

ОЦЕНКА КРИОСКОПИЧЕСКОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ СМЕСЕЙ ДЛЯ МОРОЖЕНОГО С МОДИФИЦИРОВАННЫМ УГЛЕВОДНЫМ СОСТАВОМ*

ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ

Антонина Анатольевна Творогова, д-р техн. наук, заместитель директора по научной работе

E-mail: a.tvorogova@fncps.ru

Игорь Алексеевич Гурский, канд. техн. наук, научный сотрудник

E-mail: i.gursky@fncps.ru

Игорь Антонович Королев, канд. техн. наук, научный сотрудник

E-mail: i.korolev@fncps.ru

Наталья Владимировна Казакова, канд. техн. наук, ведущий инженер

E-mail: n.kazakova@fncps.ru

Всероссийский научно-исследовательский институт холодильной промышленности – филиал Федерального научного центра пищевых систем им. В. М. Горбатова РАН, г. Москва

Сахара в мороженом, являясь низкомолекулярными веществами, способствуют снижению криоскопической температуры и выгрузки продукта из фризера. Параметры процесса фризирования установлены с учетом влияния на эти показатели наиболее применяемого сахара – сахарозы. В связи с развитием тенденции снижения потребления сахарозы и лактозы целью исследования являлась оценка криоскопической температуры смесей для мороженого с низким содержанием сахарозы и без ее использования и для мороженого с гидролизованной лактозой. Использованы криоскопический и расчетный методы определения температуры начала замерзания смесей для мороженого. С помощью криоскопа определено, что криоскопическая температура смесей для мороженого промышленного производства с заменой сахарозы на пищевые волокна и сахароспирты (сорбит и ксилит) снизилась на 1,1–1,4 °С по сравнению с показателем традиционного продукта. Использование не более 10 % мальтита для частичной замены сахарозы вызвало повышение криоскопической температуры на 0,6 °С, а замена сахара на полидекстрозу и концентрат сывороточного белка, содержащий лактозу и минеральные соли, привела к ее снижению на 0,7–1,0 °С. При проведении гидролиза лактозы значение этого показателя снизилось на 0,4 °С. Для расчета криоскопической температуры непосредственно на предприятии предложена формула. Она позволяет с учетом криоскопической константы, массы и молекулярной массы растворенного вещества и массы растворителя в 1 кг смеси рассчитать сначала депрессию температуры замерзания, вызываемую каждым растворенным веществом, а затем с учетом аддитивности этого показателя определить суммарное его значение. С использованием предложенной зависимости установлена криоскопическая температура мороженого с низким содержанием сахарозы и без ее использования, характеризуемого оптимальным соотношением ее заменителей по сладости и сухому веществу. Установлено, что расчетные и экспериментальные значения этого показателя не отличаются более чем на 0,1 °С. В смесях для мороженого с использованием низкомолекулярного подсластителя эритрита произошло повышение криоскопической температуры на 1,59 °С при низком содержании сахарозы (5 %) и на 0,89 °С в продукте без сахарозы. Предложенная формула для расчета криоскопической температуры позволит непосредственно на предприятии определить этот показатель.

Ключевые слова: мороженое, гликемический индекс, сахароза, подсластители, гидролизованная лактоза, вымороженная вода, температура замерзания

Для цитирования: Оценка криоскопической температуры смесей для мороженого с модифицированным углеводным составом / А. А. Творогова, И. А. Гурский, И. А. Королев, Н. В. Казакова // Молочная промышленность. 2026. № 5. С. 81–88. <https://doi.org/10.21603/1019-8946-2026-5-102>

ВВЕДЕНИЕ

Мороженое является сладкой взбитой замороженной разновидностью молочной продукции¹. Источником сладости мороженого традиционно является сахароза, массовая доля которой во всем мире нормируется на уровне законодательства² [1–3]. Сахароза создает в пищевой продукции

привычный профиль сладости (быстро ощущаемой и долго не сохраняющейся в полости рта).

В связи с растущей тенденцией к здоровому образу жизни во всем мире снижается потребление сахарозы [4–6]. Основным показателем, учитываемым при решении проблемы потребления сахаров, явля-

*Статья подготовлена в рамках выполнения исследований по государственному заданию FGUS-2025-0003 ФГБНУ «ФНЦ пищевых систем им. В. М. Горбатова» РАН.

¹Технический регламент Таможенного союза ТР ТС 033/2013 «О безопасности молока и молочной продукции» (с изменениями на 15 июля 2022 г.) [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/499050562> (дата обращения: 15.03.2026).

