такого количества теплоты, которое бы обеспечивало работу элемента в зоне стабильной производительности.

На основании рекомендаций изготовителей ТЭМ и по результатам анализа экспериментальных данных, можно сделать вывод об актуальности оптимизации системы контроля и управления выходных параметров ТЭМ в холодильной технике. Отсутствие контроля параметров ТЭМ и, как следствие, отсутствие своевременного изменения режима работы охлаждающего элемента приводит к деградации полупроводниковых элементов, к повышению потребления электрического тока при сильном снижении разницы температур на сторонах, и, в дальнейшем, к выходу элемента из строя.

Решение вопроса оптимизации позволит разработать современные термоэлектрические методы охлаждения, стабилизации температуры и прямого преобразования тепловой энергии в электрическую для самых актуальных потребностей рынка высоких технологий [3]. Исходя из рекомендаций изготовителей ТЭМ и по результатам анализа данных о работе охлаждающих элементов, можно предложить варианты для оптимизации процесса теплопереноса:

1. Контроль соответствия температурных характеристик ТЭМ электрической нагрузке;
2. Выведение режима работы элемента в определённую зону характеристик для максимальной производительности;
3. Контроль параметров и коррекция режима электропитания для физической смены режима работы (инверсии) охлаждающего элемента.

1. Ландау, Л.Д. Теоретическая физика [Текст]. В 10 т. Т. 6. Гидродинамика / Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц. – Москва : Наука, 1986. – 736 с.
2. Шостаковский, П.Г. Современные решения термоэлектрического охлаждения для радиоэлектронной, медицинской, промышленной и бытовой техники [Текст] / П.Г. Шостаковский // Компоненты и технологии. – 2009. – № 12 (101). – С. 120-126.
3. Шостаковский, П.Г. Инновационная деятельность компании «Крио-терм» в области разработки и производства термоэлектрических приборов и устройств [Текст] / П.Г. Шостаковский // Инновации. – 2014. – № 2 (184). – С. 137-141.
4. Nikonova, A.S., Ivaney, A.A. Design of the experimental climate chamber of an innovative type. *Materialy mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii "Nauchnye issledovaniya stran ShOS: sinergija i integracija" - Doklady na anglijskom jazyke [Materials of the International Conference "Scientific research of the SCO countries: synergy and integration" - Reports in English]. Beijing, PRC, 2019, pp. 202-206. ISBN 978-5-905695-96-6.*
5. Nikonova, A., Ivaney, A., Okuneva, L. Improvement of Structural and Technological Parameters of the Innovative Type Climate Chamber. In: *International applied research conference «Biological Resources Development and Environmental Management», KnE Life Sciences, 2020. pp. 731--741. DOI 10.18502/kl.v5i1.6159.*

Корниенко В.Н.¹, Донецких А.Г.¹, Николаев Н.С.², Пляшешник П.И.²

Определение продолжительности процесса закаливания мороженого «моджи»

¹*Всероссийский научно-исследовательский институт холодильной промышленности – филиал ФГБНУ «Федеральный научный центр пищевых систем им. В.М. Горбатова» РАН*

²*Московский государственный университет пищевых производств
(Россия, Москва)*

doi: 10.18411/sr-10-02-2021-31

idsp: sciencerrussia-10-02-2021-31

Аннотация

Процесс закалки мороженого «моджи», в отличие от фризирования смеси, требует дополнительного изучения для совершенствования технологических режимов

данного этапа холодильной обработки. Приведены экспериментальные данные, показывающие влияние температуры охлаждающей среды на скорость процесса закали, а также показана возможность моделирования этого процесса при условии рассмотрения мороженого как двухслойного продукта.

Ключевые слова: продолжительность процесса закаливания, мороженое, температура и скорость охлаждающего воздуха

Abstract

The process of solidification of ice cream "moji", in contrast to the freezing of the mixture, requires additional research to improve the technological modes of this stage of refrigeration processing. Experimental data showing the influence of the temperature of the cooling medium on the speed of the solidification process are presented, and the possibility of modeling this process is shown, provided that ice cream is considered as a two-layer product.

Key words: duration of the hardening process, ice cream, temperature and speed of the cooling air.

