

О ПРИМЕНЕНИИ БИНАРНОГО ЛЬДА В КАЧЕСТВЕ ОХЛАЖДАЮЩЕЙ СРЕДЫ ПРИ ИММЕРСИОННОМ ОХЛАЖДЕНИИ ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТОВ

Агафонкина И.В., Борщев Г.В., Борзов С.С.

Всероссийский научно-исследовательский институт
холодильной промышленности – филиал ФГБНУ «Федеральный научный центр
пищевых систем им. В.М. Горбатова» РАН, Российская Федерация, Москва

Аннотация. Существуют различные способы интенсификации процесса охлаждения пищевой продукции. Одним из способов является иммерсионное охлаждение, которое обеспечивает высокую интенсивность теплообмена между продуктом и жидкой охлаждающей средой. Применение бинарного льда в качестве охлаждающей среды обеспечивает поддержание точных параметров охлаждения за счет скрытой теплоты плавления льда. Проведена серия экспериментальных исследований по охлаждению имитационной модели пищевой продукции в среде бинарного льда, которые показали значительное сокращение продолжительности охлаждения при перемещении образца со скоростью 0,2 м/с по сравнению с охлаждением без перемещения образца.

Ключевые слова: Бинарный лед, иммерсионное охлаждение, пищевые продукты.

APPLICATION OF BINARY ICE AS A COOLING MEDIUM FOR IMMERSION COOLING OF FOOD PRODUCTS

Agafonkina I.V., Borshchev G.V., Borzov S.S.

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

Abstract. There are various ways to intensify the process of cooling food products. One of the methods is immersion cooling, which provides a high intensity of heat exchange between the product and the liquid cooling medium. The use of binary ice as a cooling medium ensures the maintenance of precision cooling parameters due to latent heat of ice fusion. A series of experimental studies on the cooling of a simulation model of food products in a binary ice environment were carried out, which showed a significant reduction in the cooling time when the sample was moved at a speed of 0.2 m / s compared to cooling without moving the sample.

Keywords. Binary ice, immersion cooling, food products.

В связи с развитием и последними тенденциями в пищевой промышленности одной из актуальных проблем является сохранение вкусовых качеств, полезных свойств, а также увеличение сроков годности пищевой продукции. Важнейшей задачей холодильной отрасли является нахождение новых подходов к совер-

шенствованию процесса охлаждения с целью сохранения высокого качества пищевой продукции.

Одним из способов интенсификации процесса охлаждения в пищевой промышленности является иммерсионное охлаждение. В качестве хладоносителя (охлаждающей среды) возможно применение, как однофазных, так и двухфазных растворов.

Иммерсионное охлаждение получило широкое распространение в рыбной промышленности для быстрого охлаждения рыбы и морепродуктов на рыболовных судах, не травмируя продукт и сохраняя хороший товарный вид. В качестве охлаждающей среды используется льдо-водо-солевая смесь, получаемая из забортной морской воды.

Также иммерсионное охлаждение применяется в мясной промышленности при охлаждении тушек цыплят-бройлеров и кур в шнековых ваннах в среде однофазного хладоносителя – ледяной воде [1].

Применение иммерсионного способа охлаждения в других областях пищевой промышленности было ограничено в связи с проблемой попадания хладоносителя в пищевой продукт. С появлением герметичных, термо- и влагостойких упаковочных материалов появилась возможность применения иммерсионного охлаждения к широкому спектру пищевых продуктов.

Вещества, выбранные в качестве охлаждающей среды, должны отвечать высоким требованиям по безопасности и быть разрешенными для непосредственного контакта с пищевым продуктом.

Самым безопасным и дешевым хладоносителем является питьевая вода, но диапазон ее применения ограничен интервалом температур выше 0°C. Для охлаждения мясных продуктов до близкриоскопических температур необходимо обеспечить температуру охлаждающей среды ниже 0 °С.

При необходимости использования данного хладоносителя при температурах ниже точки кристаллизации применяются растворы воды с различными веществами, понижающими криоскопическую температуру раствора.

По данным обзорной статьи М. Kauffeld and ed. [2] тремя, наиболее часто используемыми веществами, добавляемыми в чистую воду для понижения криоскопической температуры являются: раствор хлорида натрия, этанол и пропиленгликоль. При этом физико-химические свойства растворов при разных температурах будут отличаться, что наглядно представлено в научно-методических рекомендациях, разработанных во ВНИХИ [3].