²Стратегия повышения качества пищевой продукции в Российской Федерации до 2030 года.

Утв. Распоряжением Правительства 29.06.2016 г. № 1364-р.

ется гликемический индекс [7]. По данным разных источников, гликемический индекс сахарозы составляет 69–70, что соответствует между средним и высоким уровнями. В связи с риском повышения гликемического индекса оптимальным считается потребление сахарозы в количестве, не превышающем 10 % от калорийности суточного рациона [2, 4]. Во многих зарубежных странах рекомендуемый уровень потребления сахарозы составляет не более 50 г, в Российской Федерации – не более 65 г. При этом информировать потребителя о низком уровне сахаров можно при их содержании не более 5 %³.

Учитывая общемировую тенденцию к снижению количества сахаров, соответствующую заинтересованность предприятий и спрос потребителей, разработан и введен в действие межгосударственный стандарт ГОСТ 35282–2025 «Мороженое с сахарами и подсластителями. Технические условия». Для полной и частичной замены сухих веществ сахарозы в мороженом предусмотрено применение ингредиентов с пониженной калорийностью и низким гликемическим индексом – полиолов (сахароспиртов) и растворимых пищевых волокон.

Принимая во внимание, что содержание сахарозы в мороженом составляет 30–50 % от содержания сухих веществ, при выборе ингредиентов для замены важно учитывать их влияние на криоскопическую температуру и долю вымороженной воды. Это необходимо для производства продукции с усовершенствованным углеводным составом в условиях действующих предприятий отрасли. Доля вымороженной воды, являясь функцией температуры, зависит от криоскопической температуры, на которую оказывает влияние молекулярная масса растворимых низкомолекулярных веществ [8–12]. В традиционном мороженом (молочном, сливочном, пломбире и кисломолочном) это добавленные сахара, лактоза и минеральные соли сухого обезжиренного остатка (СОМО). Сахароза (молекулярная масса 342 Да) практически наполовину определяет значение криоскопической температуры смесей для традиционного мороженого (минус 2,3–2,6 °С). При указанном значении этого показателя, исходя из целесообразности достижения при фризировании доли вымороженной воды 40–50 % с целью получения достаточного количества центров кристаллизации при домораживании

оставшейся воды в процессе закаливания, температура выгрузки мороженого из фризера установлена в пределах минус 4–5 °С [11]. Замена сахарозы в мороженом на ингредиенты с отличной от сахарозы молекулярной массой может влиять на значение криоскопической температуры, количество центров кристаллизации, а следовательно, и на размер кристаллов льда, определяющий состояние структуры продукта. Кроме того, сахара связывают воду прочной химической связью, что влияет на ее подвижность, а следовательно, и на процесс кристаллизации, консистенцию и структуру продукта [11, 13].

Кроме мороженого с сахарами и подсластителями, модификация углеводного состава происходит при проведении гидролиза лактозы с целью производства низколактозной или безлактозной продукции или предотвращения пороков «мучнистость» или «песчанистость» при высоком содержании сухих веществ или СОМО. И в том и в другом случае для гидролиза лактозы используют фермент β -галактозидазу (лактазу). Образующиеся в процессе гидролиза лактозы моносахара галактоза и глюкоза характеризуются по сравнению с лактозой меньшей в 2 раза молекулярной массой, что не может не сказаться на криоскопической температуре смеси для мороженого [14, 15].

В последние годы развивается также тенденция применения натуральных сиропов топинамбура, финикового и др. В их составе доминируют моносахара, влияние которых на формирование структуры мороженого и замороженных десертов необходимо принимать во внимание [16].

В связи с этим **целью исследования** являлось определение инструментальным и расчетным способами криоскопической температуры смесей мороженого с низким содержанием сахарозы, мороженого без ее использования и для мороженого с гидролизованной лактозой, а также обоснование доступного расчетного метода определения этого показателя.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Криоскопическую температуру определяли на криоскопе ОСКР-1. Принцип работы криоскопа основан на измерении снижения температуры кристаллизации воды в растворе по сравнению с показателем

³Технический регламент Таможенного союза ТР ТС 022/2011 «Пищевая продукция в части ее маркировки» [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/902320347> (дата обращения: 15.03.2026).

чистого растворителя (воды). Измерения проводили следующим образом. Смесь для мороженого охлаждали до температуры ниже предполагаемой криоскопической, затем путем перемешивания инициировали процесс кристаллизации воды. Температуру, установленную до ее значительного повышения в результате выделения теплоты при фазовом переходе воды в лед, фиксировали как начальную точку кристаллизации воды (криоскопическая температура). Измерения проводили в трехкратной повторности.

