity by terahertz spectroscopy. *Food Science and Nutrition*, 8(4), 1828–1836. <https://doi.org/10.1002/fsn3.1458>
28. Røytö, H., Ouwehand, A.C. (2014). The fermentation of polydextrose in the large intestine and its beneficial effects. *Beneficial Microbes*, 5(3), 305–313. <https://doi.org/10.3920/BM2013.0065>
29. Шубина, О.Г. (2005). Полидекстроза–многофункциональный углевод для создания низкокалорийных и обогащенных продуктов. *Пищевая промышленность*, 5, 28–31.
30. Craig, S. A. S., Holden, J. F., Troup, J. P., Auerbach, M. H., Frier, H. I (1998). Polydextrose as soluble fiber: Physiological and analytical aspects. *Cereal Foods World*, 43(5), 370–376.
31. Raninen, K., Lappi, J., Mykkänen, H., Poutanen, K. (2011). Dietary fiber type reflects physiological functionality: comparison of grain fiber,

- inulin, and polydextrose. *Nutrition Reviews*, 69(1), 9–21. <https://doi.org/10.1111/j.1753-4887.2010.00358.x>
32. Flamm, G., Glinsmann, W., Kritchevsky, D., Prosky, L., Roberfroid, M. (2001). Inulin and oligofructose as dietary fiber: A review of the evidence. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 41(5), 353–362. <https://doi.org/10.1080/20014091091841>
33. Nezzal, A., Aerts, L., Verspaille, M., Henderickx, G., Redl, A. (2009). Polymorphism of sorbitol. *Journal of Crystal Growth*, 311(15), 3863–3870. <https://doi.org/10.1016/j.jcrysgro.2009.06.003>
34. Hidaka, H., Yamazaki, M., Yabe, M., Kakiuchi, H., Ona, E. P., Kojima, Y. et al. (2004). New PCMs prepared from erythritol-polycalcohols mixtures for latent heat storage between 80 and 100 °C. *Journal of Chemical Engineering of Japan*, 37(9), 1155–1162. <https://doi.org/10.1252/jcej.37.1155>

REFERENCES

35. Goff, H. D. (2019). The structure and properties of ice cream and frozen desserts. Chapter in a book: *Encyclopedia of Food Chemistry*, 47–54. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/b978-0-08-100596-5.21703-4>
36. Landikhovskaya, A.V., Tvorogova, A.A. (2021). Ice cream and frozen desserts nutrient compositions: current trends of researches. *Food systems*, 4(2), 74–81. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2021-4-2-74-81> (In Russian)
37. Azari-Anpar, M., Khomeiri, M., Ghafouri-Oskuei, H., Aghajani, N. (2017). Response surface optimization of low-fat ice cream production by using resistant starch and maltodextrin as a fat replacing agent. *Journal of Food Science and Technology*, 54(5), 1175–1183. <https://doi.org/10.1007/s13197-017-2492-0>
38. García-Segovia, P., Iborra-Bernad, C., Andrés-Bello, A., González-Carrasco, R., Barreto-Palacios, V., Bretón-Prats, J. et al. (2013). Replacing sugar in ice cream: Fruit up® as a substitute. *Journal of Culinary Science and Technology*, 11(2), 155–164. <https://doi.org/10.1080/15428052.2013.769865>
39. Plaza-Diaz, J., Gil, A. (2016). Sucrose: dietary importance. Chapter in a book: *Encyclopedia of Food and Health*, 199–204. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384947-2.00668-1>
40. Konovalova, T.V. (2017). What to use instead of dietary supplements? Features of the production of ice cream sundae without food additives and with their limited use. *Empire of Cold*, 2, 75–76. (In Russian)
41. Blinova, N.P., Matusevich, L.N., Postnikov, V.A. (1972). Influence of surface-active impurities on the stability of supersaturated solutions and the size of the crystals obtained. *Zhurnal prikladnoi khimii*, 2, 169–175. (In Russian)
42. Polischuk, G., Sharahmatova, T., Breus, N., Bass, O., Shevchenko, I. (2019). Studies of water freezing features in ice cream with starch syrup. *Food Science and Technology*, 13(2), 71–77. <https://doi.org/10.15673/fst.v13i2.1383>
43. Goff H. D., Hartel R. W. (2013) Calculation of Ice Cream Mixes. Chapter in a book: *Ice Cream*. Springer, Boston, MA, 179–191. https://doi.org/10.1007/978-1-4614-6096-1_6
44. Mullan, W.M.A. (2013). Perfect ice cream or gelato. Getting the hardness or “scoopability” just right. [On-line]. Retrieved from <https://www.dairyscience.info/index.php/ice-cream/228-ice-cream-hardness.html> Accessed: 10 March, 2021. First posted 13 May 2013. Modified: February 2014; August 2015; January 2017; January 2018; April 2018.
