

Светлана Николаевна Туровская^{1✉}, Александр Геннадьевич Кручинин²,

Елена Евгеньевна Илларионова³, Екатерина Ивановна Большакова⁴

^{1,2,3,4}Всероссийский НИИ молочной промышленности, Москва, Россия

¹s_turovskaya@vnimi.org

²a_kruchinin@vnimi.org

³e_illarionova@vnimi.org

⁴e_bolshakova@vnimi.org

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ КРИТИЧЕСКИХ ТЕМПЕРАТУР ВНЕШНЕЙ СРЕДЫ НА СГУЩЕННОЕ МОЛОКО С САХАРОМ

Цель исследования – изучение воздействия критических высокоположительных и низкоотрицательных температур внешней среды на термодинамические параметры сгущенного цельного молока с сахаром (СЦМС), упакованного в жестебанки, помещенные в транспортную тару. Задачи: определение значений среднеобъемных температур СЦМС в зависимости от типа теплового воздействия; установление влияния месторасположения продукта в транспортной упаковке на среднюю скорость нагревания/охлаждения пищевой системы; выявление величин критериев кристаллизации влаги. Объект исследования – СЦМС, упакованное в жестебанки, которые были помещены в транспортную упаковку. Измерение среднеобъемной температуры проводили термографическим способом с помощью логгера. Применяли 4 цикла теплового воздействия, °С: [+5↑+50↓+5], [+5↑+50↓–50↑+5], [+5↓–50↑+5], [+5↓–50↑+50↓+5]. Для диапазона 100 °С установлено почти в 2 раза повышение средней скорости (1,6–2,6 °С/ч) при нагревании [–50↑+50] по отношению к средней скорости (0,8–1,3 °С/ч) при охлаждении [+50↓–50], что обусловлено состоянием каждого компонента сгущенной молочно-сахарной системы в конкретной температурной точке. При [+5↑+50↓+5] или [+5↓–50↑+5] для центральных банок среднего ряда продолжительность воздействия была меньше (58 ч 28 мин 48 с и 115 ч 19 мин 12 с), чем для банок из верхнего ряда (78 ч 25 мин 00 с и 124 ч 06 мин 24 с). При [+5↑+50↓–50↑+5] наибольшая продолжительность процесса наблюдалась в потребительской упаковке среднего ряда. Для этой же жестебанки выявлена наименьшая продолжительность при воздействии температур в противоположном порядке. В цикле нагревание-замораживание отмечено понижение температуры зародышеобразования и фазового перехода для центрального и периферийного положений в потребительской упаковке и понижение указанных термодинамических характеристик в потребительской упаковке внутри групповой для верхнего ряда, но повышение – для среднего. В цикле замораживание-нагревание в потребительской упаковке внутри групповой наблюдалась классическая модель замораживания с понижением температуры зародышеобразования и фазового перехода.

Ключевые слова: сгущенное молоко с сахаром, критические температурные воздействия, среднеобъемные температуры, фазовые переходы

Для цитирования: Исследование воздействия критических температур внешней среды на сгущенное молоко с сахаром / С.Н. Туровская [и др.] // Вестник КрасГАУ. 2024. № 1. С. 189–200.

Svetlana Nikolaevna Turovskaya^{1✉}, Alexander Gennadievich Kruchinin²,
Elena Evgenievna Illarionova³, Ekaterina Ivanovna Bolshakova⁴

^{1,2,3,4}All-Russian Research Institute of the Dairy Industry, Moscow, Russia

¹s_turovskaya@vnimi.org

²a_kruchinin@vnimi.org

³e_illarionova@vnimi.org

⁴e_bolshakova@vnimi.org

STUDY OF THE CRITICAL AMBIENT TEMPERATURES IMPACT ON SWEETENED CONDENSED MILK

The purpose of research is to study the impact of critical high-positive and low-negative environmental temperatures on the thermodynamic parameters of sweetened condensed milk (SCM), packaged in cans placed in transport containers. Objectives: determination of the values of average volumetric temperatures of SCM depending on the type of thermal effect; establishing the influence of the location of the product in the transport package on the average heating/cooling rate of the food system; identification of moisture crystallization criteria values. The object of the study is SCM, packed in tin cans, which were placed in transport packaging. The average volume temperature was measured thermographically using a logger. 4 cycles of thermal exposure were used, °C: [+5↑+50↓+5], [+5↑+50↓-50↑+5], [+5↓-50↑+5], [+5↓-50↑+50↓+5]. For the range of 100 °C, an almost 2-fold increase in the average speed (1.6–2.6 °C/h) was established when heating [-50↑+50] relative to the average speed (0.8–1.3 °C/h) during cooling [+50↓-50], which is determined by the state of each component of the condensed milk-sugar system at a specific temperature point. At [+5↑+50↓+5] or [+5↓-50↑+5] for the central cans of the middle row, the duration of exposure was shorter (58 h 28 min 48 s and 115 h 19 min 12 s) than for the cans from the top row (78 hours 25 minutes 00 seconds and 124 hours 06 minutes 24 seconds). At [+5↑+50↓-50↑+5], the longest process duration was observed in the middle row consumer packaging. For the same tin, the shortest duration was revealed when exposed to temperatures in the opposite order. In the heating-freezing cycle, a decrease in the temperature of nucleation and phase transition was noted for the central and peripheral positions in consumer packaging and a decrease in the indicated thermodynamic characteristics in consumer packaging within the group for the top row, but an increase – for the middle. In the freeze-heat cycle in consumer packaging within a group package, a classical model of freezing was observed with a decrease in the temperature of nucleation and phase transition.

Keywords: sweetened condensed milk, critical temperature effects, average volume temperatures, phase transitions

For citation: Study of the critical ambient temperatures impact on sweetened condensed milk / S.N. Turovskaya [et al.] // Bulliten KrasSAU. 2024;(1): 189–200. (In Russ.).