Исследовали смеси для мороженого, в которых сахарозу заменяли полиолами (сахароспиртами) с молекулярной массой, как близкой к таковой сахарозы (мальтит, мальтитол), так и существенно от нее отличающейся (сорбит, эритрит). Сахароспирты использовали в количестве не более 10 %. Остальные сухие вещества сахарозы восполняли растворимым пищевым волокном инулином, не оказывающим прямого воздействия на криоскопическую температуру смесей. Присутствие интенсивных подсластителей сукралозы и стевииогликозидов вследствие их незначительного количества не оказывало значительного влияния на температуру замерзания.

Температуру выгрузки мороженого из фризера определяли на основании формулы:

$$w = 1 - \frac{t_{кр}}{t} \quad (1)$$

где w – количество вымороженной воды, кг/кг;
 t – температура выгрузки, °C; $t_{кр}$ – криоскопическая температура, °C.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Инструментальное определение криоскопической температуры смесей для мороженого с модифицированным углеводным составом.

На первой стадии исследований определена криоскопическая температура смесей для промышленного мороженого с заменой сахарозы на подсластители, растворимые пищевые волокна и концентраты белков (табл. 1). При анализе результатов исследований исходили из того, что при использовании сахарозы (белого сахара) в качестве источника сладости и значительной части сухих веществ криоскопическая температура смесей для традиционного мороженого достигает значения минус 2,3–2,5 °C (образцы 1к и 2к).

Как и следовало ожидать, введение в рецептуру мороженого сахароспиртов с низкой молекулярной массой (эритрита и сорбита, образцы 4 и 6) привело к снижению криоскопической температуры на 1,1–1,4 °C. Применение мальтита в количестве не более 10 % вызвало повышение криоскопической температуры на 0,6 °C (образец 5). В образцах 7 и 8 сахар заменен на полидекстрозу и белок, для них отмечено снижение криоскопической температуры на 0,7–1,0 °C, что возможно при содержании в источниках белка (концентратах) значительного количества минеральных солей и лактозы.

Таблица 1. Криоскопическая температура смесей для мороженого с модифицированным углеводным составом промышленного производства

№ образца	Разновидность мороженого	Подсластители и заменители сахара	Криоскопическая температура, °C
1к	Сливочное со вкусом ванили с массовой долей жира 10 %	Сахар 14 %	-2,3 ± 0,1
2к	Пломбир со вкусом ванили с массовой долей жира 12 %	Сахар 14 %	-2,5 ± 0,1
3	Ванильное без добавления сахара с массовой долей жира 14 %	Инулин, полидекстроза, стевииогликозид	-2,3 ± 0,1
4	Со вкусом ванили без сахарозы с массовой долей жира 15 %	Растворимое кукурузное волокно, эритрит, сукралоза	-3,5 ± 0,2
5	Ванильное без сахарозы с массовой долей жира 15 %	Мальтит, инулин, стевииогликозид, полидекстроза	-1,9 ± 0,1
6	Со вкусом клубники без добавления сахара с массовой долей жира 3 %	Растворимое кукурузное волокно, сорбит	-3,8 ± 0,4
7	Ванильное без добавления сахара с массовой долей жира 7,5 %	Полидекстроза, белок молочный, стевииогликозид	-3,0 ± 0,1
8	Без добавления сахара со вкусом карамели с массовой долей жира 7,5 %	Полидекстроза, аллюлоза, белок молочный, стевииогликозид	-3,3 ± 0,1
9	Шоколадное без добавления сахара с массовой долей жира 7,5 %	Мальтит	-3,1 ± 0,1
10	С фруктозой, обогащенное белком, с массовой долей жира 12 %	Мальтитный сироп, фруктоза, концентрат молочного белка, сорбит	-3,9 ± 0,1
11	Пломбир безлактозный с массовой долей жира 12 %	Сахар, глюкозный сироп	-4,0 ± 0,1

В образце 11 с гидролизованной лактозой отмечено значительное снижение криоскопической температуры (на 1,5 °С). Помимо моносахаридов, образовавшихся при гидролизе лактозы, на этот показатель повлияли моносахариды глюкозного сиропа. Данный факт требует дальнейшего изучения. Также изучения требует установленный факт сохранения характерной для смесей для традиционного мороженого криоскопической температуры в образце 3 при замене сахара инулином и полидекстрозой. Теоретически в этом образце следовало ожидать повышения криоскопической температуры до 1 °С. Полученные данные свидетельствуют о том, что определение криоскопической температуры смесей с декларируемым составом может быть в перспективе использовано для установления фактов фальсификации заменителей сахарозы. На основании значения криоскопической температуры, как это было установлено в работе [17], можно определить расчетную молекулярную массу используемых ингредиентов.