Производство различных видов мороженого является одним из важных направлений развития отечественной пищевой промышленности [1]. Главной отличительной особенностью мороженого являются его определенные потребительские свойства: высокое качество, вкус, структура, питательные вещества, а также высокая популярность у всех слоев населения, способствующая постоянному расширению ассортимента мороженого [2, 3].

Мороженое «моджи» – древняя японская сладость, представляющее собой мороженое, окутанное тонким слоем теста, изготавливаемого по специальной технологии из риса сорта «мотигоме». Отличительная особенность данного продукта – его особый вкус, который невозможно забыть и невозможно повторить, но очень важно сохранить с помощью технологий охлаждения и замораживания [4, 5].

Основным регламентирующим документом технологии производства мороженого «моджи» являлся действующий стандарт на мороженое [6]. Технологический процесс его получения заключается в двухэтапной холодильной обработке: фризирование смеси мороженого, последующая закладка и хранение готового продукта [7].

Главной задачей первого этапа является формирование специфической структуры исходной смеси на основе молочных жиров, различных ингредиентов и фруктовых наполнителей за счет насыщения и равномерного распределения воздуха по объему смеси в процессе частичной кристаллизации влаги. Благодаря процессу фризирования мороженое «моджи» приобретает пористую структуру, специфическую хрупкость и нежность. После второго этапа холодильной обработки (закали) формируются особые вкусовые и органолептические свойства мороженого «моджи», которые закрепляются при дальнейшем хранении.

Технологические параметры процесса фризирования являются стандартными для производства известных видов мороженого, а вот процесс закали мороженого «моджи», в силу специфики небольших размеров мелкоштучного продукта, его формы (овальная, слегка приплюснутая с одной стороны) и состава (наличие тонкой рисовой оболочки), требует изучения для совершенствования технологических режимов данного этапа холодильной обработки.

Целью исследования являлось определение времени закали мороженого «моджи» при различных температурных и скоростных режимах охлаждающего воздуха в холодильной камере для обеспечения необходимой скорости процесса закали и получения требуемых органолептических характеристик.

Экспериментальные исследования процесса закали мороженого «моджи» проводились в производственной холодильной камере периодического действия,

которая была оборудована стеллажами для укладки лотков с мелкоштучным продуктом (рисунок 1а) и автономной холодильной системой воздушного охлаждения (рисунок 1б).

Рисунок 1 – Принципиальная схема технологического оборудования для осуществления процесса заделки мороженого «моджи»:

а) – холодильная камера; б) – система охлаждения.

Перед началом процесса заделки мороженое «моджи» имело следующие основные характеристики для единичного продукта: процент рисового теста – не более 35%; ориентировочные размеры 40x40x20 (± 2 мм); масса – 30 граммов; количество сухого вещества – 40%; жирность – 20%.

После процессов фризирования и формовки температура в центре продукта составляла минус $4 \pm 0,5$ °С. Температурные режимы последующего процесса заделки (температура воздуха в камере) – минус (20, 24, 27, 30) °С. Температура мороженого «моджи» (единичный продукт, расположенный на лотке) измерялась в центре слоя мороженого. Конечной температурой заделки продукта считалась температура в его геометрическом центре $t_{\text{ц}} = t_{\text{хл}} + 6 \pm 1$ °С, где $t_{\text{хл}}$ – температура охлаждающей среды (воздуха) в камере. Для измерений использовали: термошуп электронный LuazON LTR-05 (температура продукта); цифровой термометр ВС-T5 (температура воздуха внутри и снаружи камеры); анемометр крыльчатый АСО-3 (скорость движения воздушного потока).

Результаты исследований.

Полученные в производственных условиях экспериментальные данные и представлены в виде графиков на рисунке 2 а.

Рисунок 2 – Зависимости продолжительности заделки мороженого «моджи» от: а) – температуры воздуха в камере при $\alpha = 9 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$: 1 – $t_{\text{кл}} = \text{минус } 20^\circ\text{C}$; 2 – $t_{\text{кл}} = \text{минус } 24^\circ\text{C}$; 3 – $t_{\text{кл}} = \text{минус } 27^\circ\text{C}$; 4 – $t_{\text{кл}} = \text{минус } 30^\circ\text{C}$.
б) температуры воздуха в камере и интенсивности теплообмена: 1 – $\alpha = 9 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$; 2 – $\alpha = 18 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$; 3 – $\alpha = 36 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$.