Введение. Сгущенное молоко с сахаром (СМС) относится к группе высококалорийных молочных продуктов, пользуется несомненным спросом у населения и востребовано в качестве сырьевого компонента в различных отраслях пищевой промышленности за счет удобства и многофункциональности использования при переработке и возможности его длительного хранения [1, 2]. В 2022 г. в России изготовлено 677 млн условных банок (100,3 % по отношению к 2021 г.) сгущенных консервов, производство которых стабильно налажено или освоено предприятиями, расположенными во всех федераль-

ных округах нашей страны, однако основной объем выпуска сосредоточен в Центральном (более 60 %) и Сибирском (более 20 %) федеральных округах [3]. Также следует отметить, что СМС, упакованное в металлические банки, входит в номенклатуру продовольственной продукции, предназначенной для создания государственного резерва, обеспечивающего отечественную экономическую безопасность [1, 2].

Качество СМС зависит не только от строгого соблюдения требований к используемому сырью и параметрам технологических этапов производства, но и температурных режимов его

транспортирования и хранения. Несоблюдение перечисленных условий может стать причиной возникновения пороков различной природы происхождения и интенсивности, а также появления брака [4, 5].

Российская Федерация является крупнейшим в мире трансконтинентальным, межконтинентальным и многососедским государством. Ввиду особенностей его экономико-географического положения и современной трансформации геополитического состояния металлические банки со СМС при транспортировании как внутри страны, так и при кардинально измененной в настоящее время логистике экспортных поставок могут пересекать несколько климатических зон, в т. ч. тропическую и полярную, имеющих между собой значительные температурные градиенты, значения которых в определенные сезоны года могут существенно выходить за рамки требований действующей нормативно-технической документации в части условий транспортирования и хранения указанной консервированной продукции. Это может привести к деградации качества, вследствие чего будет нанесен ущерб экономическому состоянию и деловой репутации производителя [6–9].

Действующей типовой технологической инструкцией по производству СМС в соответствии с ГОСТ 31688-2012 рекомендован широкий диапазон сроков годности и условий хранения продукта [5, 10]. Однако в документе не приведено специальных требований или рекомендаций при его транспортировании в регионы, где температуры внешней среды могут достигать критически отрицательных или положительных значений (–50 или 50 °С соответственно). При этом следует отметить, что, например, при внутрироссийских железнодорожных перевозках отменены предельные сроки доставки грузов, не учитываются периоды года и климатические зоны. Все негативные последствия по транспортированию учитываются грузоотправителем и согласовываются грузополучателем в договоре между ними. Несмотря на наличие широкого спектра рефрижераторного или иного специализированного транспорта, для многих отечественных производителей использование таких средств доставки является существенной статьей затрат, в результате чего они отказываются от реализации продукта в регионы с

очень жарким или холодным климатом либо используют традиционные виды транспорта без наличия изотермических конструкций [7, 8].

В этой связи СМС из-за температурных перепадов между ним и внешней средой с критическими температурами может быть подвержено изменению качественных характеристик. Более того, в зависимости от характера и интенсивности теплового потока и местоположения продукта каждая «точка» пищевой системы в индивидуальной упаковке будет обладать определенными термодинамическими значениями, которые в свою очередь будут определять состояние системы в целом. Изучение параметров термодинамических процессов имеет важное значение для понимания изменений биомолекулярных и биотехнологических свойств СМС, особенно в аспекте его способности к последующему длительному хранению.

Анализ специализированной научно-технической литературы выявил незначительное количество систематизированных исследований консервированной молочной продукции при хранении в условиях критически низких или высоких температур [11].

В монографии [5] авторами приведена информация, что уже через один месяц хранения при 35–37 °С сгущенное цельное молоко с сахаром (СЦМС) не соответствует стандарту, поскольку приобретает вкус и запах карамели за счет интенсивного протекания реакции Майяра, титруемая кислотность повышается вследствие смещения кислотно-основного баланса в кислую область из-за частичного экранирования аминогрупп аминокислот.

В работе [12] представлены результаты изучения влияния положительных температур (25, 35 и 45 °С) на качество СЦМС в процессе хранения. В образцах после трех месяцев выдержки при 45 °С выявлены существенные изменения вкуса и цвета, повышение титруемой кислотности с 39,0 до 50,5 °Т, значительное повышение вязкости, определить которую стандартизованным методом даже не представилось возможным. Также установлено незначительное увеличение доли ненасыщенных жирных кислот, в частности олеиновой кислоты (на 28 %), уменьшение индекса насыщенности жирных кислот с 1,96 до 1,79–1,82, что может

свидетельствовать о наличии процессов окисления и прогоркания.

Для предотвращения негативного воздействия повышенных температур (выше 25 °С) при транспортировании и хранении СЦМС учеными [4] предложены некоторые рекомендации (использовать сахар-песок с содержанием редуцирующих веществ не более 0,04 %, готовить сахарный сироп не более 65 %-й концентрацией и незамедлительно добавлять его в сгущенную смесь, применять аскорбиновую кислоту и пр.), которые позволят снизить долю инвертного сахара до 0,6 % и остановить потемнение продукта.

Автором [13] проведены исследования качественных показателей СЦМС в течение трех лет хранения при отрицательных температурных режимах: (-10 ± 2) и (-25 ± 2) °С. Установлено падение интенсивности протекания окислительных и гидролитических процессов в 3 раза, результатом чего явилось сохранение (более чем в 1,3 раза) биологической ценности белка. По окончании хранения существенных различий в образцах не выявлено. Органолептические показатели соответствовали стандарту. Максимальные значения основных физико-химических показателей не превышали установленных норм: титруемая кислотность составляла 40,5 °Т, динамическая вязкость – 13,7 Па·с, средний размер кристаллов лактозы – 7,4 мкм. Шестикратное замораживание до (-25 ± 2) °С и нагревание до (10 ± 2) °С также не имело отрицательного воздействия на показатели продукта (37,0 °Т, 3,9 Па·с, 9,1 мкм соответственно). Автором определена криоскопическая температура свежеработанного СЦМС: -26 – -29 °С (в зависимости от состава продукта).