45. Lopez-Quiroga, E., Wang, R., Gouseti, O., Fryer, P. J., Bakalis, S. (2016). Crystallisation in concentrated systems: A modelling approach. *Food and Bioprocess Processing*, 100, 525–534. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2016.07.007>
46. Lopez-Quiroga, E., Wang, R., Gouseti, O., Fryer, P. J., Bakalis, S. (18–20 February 2015). *Modelling freezing processes of high concentrated systems*. 8th Vienna International Conference on Mathematical Modelling, MATHMOD2015, Vienna, Austria, 28(1), 749–754. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2015.05.140>
47. Goff, H. D., Caldwell, K. B., Stanley, D. W., Maurice, T. J. (1993). The influence of polysaccharides on the glass transition in frozen sucrose solutions and ice cream. *Journal of Dairy Science*, 76(5), 1268–1277. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(93\)77456-1](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(93)77456-1)
48. Whelan, A. P., Regand, A., Vega, C., Kerry, J. P., Goff, H. D. (2008). Effect of trehalose on the glass transition and ice crystal growth in ice cream. *International Journal of Food Science and Technology*, 43(3), 510–516. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2006.01484.x>
49. Wungtanagorn, R., Schmidt, S. J. (2001). Phenomenological study of enthalpy relaxation of amorphous glucose, fructose, and their mixture. *Thermochimica Acta*, 369(1–2), 95–116. [https://doi.org/10.1016/S0040-6031\(00\)00741-3](https://doi.org/10.1016/S0040-6031(00)00741-3)
50. Urbani, R., Sussich, F., Prejac, S., Cesàro, A. (1997). Enthalpy relaxation and glass transition behaviour of sucrose by static and dynamic DSC. *Thermochimica Acta*, 304–305(SPEC. ISS.), 359–367. [https://doi.org/10.1016/S0040-6031\(97\)00094-4](https://doi.org/10.1016/S0040-6031(97)00094-4)
51. Soukoulis, C., Rontogianni, E., Tzia, C. (2010). Contribution of thermal, rheological and physical measurements to the determination of sensorially perceived quality of ice cream containing bulk sweeteners. *Journal of Food Engineering*, 100(4), 634–641. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2010.05.012>
52. Hashim, I. B., Al Shamsi, K.S. (2016). Physiochemical and sensory properties of ice-cream sweetened with date syrup. *MOJ Food Processing & Technology*, 2(3), 91–95. <https://doi.org/10.15406/mojfpt.2016.02.00038>
53. Data deposited in or computed by PubChem. Retrieved from <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov> Accessed June 25, 2021
54. Cuong, N.P., Lee, W.-H., Oh, I.-N., Thuy N. M., Kim D.-G., Park, J.-T. et al. (2016). Continuous production of pure maltodextrin from cyclodextrin using immobilized *Pyrococcus furiosus* thermostable amylase. *Process Biochemistry*, 51(2), 282–287. <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2015.11.022>
55. Svatoš, M., Maitah, M., Belova, A. (2013). World sugar market–basic development trends and tendencies. *Agris on-line Papers in Economics and Informatics*, 5(2), 73–88. <http://doi.org/10.22004/ag.econ.152692>
56. Paulino, B. N., Molina, G., Pastore, G.M., Bicas, J.L. (2021). Current perspectives in the biotechnological production of sweetening syrups and polyols. *Current Opinion in Food Science*, 41, 36–43. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2021.02.004>
57. Tian, K., Wang, J., Zhang, Z., Cheng, L., Jin, P., Singh, S. et al. (2019). Enzymatic preparation of fructooligosaccharides-rich burdock syrup with enhanced antioxidative properties. *Electronic Journal of Biotechnology*, 40, 71–77. <https://doi.org/10.1016/j.ejbt.2019.04.009>
58. White, J. S., Hobbs, L. J., Fernandez, S. (2015). Fructose content and composition of commercial HFCS-sweetened carbonated beverages. *International Journal of Obesity*, 39(1), 176–182. <https://doi.org/10.1038/ijo.2014.73>
59. Willems, J. L., Low, N.H. (2012). Major carbohydrate, polyol, and oligosaccharide profiles of agave syrup. Application of this data to authenticity analysis. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 60(35), 8745–8754. <https://doi.org/10.1021/jf3027342>
60. Chu, Y.D., Shiao, L.D., Berglund, K.A. (1989). Effects of impurities on crystal growth in fructose crystallization. *Journal of Crystal Growth*, 97(3–4), 689–696. [https://doi.org/10.1016/0022-0248\(89\)90572-1](https://doi.org/10.1016/0022-0248(89)90572-1)
61. Huang L., Li C., Li B., Liu M., Lian M., Yang S. (2020). Studies on qualitative and quantitative detection of trehalose purity by terahertz spectroscopy. *Food Science and Nutrition*, 8(4), 1828–1836. <https://doi.org/10.1002/fsn3.1458>
62. Røytö, H., Ouwehand, A.C. (2014). The fermentation of polydextrose in the large intestine and its beneficial effects. *Beneficial Microbes*, 5(3), 305–313. <https://doi.org/10.3920/BM2013.0065>
63. Shubina, O.G. (2005). Polydextrose is a multifunctional carbohydrate for creating low-calorie and fortified foods. *Food industry*, 5, 28–31. (In Russian)
64. Craig, S. A. S., Holden, J. F., Troup, J. P., Auerbach, M. H., Frier, H. I (1998). Polydextrose as soluble fiber: Physiological and analytical aspects. *Cereal Foods World*, 43(5), 370–376.