Перспективным направлением в совершенствовании процесса иммерсионного охлаждения является применение двухфазных хладоносителей, так же известных как водолеяные суспензии, бинарный лед. Особенностью данного хладоносителя является возможность использования скрытой теплоты фазового перехода лёд-вода, что позволяет поддерживать постоянную температуру охлаждающей среды, что особенно важно при прецизионном охлаждении.

В диссертационной работе Артемова Р.В. [4] обосновано применение льдо-водо-солевой системы (суспензия с содержанием льда от 10 до 50 % и размерами кристаллов льда не более 0,1 мм) на рыболовных судах. Основным недостатком применения солевого раствора является высокая коррозионная активность соли.

В диссертационной работе Соколова В.Н. [5] в качестве среды для контактного замораживания плодов и овощей были рассмотрены двухфазные хладоносители на основе водных растворов солей органических кислот (цитрата и ацетата натрия), этилового спирта, сахарозы и хлорида натрия в различных соотношениях. Установлено, что замораживание овощей в ледяной суспензии с концентрацией льда 20 % приводит к снижению продолжительности этого процесса в 2 раза по сравнению с обработкой в однофазном хладоносителе, и в 5 раз по сравнению с замораживанием в воздушной среде.

В монографии Венгер К.П. и Выгодина В.А. [6] приведен сравнительный анализ замораживания птицы в воздушной среде и в среде водного раствора хлористого кальция.

Вещества, присутствующие в работах разных исследователей в качестве охлаждающей среды – хлористый кальций, хлористый натрий, цитрат натрия, ацетат натрия, этиловый спирт, сахароза, этанол, пропиленгликоль.

Согласно Техническому регламенту Таможенного союза ТР ТС 029/2012 «Требования безопасности пищевых добавок, ароматизаторов и технологических вспомогательных средств» глицерин и пропиленгликоль являются разрешенными пищевыми добавками:

- глицерин – E422 агент влагоудерживающий, загуститель;
- пропиленгликоль – E1520 агент влагоудерживающий.

Экспериментальные исследования. В лаборатории промышленных холодильных установок ВНИХИ разработан экспериментальный стенд для проведения исследований иммерсионного охлаждения пищевых продуктов. Схема стенда представлена на рисунке 1. Проведены первые экспериментальные исследования по охлаждению герметично упакованной имитационной модели пищевого продукта.

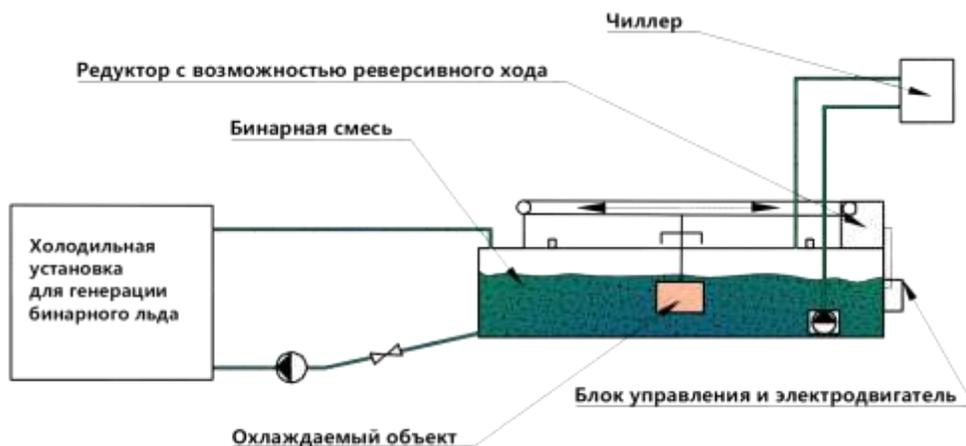


Рисунок 1. Схема стенда иммерсионного охлаждения

При проведении экспериментальных исследований в качестве охлаждающей среды применялся бинарный лед на основе 18 %-го раствора пропиленгликоля.

В качестве объекта охлаждения использовалась герметично упакованная имитационная модель пищевой продукции цилиндрической формы ($d=115$ мм, $h=90$ мм) на основе агар-агара массой 1 кг и влагосодержанием 90%. Опытные образцы изготавливались в лабораторных условиях, что обеспечивало воспроизводимость опытных образцов с идентичными теплофизическими свойствами и сопоставимость серий проведенных экспериментальных исследований.

Перед проведением экспериментальных исследований образцы имитационной модели нагревались до начальной температуры 40 °С и процесс охлаждения считался завершенным при температуре 0 °С в центре образца.