Исследователями [11, 14] приведены результаты анализа моделирования ситуации воздействия колебаний отрицательных температур (с замораживанием до -95 °С) на состояние СЦМС и его растворов-аналогов различной концентрации (сахарных, сахарно-молочных, молочных). Установлена потеря текучести СЦМС при температуре хранения -30 °С в течение 2 ч и при температуре -35 °С – через 54 мин. Для более глубокого изучения фазовых переходов авторами применен метод дифференциальной сканирующей калориметрии. Подобраны три температурные программы (стандартная, модифицированная и циклическая), различающие-

ся циклами нагревания/охлаждения при различных скоростях и величинах. Продукт температурой 20 °С после критического замораживания до -95 °С, дальнейшего нагревания до -35 °С, последующего охлаждения до -75 °С, а затем нагревания до 30 °С (циклическое температурное воздействие) имел следующие значения показателей: криоскопическая температура составила $(-32,2 \pm 0,2)$ °С; температура стеклования – минус 47,3 °С; энтальпия плавления – 20,5 Дж/г. При этом 6,1 % массовой доли влаги перешло в замороженное состояние.

В работе [15] представлены результаты длительного хранения большого ассортимента продовольственных товаров, в т. ч. СЦМС, в условиях вечной мерзлоты, где температура промерзания грунта опускается до -30 °С. Образцы СЦМС были заложены в два этапа. После 6- и 30-летнего хранения при нерегулируемых температурных условиях в СЦМС обнаружены незначительные изменения органолептических и физико-химических показателей (повышение титруемой кислотности до 48 °Т, что не превышает нормы). На показатели безопасности экстремальное хранение не повлияло.

Таким образом, важность исследований изменений качества СЦМС под действием различных условий хранения не вызывает сомнений, несмотря на их фрагментарность. В связи с этим получение новых знаний о влиянии критических температур внешней среды на состояние СЦМС является актуальным.

Цель исследования – изучение воздействия критических температур внешней среды в диапазоне от -50 до 50 °С на термодинамические параметры СЦМС, упакованного в металлические банки для консервов, помещенные в транспортную тару.

Задачи: определение значений среднеобъемных температур СЦМС в зависимости от типа теплового воздействия; установление влияния месторасположения продукта в транспортной упаковке на среднюю скорость нагревания/охлаждения пищевой системы; выявление величин критериев кристаллизации влаги.

Объекты и методы. Объектом исследования являлось промышленно выработанное СЦМС по ГОСТ 31688-2012, упакованное в металлические банки для консервов № 7, которые в свою очередь были помещены в транспортную упаковку

(картонную коробку) в три ряда (верхний, средний, нижний) по 15 шт. Картонную коробку с банками закрепляли на специально спроектированной подвеске климатической камеры СМ-70/150-250ТВХ. Измерение среднеобъемной температуры в банках проводили термографическим способом с помощью зондов четырехканального логгера данных температуры Testo 176 T4, установленных в центрально (Ц) и периферийно (П) расположенных банках верхнего или среднего ряда в центральной (Центр) и периферийной (Периферия) точках внутри этих банок, т. е. в четырех позициях. Начальная среднеобъемная температура образцов составляла $(5,0 \pm 0,1)$ °С. Для исследований изменений среднеобъемных температур использовали следующие четыре цикла теплового воздействия в следующих последовательностях:

- цикл $[+5\uparrow+50\downarrow+5]$ – нагревание от 5 до 50 °С, затем охлаждение до 5 °С;
- цикл $[+5\uparrow+50\downarrow-50\uparrow+5]$ – нагревание от 5 до 50 °С, затем охлаждение до -50 °С, нагревание до 5 °С;
- цикл $[+5\downarrow-50\uparrow+5]$ – охлаждение от 5 до -50 °С, затем нагревание до 5 °С;
- цикл $[+5\downarrow-50\uparrow+50\downarrow+5]$ – охлаждение от 5 до -50 °С, затем нагревание до 50 °С, охлаждение до 5 °С.

Для расчетов были взяты только отрезки времени, в которых происходило изменение температуры. Продолжительность достижения образцами стабилизации температуры не учитывалась.

Результаты и их обсуждение. Анализ результатов исследований среднеобъемных температур СЦМС в транспортной упаковке выявил различные тенденции изменения средней скорости протекания процессов нагревания/охлаждения и нагревания/охлаждения/нагревания образцов как в центральных и периферийных точках потребительской упаковки, так и банках верхнего и среднего рядов (рис. 1). При нагревании от 5 до 50 °С, от -50 до 5 °С и охлаждении от 50 до 5 °С, т. е. при перепадах температур в 45–55 °С, независимо от расположения банок внутри транспортной упаковки, не наблюдалось значительных расхождений в средней скорости нагревания или охлаждения (не более 0,1 °С/ч) между центральной и периферийной точками банок. При этом средняя скорость повышения или понижения температуры периферийных банок во всех рядах была выше на 0,4–0,6 °С/ч по отношению к расположенным в центре.