65. Raninen, K., Lappi, J., Mykkänen, H., Poutanen, K. (2011). Dietary fiber type reflects physiological functionality: comparison of grain fiber, inulin, and polydextrose. *Nutrition Reviews*, 69(1), 9–21. <https://doi.org/10.1111/j.1753-4887.2010.00358.x>
66. Flamm, G., Glinsmann, W., Kritchevsky, D., Prosky, L., Roberfroid, M. (2001). Inulin and oligofructose as dietary fiber: A review of the evidence. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 41(5), 353–362. <https://doi.org/10.1080/20014091091841>
67. Nezzal, A., Aerts, L., Verspaille, M., Henderickx, G., Redl, A. (2009). Polymorphism of sorbitol. *Journal of Crystal Growth*, 311(15), 3863–3870. <https://doi.org/10.1016/j.jcrysgro.2009.06.003>
68. Hidaka, H., Yamazaki, M., Yabe, M., Kakiuchi, H., Ona, E. P., Kojima, Y. et al. (2004). New PCMs prepared from erythritol-polycalcohols mixtures for latent heat storage between 80 and 100 °C. *Journal of Chemical Engineering of Japan*, 37(9), 1155–1162. <https://doi.org/10.1252/jcej.37.1155>

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ	AUTHOR INFORMATION
Принадлежность к организации	Affiliation
Королев Игорь Антонович — кандидат технических наук, научный сотрудник, Всероссийский научно-исследовательский институт холодильной промышленности 127422, г. Москва, ул. Костякова, д. 12. Тел.: +7-499-976-09-63 E-mail: gigja@yandex.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0003-3166-2827 * автор для контактов	Igor A. Korolev — candidate of technical sciences, researcher, All-Russian Research Institute of the Refrigeration Industry 12, Kostyakova str., 127422, Moscow, Russia Tel.: + 7-499-976-09-63 E-mail: gigja@yandex.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0003-3166-2827 * corresponding author
Творогова Антонина Анатольевна — доктор технических наук, доцент, исполняющий обязанности директора, Всероссийский научно-исследовательский институт холодильной промышленности 127422, г. Москва, ул. Костякова, д. 12 Тел.: +7-499-976-09-63 E-mail: antvogova@yandex.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0001-7293-9162	Antonina A. Tvorogova — doctor of technical sciences, docent, acting Director, All-Russian Scientific Research Institute of Refrigeration Industry 12, Kostyakova str., 127422, Moscow, Russia Tel.: +7-499-976-09-63 E-mail: antvogova@yandex.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0001-7293-9162
Ситникова Полина Борисовна — кандидат технических наук, научный сотрудник, Всероссийский научно-исследовательский институт холодильной промышленности 126422, г. Москва, ул. Костякова, д. 12. Тел.: +7-495-610-83-85 E-mail: lab.moroz@mail.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0002-4098-9146	Polina B. Sitnikova — candidate of technical sciences, researcher, All-Russian Research Institute of the Refrigeration Industry 12, Kostyakova str., 127422, Moscow, Russia Tel.: +7-495-610-83-85 E-mail: lab.moroz@mail.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0002-4098-9146
Критерии авторства	Contribution
Авторы в равных долях имеют отношение к написанию рукописи и одинаково несут ответственность за плагиат	Authors equally relevant to the writing of the manuscript, and equally responsible for plagiarism
Конфликт интересов	Conflict of interest
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов	The authors declare no conflict of interest