Совершенствование способа расчета криоскопической температуры смесей для мороженого. Расчетный способ определения криоскопической температуры смесей для мороженого базируется на учете коллигативных свойств растворов. В химии термин «коллигативный» применяется для характеристики свойств растворов, зависящих не от вида растворенного вещества, а от его количества [11]. В частности, снижение температуры замерзания растворов, происходящее и в процессе производства мороженого, обусловлено тем, что частицы растворенного вещества (молекулы) препятствуют образованию кристаллической решетки замерзающей воды. Количественную оценку снижения температуры замерзания (Δt_z) растворов низкомолекулярных веществ проводят в соответствии с законом Ф. М. Рауля:

$$\Delta t_z = K \times C_m \quad (2)$$

где K – криоскопическая константа; C_m – моляльность вещества в растворе, моль/1000 г (количество молей растворенного вещества в 1000 г растворителя).

$$C_m = \frac{\nu}{m_p} \quad (3)$$

где ν – количество растворенного вещества, моль; m_p – масса растворителя, г.

$$\nu = \frac{m_e}{M} \quad (4)$$

где m_e – масса растворенного вещества, г; M – молекулярная масса растворенного вещества, г/моль.

С целью упрощения расчета депрессии температуры замерзания с использованием формул 1, 2 и 3 в работе [11] предложено применять формулу 5:

$$\Delta t_z = \frac{K \times 1000 \times m_e}{m_p \times M} \quad (5)$$

При использовании формулы 5 важно принимать во внимание количество воды, являющейся растворителем. Не является растворителем прочно связанная вода, которая в мороженом гидратирует молекулы белка или гидроколлоидов (стабилизаторов) или удерживается за счет электростатических сил. Такая вода практически не замораживается и не участвует в процессах массопереноса. Известно, что доля вымороженной воды является функцией температуры [8, 11, 13]. Как это неоднократно было установлено во ВНИИХИ, при температуре минус 18 °С практически во всех разновидностях мороженого массовая доля вымороженной воды достигает уровня 80 %. При дальнейшем понижении температуры мороженого, независимо от криоскопической температуры, не удастся дополнительно заморозить более 10 ± 1,2 % воды (см. рис.).

Принимая во внимание количество незамораживаемой воды (10 %) вполне обоснованно считать ее прочно связанной, поэтому в формулу 5 целесообразно ввести коэффициент 0,9, отражающий, что 90 % воды в мороженом является растворителем:

$$\Delta t_z = \frac{K \times 1000 \times m_e}{0,9 \times m_p \times M} \quad (6)$$

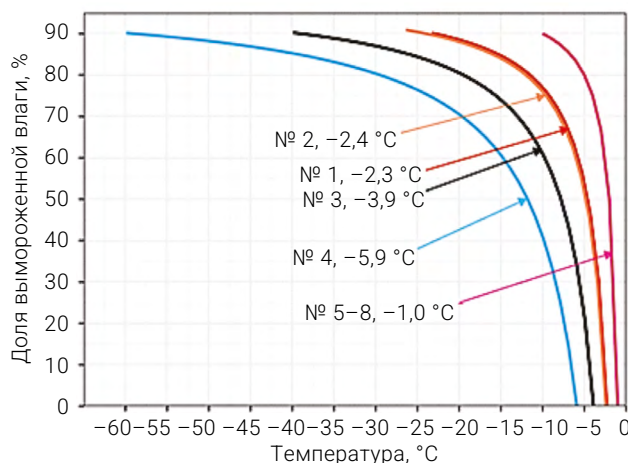


Рисунок. Криоскопическая температура смесей и доля вымороженной воды в мороженом

Обоснование состава и расчет криоскопической температуры смесей для мороженого с низким содержанием сахарозы и с подсластителями. В настоящее время полную или частичную замену сахарозы проводят в мороженом с различным содержанием жира. Однако одними из основных заменителей сахарозы являются подсластители, а их рекомендуют использовать в продукции с пониженной калорийностью, к которой относится мороженое с низким содержанием сахарозы и без ее использования при массовой доле жира не более 6 %. При выборе таких разновидностей в качестве объектов исследования содержание СОМО установлено на максимально допустимом уровне (11 %), что позволяет поддерживать содержание общих сухих веществ 32 % во избежание порока «органолептически ощутимые кристаллы льда». С учетом содержания сухих веществ стабилизационной системы 0,6 % массовая доля влаги в мороженом составит 67,5 %.