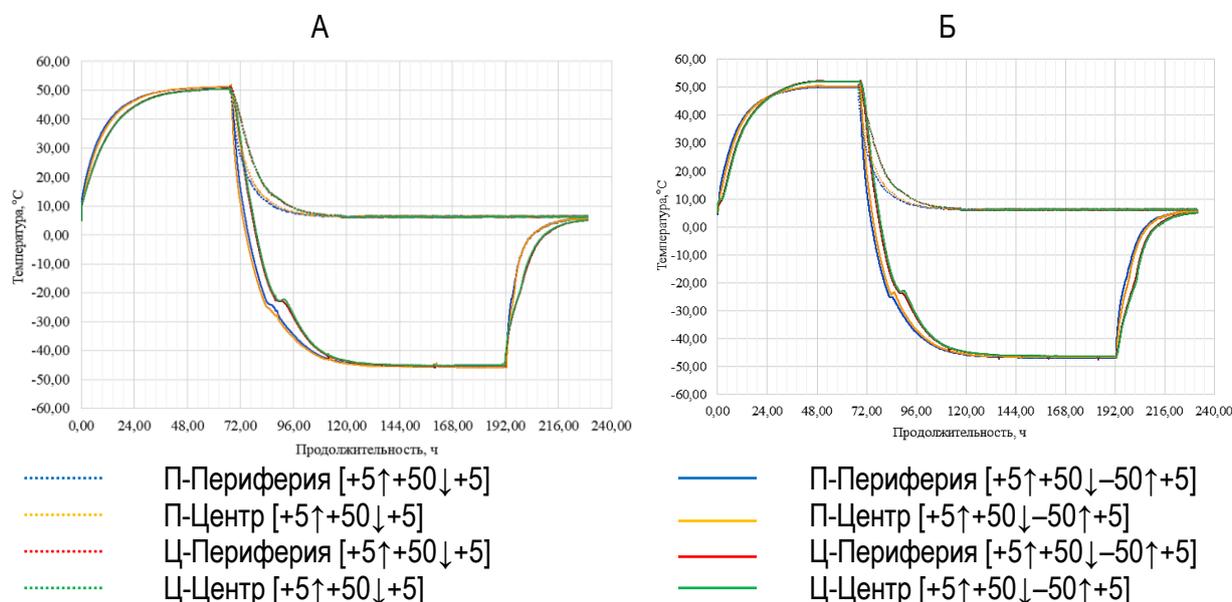


Рис. 1. Кинетика изменения среднеобъемных температур СЦМС в групповой упаковке при начальных положительных критических температурах внешней среды:
А – для верхнего ряда банок; Б – для среднего ряда банок

Например, при нагревании от -50 до 5 °С для верхнего ряда средняя скорость нагревания периферийной банки составляла 2,0 и 1,9 °С/ч на периферии и в центре банки (соответственно), а центральной банки – только 1,5 °С/ч в обеих точках. Для среднего ряда средняя скорость нагревания периферийной банки как в ее центре, так и на периферии была немного ниже (1,8 °С/ч), центральной банки – 1,4 °С/ч. Значения средней скорости нагревания или охлаждения банок одинакового местоположения в верхнем и среднем рядах не превышали 0,2 °С/ч. Следует отметить, что для всех банок нагревание из зоны отрицательной температуры от -50 до 5 °С происходило быстрее, чем нагревание при первоначально положительном значении температуры внешней среды от 5 до 50 °С, даже несмотря на разницу диапазонов в 10 °С. Средняя скорость нагревания банок была выше в 1,8–1,9 раза. Так, для режима от -50 до 5 °С средняя скорость нагревания потребительской

упаковки верхнего ряда на периферии в центре банки составляла 1,9 °С/ч, а для режима от 5 до 50 °С – только 1,0 °С/ч. Для среднего ряда – 1,8 и 1,0 °С/ч соответственно.

Перепад температур в 100 °С при охлаждении от критических положительных (50 °С) до критических отрицательных (-50 °С) температур увеличил разницу между средними скоростями в центральной и периферийной точках потребительской упаковки до 0,3–0,4 °С/ч. При этом минимальная средняя скорость 0,8 °С/ч была определена в банке в положении Ц-Центр среднего ряда, что связано с самой длительной продолжительностью охлаждения (113 ч 45 мин) в диапазоне начальных положительных температур внешней среды от 5 до 50 °С в цикле [+5↑+50↓–50↑+5].

На рисунке 2 представлены термограммы измерения среднеобъемных температур образцов, для которых начальным экспериментальным этапом было охлаждение их от 5 °С до -50 °С.

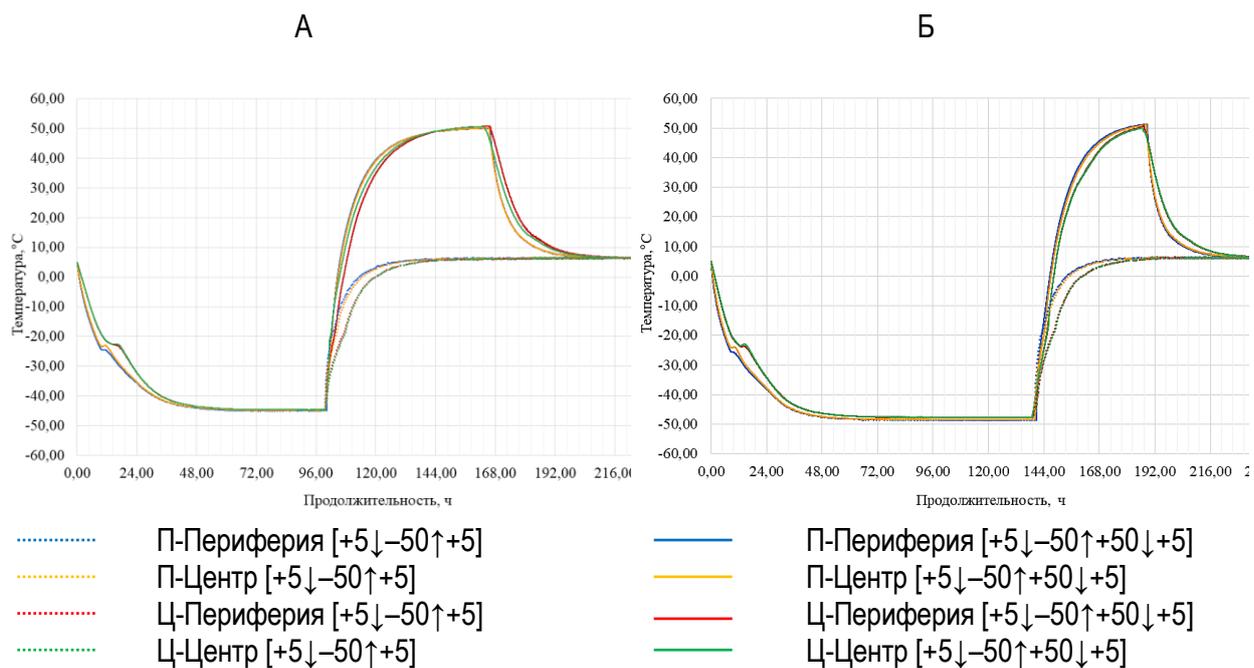


Рис. 2. Кинетика изменения среднеобъемных температур СЦМС в групповой упаковке при начальных отрицательных критических температурах внешней среды: А – для верхнего ряда банок; Б – для среднего ряда банок