Сопоставительный анализ термограмм показывает, что темп понижения температуры продукта при температуре в камере минус 30°C значительно выше, чем при режиме минус 20°C при прочих равных условиях закаливания.

Анализ интенсивности протекания процесса заделки мороженого «моджи» и дальнейшее сравнение органолептических показателей рисовой оболочки при различных температурах воздуха в камере (с понижением температуры в камере и увеличением скорости протекания процесса заделки рисовая оболочка приобретала более однородную структуру без ощутимых частиц сахара, становилась более упругой и пластичной) позволяет сделать следующие выводы. Понижение рабочей температуры процесса заделки положительно сказывается на качестве продукта – чем выше скорость заделки, тем лучше качество продукта, а направление изменения скорости теплообмена совпадает с направлением изменения свойств продукта. Однако при скорости охлаждающего воздуха выше $3 \pm 0,5 \text{ м/с}$ фиксировалось недопустимое «сдувание» части мелкоштучного продукта с лотков.

С целью возможности дальнейшего совершенствования технологии производства мороженого «моджи» нами выполнено математическое моделирование процесса заделки с учетом его физических особенностей.

При нахождении продолжительности процесса замораживания пищевых продуктов чаще всего пользуются классическим уравнением, полученным Р. Планком. Дальнейшее развитие и практическое применение инженерных методов расчета шло по пути уточнения и дополнения формулы Планка при условии сохранения основных закономерностей, определяющих кинетику процесса замораживания пищевых продуктов [8].

Так как единичный продукт «моджи» представляет собой тело, состоящее из наружного слоя теста определенной толщины снаружи и слоя мороженого внутри, для расчета «планковского времени» замораживания используем следующее соотношение, полученное для двухслойного тела:

$$\tau_0 = \Phi \frac{R_2 \cdot \gamma_2 \cdot q \cdot w_2}{t_{\text{кр}2} - t_{\text{кл}}} \cdot \left\{ \left(\frac{1}{\alpha} + \left(\frac{\Phi \cdot R_2}{\lambda_2 \cdot (2\Phi - 1)} \right) \cdot \left(1 - \left(\frac{R_2}{R_1} \right)^{\frac{1}{\Phi}} \right) \right) - \frac{R_2^2 - R_1^2}{2 \cdot (2\Phi - 1) \cdot \lambda_2 \cdot R_2} \right\} + \Phi \frac{R_1 \cdot \gamma_1 \cdot q \cdot w_1}{t_{\text{кр}1} - t_{\text{кл}}} \cdot \left\{ \frac{R_1}{2\lambda_1} + \frac{R_1^{\frac{1}{\Phi} - 1}}{\alpha \cdot R_2^{\frac{1}{\Phi} - 1}} + \frac{\Phi \cdot R_1^{\frac{1}{\Phi} - 1} \cdot \left(R_2^{2 - \frac{1}{\Phi}} - R_1^{2 - \frac{1}{\Phi}} \right)}{2 \cdot (2\Phi - 1) \cdot \lambda_2} \right\}, \text{ с} \quad (1)$$

где Φ , – коэффициент формы продукта;

λ_3, γ_3 – соответственно коэффициент теплопроводности, Вт/(м·К) и плотность, кг/м³, замораживаемого продукта;

w – влажность продукта, кг влаги/кг;

$q = 3,3 \cdot 10^5$ – удельная теплота кристаллизации воды, Дж/кг;

$t_{кр}, t_{хл}$ – соответственно криоскопическая температура продукта и средняя температура охлаждающей среды, К;

R – характерный размер продукта, м;

α – коэффициент теплоотдачи от продукта к охлаждающей среде, Вт/(м² К);

R_1, R_2 , – соответственно характерный размер слоя мороженого и теста, м;

$k = \frac{1}{\Phi} - 1$ – безразмерный коэффициент.

При вычислении общего времени замораживания были сделаны следующие поправки: на ненулевую теплоемкость замороженной части продукта и на изменение теплопроводности замороженной части при закалке.