Процесс охлаждения имитационной модели проводился в среде бинарного льда с концентрацией льда 27 ± 3 %, при выключенном холодильном оборудовании, при начальной температуре бинарного льда минус 5 °С.

На рисунке 2 представлены зависимости изменения температуры имитационной модели в центре и на поверхности модели в процессе охлаждения в среде бинарного льда:

- при перемещении имитационной модели со скоростью $0,2$ м/с;
- без перемещения имитационной модели.

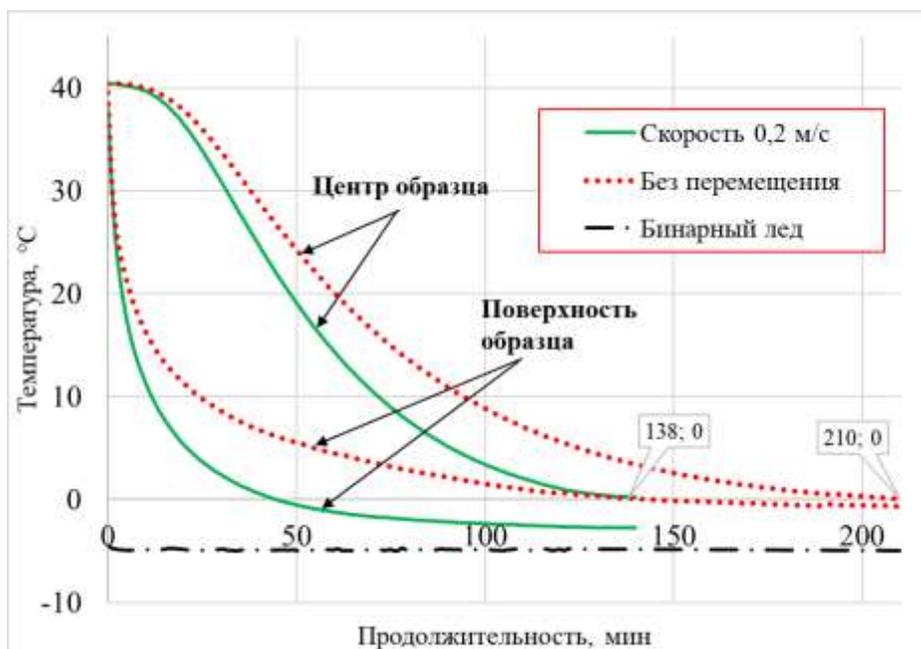


Рисунок 2. Изменение температуры имитационной модели в процессе охлаждения в среде бинарного льда

Выводы:

1. По результатам серии экспериментальных исследований выявлено сокращение на 35 % продолжительности охлаждения имитационной модели при её пе-

ремещении в среде бинарного льда со скоростью 0,2 м/с по сравнению с охлаждением имитационной модели без перемещения.

2. Необходимы дальнейшие исследования с целью выявления области рационального применения бинарного льда, как охлаждающей среды при иммерсионном охлаждении пищевых продуктов, и определение режимных параметров охлаждения.

Литература

1. Гущин В.В., Маковеев И.И., Красюков Ю.Н. Зависимость массовой доли влаги, выделившейся при размораживании мяса цыплят-бройлеров и кур, от способа охлаждения тушек // Птица и птицепродукты. 2017. №. 1. С. 21-25.
2. Kauffeld M., Wang M.J., Goldstein V., and. Kasza K.E. Ice slurry applications / Int J Refrig. 2010 December 1; 33(8): 1491–1505. doi:10.1016/j.ijrefrig.2010.07.018.
3. Белозеров Г.А. и др. Научно-методические рекомендации по применению хладоносителей на предприятиях АПК. М: Россельхозакадемия. 2007.
4. Артемов Р.В. Обоснование и разработка технологии охлаждения рыбы в льдо-водо-солевой системе: автореф. дисс. ... канд. техн. наук. М: ФГУП «ВНИРО». 2011.
5. Соколов В.Н. Технологическое обоснование применения двухфазных хладоносителей для замораживания плодов и овощей: автореф. дисс. ... канд. техн. наук. С.-П.: Санкт-Петербургский государственный университет низкотемпературных и пищевых технологий. 2004.
6. Венгер К.П., Выгодин В.А. Машинная и безмашинная системы хладоснабжения для быстрого замораживания пищевых продуктов. М: Издательство «Узорочье», 1999.