Для всех изменений температур от 5 до -50 °С, от -50 до 50 °С и от 50 °С до 5 °С, т. е. интервалов в 55; 100; 45 °С соответственно, расхождение значений средних скоростей в периферийной и центральной точках банок, располо-

женных на периферии или в центре верхнего или среднего ряда, не превышало 0,1 °С/ч. Разница в средней скорости изменения температуры в периферийных и центральных банках обоих рядов имела широкий диапазон: при ох-

лаждении от 5 до $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ – $0,1-0,2\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{ч}$, при охлаждении от 50 до $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ – $0,6-0,9\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{ч}$. Для всех банок охлаждение из зоны критической положительной температуры от 50 до $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ происходило в разы быстрее (2,7–3,5), чем от 5 до $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$, хотя разница диапазонов уменьшилась только на $10\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Перепад температур в $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ при нагревании от -50 до $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ был быстрее преодолён в банках, расположенных в среднем ряду, при этом средняя скорость изменения температуры на периферии составляла $2,5-2,6\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{ч}$, в центре – $2,1-2,5\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{ч}$. Для верхнего ряда этот параметр имел значения $1,6$ (периферия) и $1,8\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{ч}$ (центр). Самая длительная продолжительность нагревания (59 ч 54 мин 00 с) наблюдалась в точке П-Периферия при скорости $1,6\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{ч}$.

При оценке воздействия циклов при начальных стадиях нагревания или охлаждения установлены различия в продолжительности и скорости изменения температур в зависимости от месторасположения банок (см. рис. 1, 2). В таблице 1 представлены суммарные продолжительности всех этапов температурных воздействий на потребительскую упаковку в точке Ц-Центр. При этом следует отметить, что температура в каждом положении при охлаждении до критических температур могла достигать близкого значения к $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$, отличаясь от него на $3-4\text{ }^{\circ}\text{C}$. Достижение заданной температуры вызывало значительный прирост в значении продолжительности, несмотря на то, что разница между температурой внутри банки и окружающей средой камеры отличались незначительно.

Таблица 1

Продолжительность температурного воздействия в точке Ц-Центр

Ряд	Продолжительность температурного воздействия в циклах (часы : минуты : секунды)			
	[+5↑+50↓+5]	[+5↑+50↓-50↑+5]	[+5↓-50↑+5]	[+5↓-50↑+50↓+5]
Верхний	78 : 25 : 00	168 : 01 : 48	124 : 06 : 24	161 : 26 : 12
Средний	58 : 28 : 48	183 : 46 : 12	115 : 19 : 12	136 : 57 : 00

Данные, представленные в таблице 1, свидетельствуют о зависимости продолжительности циклов теплового воздействия от физического состояния СЦМС в целом, которое является сложной пищевой системой, а также от теплофизических характеристик, в частности от теплопроводности, отдельных его составных частей (жира, белка, углеводов, влаги, макро- и микроэлементов). Например, теплопроводность жира составляет $0,165-0,185\text{ Вт}/\text{м}\cdot\text{К}$; лактозы – $0,931$; сахарозы – $0,580$; воды – $0,395-0,523$; льда – $2,250-2,384\text{ Вт}/\text{м}\cdot\text{К}$, значения которых, кроме льда, с повышением температуры увеличиваются. Для СЦМС этот показатель равен $0,230-0,310\text{ Вт}/\text{м}\cdot\text{К}$ [2, 16].

При нагревании или охлаждении до критических температур (50 или $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ соответственно) и возвращении температуры до первоначального значения $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ для центральных банок среднего ряда продолжительность воздействия была меньше, чем для соответствующей банки из верхнего ряда. При многоэтапном влиянии температур [+5↑+50↓-50↑+5] наиболь-

шая продолжительность наблюдалась в потребительской упаковке среднего ряда. Также в этой же банке выявлена наименьшая продолжительность при воздействии температур в противоположном порядке [+5↓-50↑+50↓+5]. Одним из доказательств влияния состояния составных частей СЦМС, в т. ч. влаги, содержание которой в продукте составляет $26,5\%$, на продолжительность процесса является сравнение продукта с водой. Известен парадокс Мпембы, заключающийся в более быстром замерзании горячей воды, чем холодной. Единой версии объяснения этого эффекта не существует [17]. Применительно к СЦМС наблюдалась аналогичная зависимость. Продукт с более высокой начальной температурой $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ по сравнению с продуктом с исходной температурой $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ обладал более высокой средней скоростью достижения замороженного состояния во всех исследуемых точках.

Сравнение средних скоростей нагревания или охлаждения центральных и периферийных точек банок (независимо от их расположения в

транспортной упаковке) не выявило существенных расхождений (не более 0,1 °С/ч), что обусловлено незначительным расстоянием для теплопередачи между этими точками (радиус банки 38 мм) по отношению к габаритам транспортной упаковки и климатической камеры. При исследовании отдельных банок в аналогичных условиях авторами данной статьи были получены большие различия в средних скоростях, достигавшие разницы в 2–3 °С/ч.

При равных диапазонах начальная критическая температура в циклах нагревания от –50 до 50 °С и охлаждения от 50 до –50 °С играла значимую роль. Установлена тенденция увеличения средней скорости нагревания (1,6–2,6 °С/ч) почти в 2 раза по отношению к средней скорости охлаждения (0,8–1,3 °С/ч), что обусловлено состоянием (кристаллическим или растворенным) каждого компонента сгущенной молочнокислотной системы в конкретной температурной точке.