Учитывая, что лишь незначительная часть подсластителей может быть использована для полной замены сахарозы в мороженом, ГОСТ 35282–2025 с этой целью рекомендует композиции сахарозы, фруктозы, подсластителей (полиолов) и растворимых пищевых волокон (табл. 2).

Как следует из данных таблицы 2, основными ингредиентами для восполнения сухих веществ сахарозы являются полиолы (сахароспирты) и растворимые пищевые волокна, которые широко используются на предприятиях отрасли. Волокна характеризуются высокой молекулярной массой и поэтому не оказывают прямого влияния на криоскопическую температуру. Косвенное их влияние определяется вкладом в содержание сухих веществ продукта, с увеличением которых сокращается доля растворителя. Молекулярная масса сахароспиртов заметно различается, что влияет на коэффициент снижения температуры замерзания в сравнении с этим показателем сахарозы, принятым за 1 [18] (табл. 3).

Из данных таблицы 3 видно, что четыре из разрешенных для замены сахарозы подсластителей – полиолы оказывают заметное влияние на температуру замерзания смеси.

Оценку криоскопической температуры смесей для мороженого с модифицированным углеводным составом проводили в соответствии с изложенными подходами, используя образцы, состав которых представлен в таблице 4.

Таблица 2. Массовые доли сахаров, подсластителей и растворимых пищевых волокон в мороженом

Вид мороженого	Массовая доля, %			
	сахарозы	фруктозы	полиолов (сахароспиртов)	растворимых пищевых волокон
С низким содержанием сахарозы	не более 5,0	–	не более 10,0	не более 6,0
С пониженным содержанием сахарозы	12,0	–	–	не менее 3,0 при обогащении
С сахарозой и подсластителями	от 5,5 до 10,0	–	не более 9,0	не более 6,0
С фруктозой	–	от 7,0 до 9,0	не более 7,0	не более 6,0
Без добавленных сахаров	–	–	не более 10,0	не более 6,0

Примечание: массовые доли подсластителей определяют с учетом их относительной сладости, содержания в мороженом сахарозы и необходимости достижения сладости продукта с ее массовой долей не менее 12,0 %.

Таблица 3. Молекулярная масса сахароспиртов и коэффициент снижения температуры замерзания

Подсластители	Молекулярная масса, Да	Коэффициент снижения температуры замерзания
Мальтит	344	0,99
Изомальт	344	0,99
Маннит	182	1,88
Сорбит	182	1,88
Ксилит	152	2,25
Лактит	344	0,99
Эритрит	122	2,80



Влияние каждого низкомолекулярного компонента на депрессию температуры замерзания определяли отдельно, а затем с учетом аддитивности этого показателя суммировали.

В качестве примера целесообразно рассмотреть расчет депрессии температуры под влиянием лактозы и солей СОМО и полиола эритрита, руководствуясь формулой 6.

Депрессия температуры от присутствия лактозы:

$$\Delta t_s = \frac{1,81 \times 1000 \times 0,0596}{0,9 \times 0,675 \times 342} = 0,519 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Депрессия температуры от присутствия солей:

$$\Delta t_s = \frac{1,81 \times 1000 \times 0,0099}{0,9 \times 0,675 \times 58} = 0,508 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Депрессия температуры от присутствия эритрита:

$$\Delta t_s = \frac{1,81 \times 1000 \times 0,090}{0,9 \times 0,675 \times 122} = 2,19 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

В данном расчете: 0,059,6 и 0,099 – соответственно содержание лактозы и минеральных солей (кг), вносимых с 11 % СОМО (0,11 кг на 1 кг продукта); 0,090 – содержание эритрита в 1 кг продукта (кг); 342, 58 и 122 – молекулярные массы лактозы, солей и эритрита. Влияние остальных нутриентов на снижение температуры замерзания рассчитано таким же образом.

При расчете криоскопической температуры мороженого с гидролизованной лактозой принимали во внимание, что взамен 5,42 % лактозы (дисахарида) образуются два моносахарида – глюкоза и галактоза [19]. Их суммарное воздействие на криоскопическую температуру можно также рассчитать по формуле 6 с учетом доли воды-растворителя:

$$\Delta t_s = \frac{1,81 \times 1000 \times 0,0542}{0,9 \times 0,675 \times 180} = 0,897 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Результаты расчета и суммарная депрессия, а также криоскопическая температура, рассчитанная по формуле 6, определенная экспериментально, приведены в таблице 5.

