

НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ЗАМОРАЖИВАНИЯ МОЛОЧНЫХ ПРОДУКТОВ

Рассмотрены основные закономерности и обоснованы рациональные режимы организации процесса замораживания молочных продуктов комбинированным способом с целью их консервирования и получения продукта с длительными сроками годности. Применение быстрого замораживания на базе криогенного и воздушного способов холодильной обработки в условиях многозонного скороморозильного аппарата позволяет сократить потери от усушки, увеличить скорость процесса, используя экологически безопасный хладагент (азот) при рациональных технологических режимах.

Комбинированный способ, молочные продукты, замораживание, энергоэффективность, скороморозильный аппарат, азот, температура, зона, продолжительность.

Введение

Развитие холодильной отрасли определяет обеспечение населения продовольствием, решение целого ряда перспективных задач промышленного производства, энергетики, транспорта, фундаментальных и прикладных исследований и многое другое. Техника и технология низких температур в XXI веке проникли во все сферы человека, без которых невозможно дальнейшее развитие цивилизации. О масштабах применения говорит тот факт, что доля потребления электроэнергии холодильным оборудованием в общем энергобалансе развитых стран оценивается в 15–20 %.

По прогнозам специалистов, сделанным до кризиса, российский рынок промышленного холода в 2009–2010 гг. должен расти примерно на 15 % ежегодно в связи с дальнейшим развитием пищевой промышленности, являющейся крупнейшим потребителем холода: на нее приходится 40 % холодильных мощностей. По данным 2007 г. количество продовольствия, обрабатываемого холодом, составило около 47 млн т, и оно ежегодно растет.

В стране продолжается строительство новых перерабатывающих предприятий, а также существует необходимость реконструкции холодильных систем действующих предприятий, износ которых достигает 80 %. Рост мощностей связан также с тем, что в структуре продуктов питания увеличивается доля охлажденных и замороженных продуктов. Расширение рынка таких продуктов оценивается на перспективу в 25–30 % в год. Производство быстрозамороженных продуктов – это первый шаг к рациональной организации питания, к его оздоровлению, к переводу общественного питания на индустриальную основу.

Начало промышленного производства быстрозамороженных продуктов в настоящее время сдерживается из-за отсутствия современной, малоэнергоёмкой, экологически безопасной технологии.

На сегодняшний день выделяются два основных взаимосвязанных приоритета в развитии техники низких температур: повышение ее энергетической эффективности и экологической безопасности.

Высокая энергоэффективность холодильных систем может быть обеспечена применением целого ряда экономичных подходов, в том числе оптимальным регулированием работы систем холодоснабжения, комплексным применением холодильной техники и низкопотенциальной энергетики.

Одно из направлений повышения экологической безопасности – переход на природные хладагенты. В России доля холодильных установок, работающих на синтетических хладагентах, составляет 90 %, на природных – около 10 %, что не соответствует мировым тенденциям в сохранении экологии планеты.

Исследовательские работы направлены на повышение эффективности, практическую реализацию разработок. Новая холодильная техника должна отвечать важнейшим принципам мирового уровня: быть высокофункциональной, конкурентоспособной и оставаться прежде всего ресурсосберегающей (снижение потерь энергии, материалов, сырья).

Совершенствование холодильной техники и технологии производства быстрозамороженной продукции предполагает переход с камерного на аппаратное замораживание с помощью скороморозильной техники. Использование азотных скороморозильных аппаратов дает возможность создавать непрерывные поточные технологические линии, сократить потери продукта от усушки, снизить температуру холодильной обработки, значительно сократить продолжительность процесса, использовать экологически безопасный хладагент.

На сегодняшний день наибольшее применение имеют воздушные скороморозильные аппараты, в которых существует возможность замораживать продукты любой формы, размеров, в упаковке и без упаковки. Причем для организации быстрого замораживания с оптимальными условиями интерес вызывает программное замораживание. Создание новых аппаратов на базе газообразного и жидкого азота определяет криогенный метод замораживания.

В связи с вышесказанным можно считать, что на сегодняшний день является актуальным создание новой технологии замораживания на базе комбинированной азотной и воздушной системы холодильной обработки продукта с различными температурными зонами.

На современном этапе развития молочной промышленности переработка молочного сырья на продукты длительного хранения рассматривается как важнейшее направление рационального использования сырья и эффективной работы предприятия. Большинство производителей отрасли ориентированы на выпуск конкурентоспособной продукции с увеличенными сроками годности.