На рисунках 1 и 2 в процессе охлаждения в зоне отрицательных температур отмечены ярко выраженные этапы замораживания продукта, включающие: стадию предварительного замо-

раживания (достижение температуры зародышеобразования льда и криоскопической температуры); стадию замораживания (массовое фазовое превращение воды в лед – фазовый переход); стадию дальнейшего снижения температуры до требуемой конечной, что согласуется с данными [14]. Результаты исследований критериев кристаллизации влаги представлены в таблице 2.

В центре потребительской упаковки по отношению к ее периферийной точке (для центральной консервной банки в транспортной упаковке верхнего и среднего ряда) все значения термодинамических показателей были выше или практически равны вне зависимости от последовательности теплового воздействия, что объясняется достижением критического значения концентрации вымороженной влаги и инициации фазового перехода одновременно при более низких температурах для периферии (например, –23,7 °С для средних рядов в циклах [+5↑+50↓–50↑+5] и [+5↓–50↑+50↓+5]) и при более высоких – для центра (–22,8–22,9 °С). Данный эффект связан с охлаждением СЦМС от периферии к центру потребительской упаковки.

Таблица 2

Критерии кристаллизации влаги в СЦМС

Номер рисунка	Модель теплового воздействия	Температура зародышеобразования кристаллов льда, °С	Температура фазового перехода воды в лед, °С	Степень переохлаждения, °С	Продолжительность фазового перехода, ч : мин : с
1	2	3	4	5	6
1, А	П-Периферия [+5↑+50↓–50↑+5]	–26,3	–26,2	0,1	0:23:24
	П-Центр [+5↑+50↓–50↑+5]	–28,1	–27,5	0,6	0:10:48
	Ц-Периферия [+5↑+50↓–50↑+5]	–22,8	–22,3	0,5	0:39:00
	Ц-Центр [+5↑+50↓–50↑+5]	–22,8	–22,2	0,6	1:12:00

1	2	3	4	5	6
1, Б	П-Периферия [+5↑+50↓-50↑+5]	-25,2	-25,0	0,2	0:23:24
	П-Центр [+5↑+50↓-50↑+5]	-24,1	-23,4	0,7	0:57:36
	Ц-Периферия [+5↑+50↓-50↑+5]	-23,8	-23,7	0,1	0:30:00
	Ц-Центр [+5↑+50↓-50↑+5]	-23,3	-22,8	0,5	1:01:48
2, А	П-Периферия [+5↓- 50↑+50↓+5]	-24,5	-24,4	0,1	0:48:00
	П-Центр [+5↓-50↑+50↓+5]	-23,4	-23,1	0,3	1:14:30
	Ц-Периферия [+5↓- 50↑+50↓+5]	-22,9	-22,8	0,1	0:33:00
	Ц-Центр [+5↓-50↑+50↓+5]	-22,6	-22,5	0,1	1:33:00
2, Б	П-Периферия [+5↓- 50↑+50↓+5]	-25,7	-25,6	0,1	0:25:48
	П-Центр [+5↓-50↑+50↓+5]	-24,2	-23,9	0,3	0:55:12
	Ц-Периферия [+5↓- 50↑+50↓+5]	-23,9	-23,7	0,2	1:16:12
	Ц-Центр [+5↓-50↑+50↓+5]	-23,5	-22,9	0,6	1:27:00

Анализ влияния периферийного положения потребительской упаковки в групповой позволил выявить, что в цикле [+5↑+50↓-50↑+5] для продукта аналогичная закономерность сохранялась для среднего ряда. Для продукта, расположенного в верхнем ряду от периферии к центру, было выявлено понижение значений температуры зародышеобразования и фазового перехода, что характерно для классической модели замораживания, при одновременном повышении показателей степени переохлаждения. Это явно свидетельствует о различии характеров процесса теплопередачи для среднего и верхнего ряда. В связи с этим является закономерным, что ряд, занимаемый продуктом в потребительской упаковке внутри групповой упаковки, влияет на термодинамические характеристики системы продукта по-разному. Так, в цикле [+5↑+50↓-50↑+5] для продукта в периферийных и центральных точках потребительской упаковки в периферийном положении в среднем ряду внутри групповой упаковки наблюдались более высокие температуры зародышеобразования

(-24,1 и -25,2 °С) и фазового перехода (-23,4 и -25,0 °С) по сравнению с верхним рядом, где температура зародышеобразования составляла -28,1 и -26,3 °С, а температура фазового перехода была -27,5 и -26,2 °С соответственно. Однако обратная закономерность наблюдалась для продукта в потребительской упаковке в центральном положении внутри групповой упаковки: в среднем ряду температуры зародышеобразования были -23,3 и -23,8 °С, а фазового перехода была -22,8 и -23,7 °С, которые снижались по сравнению с верхним рядом (температура зародышеобразования была -22,8 °С и фазового перехода была -22,2 и -22,3 °С). Приведенная разнонаправленность, вероятно, связана с неконтролируемым процессом кристаллизации, особенностями состояния системы в каждой точке групповой упаковки.

В свою очередь, в цикле [+5↓-50↑+50↓+5] в продукте не происходило перехода кристаллов углеводов в растворимую форму и их повторной неконтролируемой кристаллизации, вследствие чего наблюдалась классическая модель замо-

раживания, в которой процесс идет от периферии к центру, т. е. от верхнего ряда к среднему с понижением температуры зародышеобразования и фазового перехода. Классическая модель замораживания [18] предусматривает сначала замораживание слоя, находящегося на границе раздела фаз с теплообменной стенкой, которое вызывает увеличение концентрации в данном объеме системы (периферии в описываемом исследовании) по сравнению с соседним подобным объемом (центром в описываемом исследовании). В свою очередь, повышенная концентрация в объеме, близком к теплообменной стенке (периферии в описываемом исследовании), способна инициировать диффузионное перемещение растворенного вещества от границы раздела внутрь объема продукта, что вызовет неоднородность термодинамических характеристик по всему объему. Данное явление также наблюдалось в сравнении периферийного и центрального положения в результатах проведенных исследований.