Таблица 4. Химический состав мороженого с усовершенствованным углеводным составом

Мороженое	Массовая доля, %			
	жира / СОМО	сахаров	полиолов	пищевых волокон
Молочное (контроль)	6 / 11	Сахарозы, 15	–	–
С низким содержанием сахарозы с мальтитом		Сахарозы, 5	Мальтита, 10	–
С низким содержанием сахарозы с эритритом			Эритрита, 10	–
С фруктозой и мальтитом		Фруктозы, 8	Мальтита, 7	–
С фруктозой и эритритом			Эритрита, 7	–
С фруктозой и инулином			Инулина, 6	–
С мальтитом		–	Мальтита, 9	Инулина, 6
С эритритом		–	Эритрита, 9	
С гидролизованной лактозой	6 / 11	Глюкозы, 7,5; галактозы, 7,5	–	–

Таблица 5. Данные для расчета криоскопической температуры

Мороженое	Депрессия температуры от присутствия нутриентов, °С			Криоскопическая температура смесей, °С		
	лактозы	минеральных солей	добавленных сахаров	полиолов	расчетная	определенная экспериментально
Молочное (контроль)	0,519	0,508	1,306	–	минус 2,33	минус 2,36 ± 0,06
С низким содержанием сахарозы с мальтитом			0,453	0,866	минус 2,35	минус 2,41 ± 0,02
С низким содержанием сахарозы с эритритом			0,453	2,442	минус 3,92	минус 3,96 ± 0,03
С фруктозой и мальтитом			1,324	0,519	минус 2,87	минус 2,92 ± 0,015
С фруктозой и инулином			1,324	–	минус 2,35	минус 2,38 ± 0,05
С мальтитом			–	0,779	минус 1,8	минус 1,79 ± 0,02
С эритритом			–	2,197	минус 3,22	минус 3,28 ± 0,06
С гидролизованной лактозой	0,897	0,508	1,306	–	минус 2,71	минус 2,76 ± 0,03

Таблица 6. Взаимосвязь криоскопической температуры и доли вымороженной воды в мороженом с модифицированным углеводным составом

Мороженое	Доля вымороженной воды в мороженом при различной температуре выгрузки мороженого из фризера, %			Температура мороженого при доле вымороженной воды 50 %, °C
	минус 3 °C	минус 4 °C	минус 5 °C	
Молочное (контроль)	22	42	53	минус 4,6
С низким содержанием сахарозы с мальтитом	22	42	53	минус 4,6
С низким содержанием сахарозы с эритритом	–	2	21	минус 7,8
С фруктозой и мальтитом	5	28	42	минус 5,7
С фруктозой и инулином	21	41	53	минус 4,7
С мальтитом	40	55	64	минус 3,6
С эритритом	–	20	35	минус 6,4
С гидролизованной лактозой	10	32	46	минус 5,4

Как видно из данных таблицы 5, различия значений криоскопической температуры, полученных путем расчета и экспериментально отличаются не более чем на 0,1 °C.

Депрессия температуры, вызываемая лактозой СОМО (54,2 %) и минеральными солями (9 %), из-за различия молекулярных масс отличается незначительно. Близкую к значению в контрольном образце криоскопическую температуру смесей для мороженого можно достичь при использовании вместо сахарозы композиции инулина с мальтитом (при низком содержании сахарозы) или фруктозы. Важно, что при отсутствии сахаров внесение 9 % мальтита приводит к повышению криоскопической температуры на 0,5 °C, а эритрита в том же количестве – к ее снижению на 0,89 °C. Гидролиз лактозы приводит к снижению криоскопической температуры на 0,38 °C.

Таким образом, установлено, что криоскопическая температура смесей для мороженого с одинаковым содержанием сухих веществ при замене сахарозы изменилась на 0,5–1,6 °C. Учитывая, что криоскопическая температура влияет на долю вымороженной воды в мороженом, значение которой по окончании процесса фризирования определяет органолептические и технологически значимые показатели качества, выполнен расчет доли вымороженной воды при различной температуре и температуры, при которой достигается технологически необходимое ее количество 50 %. Результаты приведены в таблице 6.

Из данных, представленных в таблице 6, видно, что по сравнению с контролем температура выгрузки мороженого с мальтитом должна быть выше на 1 °C, а с эритритом – на 1,8 °C ниже. Возможно сохранить

температуру выгрузки мороженого на уровне, установленном для традиционного мороженого, при использовании композиции фруктозы с мальтитом при пониженном содержании сахарозы и пищевым волокном, а также при низком содержании сахарозы (5 %) в случае использования мальтита для восполнения оставшегося количества сухих веществ сахарозы. Гидролиз лактозы вследствие образования двух моносахаров [19] приводит к необходимости снижения температуры выгрузки мороженого из фризера на 0,8 °C.