В основном пищевые продукты относятся к разряду скоропортящихся, и решение вопроса по сохранению их качества для потребителей представляется важной задачей пищевой технологии. Перед производителями стоит важная задача – работать равномерно в течение всего года и поставлять на рынок молока круглогодично стойкую в хранении продукцию.

Производство быстрозамороженных продуктов является высокорентабельной отраслью во многих странах мира. Перспективно проводить замораживание широкого ассортимента скоропортящихся продуктов питания. Расширение производства быстрозамороженных продуктов позволит сократить потери сельскохозяйственного сырья, увеличить объемы продовольственных ресурсов, создать долгосрочные запасы и преобразовать систему поставок пищевых продуктов на рынок в течение года, снижая сезонность в производстве и потреблении отдельных видов продуктов [1].

В настоящее время на российском рынке в большей мере реализуются отечественные замороженные полуфабрикаты и готовые блюда из сырья животного происхождения, чем замороженная растительная продукция, которая в основном представлена импортными производителями: Польши, Венгрии, Бельгии, Голландии, Франции [1, 2]. Перед отечественной промышленностью встает задача производства высококачественной замороженной продукции в широком ассортименте, включая функциональные продукты.

Главным преимуществом холодильной обработки является минимальная усушка продукта, сохранение высокого качества и биологически активных веществ, привлекательный внешний вид, скорость получения окончательного продукта, удобство фасовки [5, 6].

На долю замороженных продуктов в структуре продовольственного рынка России приходится 16–17 % (в США тот же сегмент занимает 71 %). Объем производства за последние четыре-пять лет фактически удвоился. По оценкам аналитиков, в 2004 году емкость рынка замороженных продуктов в России составила \$1,7–1,9 млрд, или 120 тыс. т, а в 2006 году объем увеличился до 150 тыс. т в год [2, 4]. Российский рынок стабильно развивается, и темпы роста по различным оценкам составляют от 10 до 20 % [4].

В некоторой степени рост объемов производства ограничен поставками сырья, до 80 % которого импортируется. И это серьезно отражается на продовольственной безопасности государства. На сегодняшний день является актуальным создание новой технологии замораживания на базе комбинированной азотной и воздушной системы холодильной обработки продукта с различными температурными зонами, позволяющей получать продукты высокого качества, сокращать приведенные затраты.

Объекты и методы исследований

Исследования технологических и теплофизических особенностей процесса замораживания комбинированным методом проводились на экспериментальном стенде.

Конструкция аппарата позволяет поддерживать температуру в зоне I до минус 120 °С; в зоне II – до минус 42 °С и создавать скорость движения воздуха

до 8 м/с. В процессе проведения экспериментов измерялись и контролировались следующие параметры:

- температура паров азота и воздуха в зонах нахождения продукта;
- температурное поле исследуемого образца;
- плотность теплового потока от продукта к охлаждающей среде;
- скорость циркуляции потока воздуха в зоне II;
- толщина порций исследуемых продуктов.

В качестве чувствительного элемента для измерения температуры среды в модулях и исследуемом образце в процессе замораживания использовались хромель-копелевые термопары с диаметром спая 0,3 мм.

Плотность теплового потока измеряли с помощью датчиков-тепломеров ДПТП. Истинное значение плотности теплового потока определялось из

$$q = A \cdot K \cdot K_t, \text{ Вт/м}^2 \quad (1)$$

где A – значение сигнала датчика, мВ; K – рабочий коэффициент датчика, Вт/(м²·мВ), $K_1 = 165,26$ Вт/(м²·мВ), $K_2 = 160,73$ Вт/(м²·мВ); K_t – безразмерный поправочный температурный коэффициент, учитывающий погрешность сигнала датчика при низких температурах:

$$K_t = 0,000017t^2 + 1,005,$$

где t – температура датчика в определенный момент времени, °С.

Скорость паров азота в туннеле измерялась термоанемометром Т-3 с диапазоном измерения 0,1–15 м/с.

Толщина порций исследуемых сыров контролировалась штангенглубиномером с пределом измерения 0–125 мм и величиной отсчета по нониусу 0,1 мм.

Экспериментальные исследования проводились в научно-исследовательских лабораториях кафедр «Теплохладотехника», «Технология молока и молочных продуктов» и «Технология жиров, биохимия и микробиология» Кемеровского технологического института пищевой промышленности.