Кроме этого, следует отметить, что даже при возможном исключении диффузионных перемещений внутри системы СЦМС по причине первоначально высокой концентрации системы в сравнении, например, с другими менее концентрированными молочными продуктами (кисломолочные продукты, молочная сыворотка и др.) по принципу локального равновесия «два разных объема» в системе СЦМС будут все равно иметь разные параметры равновесного состояния, к которому они стремятся при осуществлении процесса теплопередачи.

Заключение. Под воздействием критических температур внешней среды выявлены различные тенденции изменений среднеобъемных температур и термодинамических показателей СЦМС в зависимости от местоположения потребительской упаковки в транспортной таре, а также в центральных и периферийных точках потребительской упаковки.

Проанализирована роль начального этапа (зон положительных или отрицательных критических температур) при исследовании продукта в диапазоне 100 °С (от –50 до 50 °С). Установлена тенденция увеличения средней скорости нагревания (1,6–2,6 °С/ч) почти в 2 раза по отношению к средней скорости охлаждения (0,8–1,3 °С/ч), что обусловлено состоянием (кри-

сталлическим или растворенным) каждого компонента сгущенной молочно-сахарной системы в конкретной температурной точке.

При нагревании или охлаждении до критических температур (50 или –50 °С соответственно) и возвращении температуры до первоначального значения 5 °С для центральных банок среднего ряда продолжительность воздействия была меньше, чем для соответствующей банки из верхнего ряда. При многоэтапном влиянии температур [+5↑+50↓–50↑+5] наибольшая продолжительность процесса наблюдалась в потребительской упаковке среднего ряда. Для этой же упаковки выявлена наименьшая продолжительность (136 ч 57 мин 00 с) при воздействии температур цикла [+5↑–50↓+50↑+5].

В потребительской упаковке внутри групповой тары наблюдалось изменение характера замораживания в зависимости от последовательности циклов теплового воздействия. В цикле нагревание-замораживание [+5↑+50↓–50↑+5] по сравнению с обратным циклом [+5↓–50↑+50↓+5] отмечено понижение температуры зародышеобразования льда и фазового перехода для центрального и периферийного положений в потребительской упаковке и понижение указанных термодинамических характеристик в потребительской упаковке внутри групповой для верхнего ряда, но повышение – для среднего. В цикле замораживание-нагревание [+5↓–50↑+50↓+5] в продукте в потребительской упаковке внутри групповой наблюдалась классическая модель замораживания, в которой изменения параметров состояния системы происходили от верхнего ряда к среднему с понижением температуры зародышеобразования и фазового перехода.

Список источников

1. Исследование влияния белкового профиля на кристаллообразование в модельных молочных системах с промежуточной влажностью / С.Н. Туровская [и др.] // Вестник КрасГАУ. 2022. № 12 (189). С. 237–247. DOI: 0.36718/1819-4036-2022-12-237-247.
2. Теория и практика молочноконсервного производства / А.Г. Галстян [и др.]. М., 2016. 181 с.

3. *Горощенко Л.Г.* Динамика производства сгущенного молока в 2022 г. // Молочная промышленность. 2023. № 4. С. 17.
4. *Петров А.Н., Радаева И.А., Шелелева Е.В.* Методология формирования органолептических свойств консервов на молочной основе: монография. Кемерово, 2013. 232 с.
5. *Голубева Л.В., Чекулаева Л.В., Полянский К.К.* Хранимоспособность молочных консервов. Воронеж, 1999. 136 с.
6. Логистика изначально была болевой точкой [Электронный ресурс]. URL: <https://dairy-news.today/news/logistika-iznachalno-byala-bolevoy-tochkoy-kak-otra.html> (дата обращения: 18.08.2023).
7. Температурные колебания системы «продукт – охлаждающая среда» на завершающем этапе холодной цепи / *А.А. Грызунов* [и др.] // Молочная промышленность. 2023. № 4. С. 55–57. DOI: 10.31515/1019-8946-2023-04-55-57.
8. *Misiou O., Koutsoumanis K.* Climate change and its implications for food safety and spoilage // *Trends in Food Science & Technology*. 2021. Vol. 126. P. 142–152. DOI: 10.1016/j.tifs.2021.03.031.
9. Modern approaches to storage and effective processing of agricultural products for obtaining high quality food products / *A.G. Galstyan* [et al.] // *Herald of the Russian Academy of Sciences*. 2019. Vol. 89, Iss. 2. P. 211–213. DOI: 10.1134/S1019331619020059.
10. *Рябова А.Е., Петров А.Н., Пряничникова Н.С.* Актуализация сроков годности и условий хранения молочных консервов: изменения в действующие инструкции // *Переработка молока*. 2023. № 8. С. 25. DOI: 10.33465/2222-5455-2023-8-25.
11. *Рябова А.Е.* Исследование теплофизических свойств сгущенного молока с сахаром // *Пищевая промышленность*. 2023. № 2. С. 52–55. DOI: 10.52653/PPI.2023.2.2.012.
12. *Гурьева К.Б., Иванова Е.В., Тюгай О.А.* Изучение влияния температурных параметров на качество молочных консервов «Молоко цельное сгущенное с сахаром» // *Товаровед продовольственных товаров*. 2019. № 7. С. 55–61.
13. *Павлова Ю.В.* Длительное хранение сгущенного молока с сахаром при отрицательных температурах: автореф. дис. ... канд. техн. наук. М., 1991. 21 с.
14. *Ryabova A.E., Tolmachev V.A., Galstyan A.G.* Phase transitions of sweetened condensed milk in extended storage temperature ranges // *Food Processing: Techniques and Technology*. 2022. Vol. 52, Iss. 3. P. 526–535. DOI: 10.21603/2074-9414-2022-3-2379.
15. *Уланин С.Е., Белецкий С.Л.* Длительное хранение продовольственных товаров в условиях вечной мерзлоты // *Пищевая промышленность*. 2018. № 4. С. 47–51.
16. *Чубик И.А., Маслов А.М.* Справочник по теплофизическим характеристикам пищевых продуктов и полуфабрикатов. М.: *Пищевая промышленность*, 1970. 184 с.
17. *Поливанов А.А., Колесниченко В.С.* Некоторые парадоксы физики // *Научное образование. Педагогические науки*. 2019. № 4-3. С. 72–75.
18. *Горбатова К.К.* Химия и физика белков молока. М.: *Колос*, 1993. 192 с.