ВЫВОДЫ

При полной или частичной замене сахарозы необходимо принимать во внимание молекулярную массу ингредиентов, используемых в качестве заменителей. Экспериментальным и расчетным методами установлено значительное влияние полиолов с низкой молекулярной массой (эритрита и сорбита) на температуру криоскопическую и выгрузки мороженого из фризера при полной и частичной замене ими сахарозы. При частичной замене сахарозы на мальтит в отсутствие других дополнительно вводимых низкомолекулярных веществ происходит повышение криоскопической температуры. При использовании фруктозы для полного восполнения сладости мороженого в композиции с пищевым волокном можно в значительной степени достичь значения криоскопической температуры, характерного для мороженого традиционного состава. В смесях безлактозного мороженого криоскопическая температура за счет гидролиза лактозы снижается почти на 0,4 °C. Предложена формула расчета криоскопической температуры для практического применения на предприятиях, позволяющая определить этот показатель и на его основе – оптимальную температуру выгрузки мороженого из фризера. ■

Поступила в редакцию: 14.04.2026

Принята в печать: 15.09.2026

ICE-CREAM MIXES WITH MODIFIED CARBOHYDRATE COMPOSITION: EVALUATING CRYOSCOPIC TEMPERATURE

Antonina A. Tvorogova, Igor A. Gursky, Igor A. Korolev, Natalia V. Kazakova

All-Russian Scientific Research Institute of Refrigeration Industry – Branch of V. M. Gorbатов Federal Research Center for Food Systems of RAS, Moscow

ORIGINAL ARTICLE

Low-molecular-weight sugars reduce the freezing point of ice cream, as well as its freezer drawing temperature. This article describes the effect of sucrose on the freezing process parameters of ice-cream mixes. As the trend toward lower sucrose and lactose consumption persists, the aim of this study was to evaluate the freezing point of sucrose-free and low-sucrose ice-cream mixes, as well as that of ice cream with hydrolyzed lactose. Cryoscopic and computational methods were used to determine the freezing point of the ice-cream mixes. A cryoscopic test revealed that the freezing point of ice-cream mixes in which sucrose was replaced by dietary fiber and the sugar alcohols sorbitol and xylitol decreased by 1.1–1.4 °C compared to that of a traditional product. When 10% maltitol partially replaced sucrose, the freezing point increased by 0.6 °C. Replacing sugar with polydextrose and whey protein concentrate containing lactose and mineral salts resulted in a 0.7–1.0 °C decrease. During lactose hydrolysis, this parameter decreased by 0.4 °C. The resulting equation made it possible to calculate the freezing point depression directly at the plant. It took into account the cryoscopic constant, the mass and molecular mass of the solute, and the mass of solvent per 1 kg of the mix. First, the equation calculated the freezing point depression caused by each solute and then determined its total value based on the additivity of this parameter. The cryoscopic temperature of sucrose-free and low-sucrose ice cream correlated with an optimal sweetness and solids content. The calculated and experimental values differed by less than 0.1 °C. The ice-cream mixes with the low-molecular-weight sweetener erythritol and a low sucrose content (5%) had a freezing point that increased by 1.59 °C, while the sucrose-free sample demonstrated a 0.89 °C increase. The freezing-point equation allows producers to conveniently calculate this indicator during the production stage.

Keywords: ice cream, glycemic index, sucrose, sweeteners, hydrolyzed lactose, frozen-out water, freezing temperature