В ассортимент были включены следующие объекты: натуральные сыры различной степени зрелости, мягкие сыры типа «Адыгейского», творог, выработанный кислотно-сычужным способом.

При подготовке образцов к исследованию до замораживания их оценивали по физико-химическим, органолептическим показателям. Сыры и творог отбирались с высокой балльной оценкой: «Голландский» – 92–97 баллов, «Адыгейский» – 94–98 баллов, творог нежирный и классический – 19–20 баллов.

При выполнении работы использовали общепринятые методы исследований по ГОСТ.

При замораживании использовали следующие принципы организации процесса: порционный сыр и расфасованный творог упаковывали в полимерную термоусадочную пленку различных типов. Толщина принималась 0,025; 0,035; 0,05 м, масса от 0,1 до 0,5 кг.

Объекты исследования помещали на транспортирующий орган экспериментального стенда и замораживали от начальной температуры 15 °С до заданной среднеобъемной температуры продукта минус 20 °С, равной температуре дальнейшего хранения.

Эксперименты по замораживанию проводились при следующих условиях: быстрое замораживание при температуре паров азота в первой зоне от минус 50 до минус 90 °С; во второй зоне при температуре воздуха от минус 20 до минус 40 °С и скорости его циркуляции 5 м/с. Контролем служили образцы однородных партий, замороженные в морозильной камере воздушным способом при температуре минус (32±2) °С и скорости 5 м/с.

Экспериментальные исследования теплообменных процессов при замораживании проводились с применением математических методов планирования эксперимента.

Основным экспериментальным материалом в ходе теплообменных исследований служили термограммы процесса комбинированного замораживания и среднеинтегральные значения плотности теплового потока, на базе которых определяли продолжительность и среднюю скорость замораживания.

Результаты и их обсуждение

В ходе эксперимента изучали теплофизические особенности замораживания воды в многозонном скороморозильном аппарате.

Определение технологических условий замораживания молочных продуктов сводится к установлению такой температуры охлаждающей среды, при которой продолжительность замораживания объектов с различной толщиной поперечного сечения будет рациональной по энергетическим и технологическим показателям.

В данных исследованиях используется как бы дискретный принцип замораживания: в начальный период времени происходит активное воздействие на поверхность объекта парами азота, а затем осуществляется переход продукта в другой модуль, где завершается замораживание и достигается заданная среднеобъемная температура продукта, равная температуре дальнейшего хранения.

В связи с этим важно определить эти периоды низкотемпературного воздействия при различных условиях и вариантах организации эксперимента.

В последнем случае внимание нужно уделять характеру распределения температурного поля внутри объекта замораживания, что позволит кроме основной задачи решить сопутствующую, но не менее важную – установление характера симметричности температурного поля для проверки достоверности математического аппарата при определении продолжительности цикла замораживания.

Экспериментальные исследования при разработке технологического регламента по замораживанию объектов исследования проведены с применением математических методов планирования эксперимента, что позволило в значительной степени сократить число опытов и получить графическую интерпретацию результатов для количественной оценки факторов, влияющих на процесс.

Критерием эффективности для первой зоны является продолжительность замораживания объекта до достижения среднеобъемной температуры, вычисленной по формуле.

Для реализации планов эксперимента выделены два основных фактора, в наибольшей степени определяющих продолжительность замораживания: температура охлаждающей среды (X_1) и толщина порции продукта (X_2).

Очевидно, что в результате понижения температуры среды и уменьшения размера поперечного сечения объекта продолжительность замораживания будет иметь тенденцию к сокращению. Поэтому в исследуемой области факторного пространства функция экстремума иметь не может.

Областью изменения фактора X_1 назначен диапазон температур охлаждающей среды от минус 50 до минус 90 °С, так как по литературным данным [4] именно эта область температурного воздействия на объекты исследования практически не изучена.

Выбор области варьирования по фактору X_2 проведен на основании товароведческой экспертизы и потребительского спроса [7, 8].

В табл. 1 представлены уровни и интервалы варьирования факторов. При проведении исследований реализованы композиционные планы ортогонального двухуровневого эксперимента. В ходе проведения экспериментального исследования получены закономерности изменения температурного поля продукта и плотности теплового потока при замораживании в первой зоне жидким азотом, а во второй – воздухом.