References

1. Issledovanie vliyaniya belkovogo profilya na kristalloobrazovanie v model'nyh molochnyh sistemah s promezhutochnoj vlazhnost'yu / *S.N. Turovskaya* [i dr.] // *Vestnik KrasGAU*. 2022. № 12 (189). S. 237–247. DOI: 0.36718/1819-4036-2022-12-237-247.
2. *Teoriya i praktika molochnokonservnogo proizvodstva / A.G. Galstyan* [i dr.]. M., 2016. 181 s.
3. *Goroschenko L.G.* Dinamika proizvodstva sgsushennogo moloka v 2022 g. // *Molochnaya promyshlennost'*. 2023. № 4. S. 17.
4. *Petrov A.N., Radaeva I.A., Shepeleva E.V.* Metodologiya formirovaniya organolepticheskikh svoystv konservov na molochnoj osnove: monografiya. Kemerovo, 2013. 232 s.
5. *Golubeva L.V., Chekulaeva L.V., Polyanskij K.K.* Hranimosposobnost' molochnyh konservov. Voronezh, 1999. 136 s.
6. Логистика изначально была болевой точкой [Электронный ресурс]. URL: <https://dairy-news.today/news/logistika-iznachalno-byala-bolevoy-tochkoy-kak-otra.html> (дата обращения: 18.08.2023).
7. Температурные колебания системы «продукт – охлаждающая среда» на завершающ...

- schem `etape holodnoj cepi / A.A. Gryzunov [i dr.] // *Molochnaya promyshlennost'*. 2023. № 4. S. 55–57. DOI: 10.31515/1019-8946-2023-04-55-57.
8. *Misiou O., Koutsoumanis K.* Climate change and its implications for food safety and spoilage // *Trends in Food Science & Technology*. 2021. Vol. 126. P. 142–152. DOI: 10.1016/j.tifs.2021.03.031.
 9. Modern approaches to storage and effective processing of agricultural products for obtaining high quality food products / A.G. Galstyan [et al.] // *Herald of the Russian Academy of Sciences*. 2019. Vol. 89, Iss. 2. P. 211–213. DOI: 10.1134/S1019331619020059.
 10. *Ryabova A.E., Petrov A.N., Pryanichnikova N.S.* Aktualizaciya srokov godnosti i uslovij hraneniya molochnyh konservov: izmeneniya v dejstvuyuschie instrukcii // *Pererabotka molo ka*. 2023. № 8. S. 25. DOI: 10.33465/2222-5455-2023-8-25.
 11. *Ryabova A.E.* Issledovanie teplofizicheskikh svojstv sghuschenogo molo ka s saharom // *Pischevaya promyshlennost'*. 2023. № 2. S. 52–55. DOI: 10.52653/PPI.2023.2.2.012.
 12. *Gur'eva K.B., Ivanova E.V., Tyugaj O.A.* Izuchenie vliyaniya temperaturnyj parametrov na kachestvo molochnyh konservov «Moloko cel'noe sghuschennoe s saharom» // *Tovaroved prodovol'stvennyh tovarov*. 2019. № 7. S. 55–61.
 13. *Pavlova Yu.V.* Dlitel'noe hranenie sghuschenogo molo ka s saharom pri otricatel'nyh temperaturah: avtoref. dis. ... kand. tehn. nauk. M., 1991. 21 s.
 14. *Ryabova A.E., Tolmachev V.A., Galstyan A.G.* Phase transitions of sweetened condensed milk in extended storage temperature ranges // *Food Processing: Techniques and Technology*. 2022. Vol. 52, Iss. 3. P. 526–535. DOI: 10.21603/2074-9414-2022-3-2379.
 15. *Ulanin S.E., Beleckij S.L.* Dlitel'noe hranenie prodovol'stvennyh tovarov v usloviyah vechnoj merzloty // *Pischevaya promyshlennost'*. 2018. № 4. S. 47–51.
 16. *Chubik I.A., Maslov A.M.* Spravochnik po teplofizicheskim harakteristikam pischevyh produktov i polufabrikatov. M.: *Pischevaya promyshlennost'*, 1970. 184 s.
 17. *Polivanov A.A., Kolesnichenko V.S.* Nekotorye paradoksy fiziki // *Nauchnoe obrazovanie. Pedagogicheskie nauki*. 2019. № 4-3. S. 72–75.
 18. *Gorbatova K.K.* Himiya i fizika belkov molo ka. M.: *Kolos*, 1993. 192 s.

Статья принята к публикации 19.10.2023 / The article accepted for publication 19.10.2023.

Информация об авторах:

Светлана Николаевна Туровская¹, старший научный сотрудник лаборатории молочных консервов
Александр Геннадьевич Кручинин², заведующий лабораторией молочных консервов, кандидат технических наук

Елена Евгеньевна Илларионова³, научный сотрудник лабораторией молочных консервов

Екатерина Ивановна Большакова⁴, младший научный сотрудник лаборатории молочных консервов

Information about the authors:

Svetlana Nikolaevna Turovskaya¹, Senior Researcher at the Laboratory of Canned Milk

Alexander Gennadievich Kruchinin², Head of the Laboratory of Canned Milk, Candidate of Technical Sciences

Elena Evgenievna Illarionova³, Researcher at the Laboratory of Canned Milk

Ekaterina Ivanovna Bolshakova⁴, Junior Researcher, Laboratory of Canned Milk