Графическая интерпретация результатов расчетов по предложенной модели процесса замораживания мороженого «моджи» приведена на рисунке 2 (б). Представленные зависимости позволяют оценить влияние основных теплофизических параметров термодинамической системы на скорость процесса закали данного продукта и показывают, что зависимость изменения времени замораживания от температуры охлаждающей среды носит характер, близкий к экспоненте, которая асимптотически выравнивается с увеличением температуры, при этом влияние температуры уменьшается с увеличением коэффициента теплоотдачи.

Отсюда можно сделать вывод, что использование температур охлаждающей среды ниже минус 40 ± 5 °С в рассматриваемом случае нецелесообразно как с точки зрения увеличения скорости процесса замораживания, так и капитальных и эксплуатационных затрат [9, 10]. Также нецелесообразно и повышение скорости воздуха выше 3 м/с, что, к тому же, может привести к сдуванию штучных продуктов малого веса с поддонов.

Наличие экспериментальных и расчетных кривых позволило провести проверку адекватности аналитической модели на основе уравнения Планка. Адекватность модели опытным данным лежит в пределах 15%, что позволяет использовать эту модель для инженерных расчетов.

Результаты и выводы. Экспериментальные и аналитические исследования процесса закали мороженого «моджи» позволили:

- установить принципиальную возможность использования способа воздушного охлаждения для процесса закали, как наиболее доступного с технико-экономической точки зрения;
- получить экспериментальные и расчетные термограммы в температурном диапазоне охлаждающей среды в камере от минус 20 °С до минус 30 °С и изучить кинетику процесса замораживания в зависимости от интенсивности теплообменных процессов;
- определить целесообразность интенсификации процесса закали в определенном температурном диапазоне.

Рекомендованы следующие режимы холодильной обработки мороженого «моджи»: температура в камере не выше, чем минус 27°С и скорость воздушного потока в камере не выше 3 м/с, что соответствует получению требуемых потребительских свойств мороженого «моджи».

Показана возможность использования математической модели на базе уравнения Планка с учетом ряда поправок и допущений для прогнозирования процесса закладки мороженого «моджи».

1. Энциклопедия «Пищевые технологии». Том 16. «Технологии холодильной обработки и хранения пищевой продукции». Углич: ООО «ИД «Углич» – 2019. – кн. 2. С. – 294 с. ISBN: 978-5-903933-75-4.
2. Маршалл, Р.Т. Мороженое и замороженные десерты. / Р.Т. Маршалл, Г.Д. Гофф, Р.У. Гартел – перевод с англ. яз. под редакцией В.И. Василевского. – СПб.: «Профессия», 2005. – 273 с.
3. Гофф, Г.Д. Мороженое/ Г. Д. Гофф, Р.У. Гартел. – 2-е изд., перераб. и доп. – Пер. с англ. 7-го изд. – СПб.: – Профессия, 2016. – 540 с.
4. Электронный ресурс. - Режим доступа: [<https://www.mochi-icecream.ru/yaponskoe-morozhenoe-v-risovom-teste-recept/>].
5. Электронный ресурс. - Режим доступа: [<https://www.mochi-icecream.ru/morozhenoe-mochi-ice/>].
6. ГОСТ31457—2012. Мороженое молочное, сливочное и пломбир. Технические условия.
7. Cook, K.L.K. Mechanisms of ice formation in ice cream production/ K.L.K. Cook, R.W. Hartel// Compr. Rev. Food Sci. – 2010. – 9(2). – р. 213–222.
8. Бараненко, А.В. Примеры и задачи по холодильной технологии пищевых продуктов. Теплофизические основы: Учебное пособие/ А.В. Бараненко, В.Е. Куцакова, Е.И. Борзенко, С.В. Фролов. – СПб.: ГИОРД, 2008. – 272 с.
9. Николаев Н.С., Рыжов С.А., Корниенко В.Н. Комплексная обработка животного сырья как перспектива создания энерго и ресурсосберегающих технологий // Мясная индустрия. – 2019. – № 6. – С. 34–37.
10. Николаев Н.С. Определение режимов замораживания пищевых продуктов. / Н.С. Николаев, В.Н. Корниенко, П.И. Плещешник, А.Г. Донецких // Вестник ВГУИТ. – № 2. – 2020. – С.17–24.