Таблица 1

Уровни и интервалы варьирования факторов

Фактор	Нижний уровень (-)	Нулевой уровень (0)	Верхний уровень (+)	Интервал варьирования
Температура среды, °С (X_1)	-50	-70	-90	-20
Толщина продукта, м (X_2)	0,02	0,035	0,05	0,015

На рис. 1 и 2 представлены результаты быстрого замораживания молочных продуктов с различными температурными зонами: термограммы процесса и кинетика теплоотвода, соответствующие опытам № 7 полных факторных экспериментов.

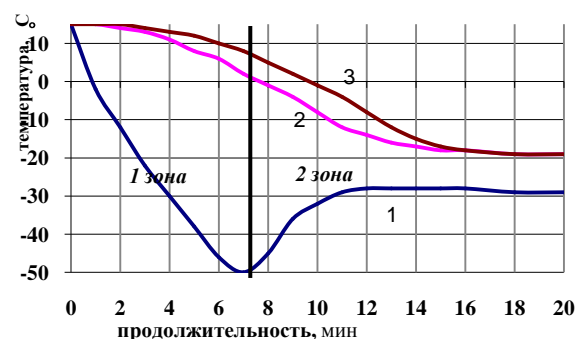


Рис. 1. Термограмма комбинированного метода замораживания брикета творога толщиной $\delta = 50$ мм: 1 – изменение температуры в поверхностном слое; 2 – изменение температуры в нижнем слое; 3 – изменение температуры в центре образца

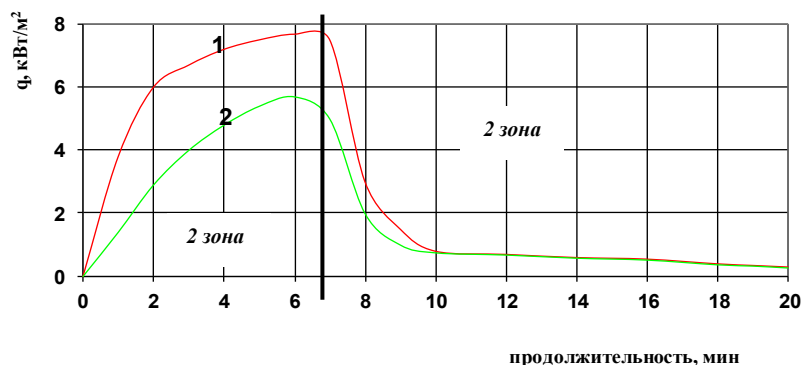


Рис. 2. Кинетика теплоотода при комбинированном методе замораживания брикета творога $\delta = 50$ мм:
1 – верхний слой продукта; 2 – нижний слой продукта

Используя термограммы процесса, изучали закономерности распределения температуры в различных сечениях штучного продукта, определяли среднеобъемную температуру продукта в различных промежутках времени, а также конечную температуру в термическом центре для установления времени завершения замораживания.

Изучение распределения среднеобъемных температур по зонам позволило определить время нахождения продукта в каждой из них до достижения криоскопической температуры и выравнивания температуры по объему продукта.

На рис. 1 показаны кривые изменения температуры по толщине продукта в многозонном скороморозильном аппарате.

Анализ результатов показал, что в начальный период времени объект исследования орошается парами жидкого азота, которые создают в зоне контакта необходимую (заданную) температуру. Температура поверхности продукта при этом очень быстро понижается. В то же время в термическом центре образца было зафиксировано незначительное понижение температуры, вследствие того что температурный фронт от поверхности образца вглубь еще не успел распространиться.

Интересен тот факт, что при установлении температуры жидкого азота минус 90 и минус 70 °С время достижения заданной среднеобъемной температуры отличалось несущественно в данных условиях проведения эксперимента. Как показали исследования, в зоне орошения процесс замораживания можно заканчивать через 4–9 минут, что приводит к снижению расхода жидкого азота, и продолжительность замораживания в первой зоне аппарата зависит от температуры криоагента и толщины продукта.

После перехода образца во вторую зону температура в центральных слоях еще остается положительной за счет активного воздействия паров азота на поверхность, но за счет теплопроводности происходит быстрое ее понижение. В поверхностных слоях, наоборот, температура повышается в среднем на 20 °С, и они отепляются. В конце замораживания темпера-

тура на поверхности выравнивается и достигает значения значительно ниже криоскопической температуры. Быстрое прохождение зоны кристаллообразования ликвидирует причину рекристаллизации, обеспечивая формирование мелких кристаллов и сохранение структуры продукта.