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Domínguez Díaz, L. An international regulatory review of food health-related claims in functional food products labeling / L. Domínguez Díaz, V. Fernández-Ruiz, M. Cámara // *Journal of Functional Foods*. 2020. Vol. 68. Art. no. 103896. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2020.103896>
2. McCain, H. R. Invited review: Sugar reduction in dairy products / H. R. McCain, S. Kaliappan, M. A. Drake // *Journal of Dairy Science*. 2018. Vol. 101(10). P. 8619–8640. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-14347>
3. Caroch, M. Sweeteners as food additives in the XXI century: A review of what is known, and what is to come / M. Caroch, P. Morales, I. C. F. R. Ferreira // *Food and Chemical Toxicology*. 2017. Vol. 107. P. 302–317. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2017.06.046>
4. Harastani, R. Tackling obesity: A knowledge-base to enable industrial food reformulation / R. Harastani [et al.] // *Innovative Food Science & Emerging Technologies*. 2020. Vol. 64. Art. no. 102433. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2020.102433>
5. Mahato, D. K. Sugar reduction in dairy food: An overview with flavoured milk as an example / D. K. Mahato [et al.] // *Foods*. 2020. Vol. 9(10). Art. no. 1400. <https://doi.org/10.3390/foods9101400>
6. Sipple, L. R. Consumer perception of ice cream and frozen desserts in the “better-for-you” category / L. R. Sipple [et al.] // *Journal of Dairy Science*. 2022. Vol. 105(1). P. 154–169. <https://doi.org/10.3168/jds.2021-21029>
7. Ademosun, A. O. Glycemic properties of sourdop-based ice cream enriched with moringa leaf powder / A. O. Ademosun // *Foods and Raw Materials*. 2021. Vol. 9(2). P. 207–214. <https://doi.org/10.21603/2308-4057-2021-2-207-214>
8. Шавра, В. М. Основы холодильной техники и технологии / В. М. Шавра. – М.: Дели принт, 2004. – 272 с.
9. Творогова, А. А. Обоснование состава и показатели качества мороженого со сниженным содержанием сахарозы / А. А. Творогова [и др.] // *Пищевая промышленность*. 2025. № 5. С. 33–37. <https://doi.org/10.52653/PPI.2025.5.5.005>; <https://elibrary.ru/ycssum>
10. Ландиловская, А. В. Влияние заменителей сахарозы на показатели качества мороженого в процессе производства и хранения / А. В. Ландиловская, А. А. Творогова, И. А. Королев // *Пищевые системы*. 2025. Т. 8, № 3. С. 370–377. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2025-8-3-370-377>; <https://elibrary.ru/ltgywl>
11. Творогова, А. А. Мороженое в России и СССР: Теория. Практика. Развитие технологий / А. А. Творогова. – СПб.: ИД «Профессия», 2021. – 249 с.
12. Митчелл, Х. Подсластители и сахарозаменители / Х. Митчелл. – СПб.: Профессия, 2010. – 512 с.
13. Гофф, Г. Д. Мороженое / Г. Д. Гофф, Р. У. Гартел. – СПб.: Профессия, 2016. – 540 с.
14. Крысанова, Ю. И. Влияние гидролиза лактозы на свойства йогурта и простокваши / Ю. И. Крысанова, В. Г. Блядзэ // *Молочная промышленность*. 2023. № 5. С. 42–43. <https://doi.org/10.21603/1019-8946-2023-5-23>; <https://elibrary.ru/ikjmg5>
15. Творогова, А. А. Технологически значимые показатели качества низколактозного мороженого с концентратами молочных и сывороточных белков / А. А. Творогова, И. А. Гурский, Ю. И. Богданова // *Пищевые системы*. 2024. Т. 7, № 2. С. 198–205. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2024-7-2-198-205>; <https://elibrary.ru/hmzeno>
16. Ситникова, П. Б. Перспективы производства взбитых замороженных фруктовых десертов с сахарами природного происхождения / П. Б. Ситникова, А. А. Творогова, В. А. Наумов // *Пищевая промышленность*. 2025. № 5. С. 8–12. <https://doi.org/10.52653/PPI.2025.5.5.001>; <https://elibrary.ru/lisyfxe>
17. Королев, И. А. Совершенствование расчетного метода определения криоскопической температуры смесей для мороженого функциональной направленности / И. А. Королев, А. А. Творогова, П. Б. Ситникова // *Пищевые системы*. 2021. Т. 4, № 3. С. 164–171. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2021-4-3-164-171>; <https://elibrary.ru/jwqkby>
18. Творогова, А. А. Мороженое с заменой сахарозы / А. А. Творогова [и др.] // *Молочная промышленность*. 2021. № 5. С. 46–48. <https://doi.org/10.31515/1019-8946-2021-05-46-48>; <https://elibrary.ru/oncoj>
19. Творогова, А. А. Технологически значимые показатели качества низколактозного мороженого с концентратами молочных и сывороточных белков / А. А. Творогова, И. А. Гурский, Ю. И. Богданова // *Пищевые системы*. 2024. Т. 7, № 2. С. 198–205. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2024-7-2-198-205>; <https://elibrary.ru/hmzeno>

МОЛОЧНАЯ
ПРОМЫШЛЕННОСТЬ

**Подписка
на журнал**

podpiska.kemsu@mail.ru