На рис. 2 показаны значения плотности теплового потока на верхней и нижней поверхности исследуемого брикета творога во время замораживания в многозонном скороморозильном аппарате. Характер теплоотода также свидетельствует об интенсивности процесса на начальной стадии замораживания и резком снижении динамики теплоотода во второй зоне аппарата. Пик теплового потока при температуре минус 70 °С составляет 7,68 кВт/м² и снижается во второй зоне при температуре минус 30 °С до значения 1,4 кВт/м².

Отличие в замораживании творога и сыра заключалось только в длительности процесса. Поскольку сыр имеет более низкую криоскопическую температуру и меньшее содержание свободной для замерзания влаги, время процесса увеличивалось в среднем на 4–6 минут. Кроме того, на термограмме замораживания сыра мало выражена площадка начала кристаллизации воды в продукте, в то время как у творога температурной площадки зафиксировано не было.

Понижать температуру паров азота при комбинированном способе замораживания выбранных объектов исследования ниже минус 70 °С с целью сокращения продолжительности не имеет смысла, так как расход хладагента увеличивается намного существеннее, чем снижение времени процесса.

Во второй зоне рационально поддерживать температуру воздуха на уровне минус (30...33) °С при скорости потока 5 м/с, поскольку понижение температуры среды во втором модуле не приводит к существенному сокращению продолжительности дозревания до заданной конечной температуры, но может значительно увеличить затраты на привод холодильной машины.

Список литературы

1. Антонов, А.А. Эксергетический анализ работы криогенной проточной системы для холодильной обработки пищевых продуктов / А.А. Антонов, К.П. Венгер, С.А. Пчелинцев // Инженерная защита окружающей среды. – 2002. – С. 45–46.
2. Архаров, А.М. Развитие криологии в Московском региональном отделении МАХ // Вестник Международной академии холода. – 2003. – № 1. – С. 9–15.
3. Бабакин, С.Б. Производство быстрозамороженных продуктов по современным технологиям / С.Б. Бабакин, С.А. Плешанов // Мясная индустрия. – 2001. – № 7. – С. 21–24.
4. Бараненко, А.В. Состояние и задачи развития холодильной отрасли / А.В. Бараненко, Г.А. Белозеров, О.М. Таганцев // Холодильная техника. – 2009. – № 3. – С. 20–24.
5. Белозеров, Г.А. Современные технологии и оборудование для холодильной обработки и хранения пищевых продуктов / Г.А. Белозеров, М.А. Дибирасулаев, В.Н. Корешков // Холодильная техника. – 2009. – № 4. – С. 18–22.
6. Бийяр, Ф. Новое в развитии глобальной холодильной цепи / Ф. Бийяр // Холодильная техника. – 2000. – № 1. – С. 13–16.
7. Бражников, А.М. Инженерные расчеты процессов отвода тепла при холодильной обработке / А.М. Бражников, Э.И. Каухчешвили // Холодильная техника. – 1982. – № 9. – С. 35–38.
8. Ковтунов, Е.Е. Качество молочных продуктов и сокращение их потерь в процессе производства и хранения: обзорная информация / Е.Е. Ковтунов, И.Г. Бушуева, А.Н. Пинаева и др. – М.: АгроНИИТЭИММП, 1991. – 44 с.

ФГБОУ ВПО «Кемеровский технологический институт
пищевой промышленности»,
650056, Россия, г. Кемерово, б-р Строителей, 47.
Тел./факс: (3842) 73-40-40
e-mail: office@kemtipp.ru

SUMMARY**I.V. Buyanova****NEW DAIRY PRODUCTS FREEZING TECHNOLOGY**

Considered are the basic patterns and rational modes of dairy products freezing with combined method for the purpose of their preservation and obtaining a product with a long shelf life. Application of fast freezing based on cryogenic refrigerating techniques and airprocessing in a multipoint quick-freezing device promotes loss reduction from desiccation, increases the speed of the process using environmentally safe refrigerant (nitrogen) and sound technological modes.

Combined method, dairy products, freezing, energy efficiency, quick freezing device, nitrogen, temperature, zone, duration.

Kemerovo Institute of Food Science and Technology
47, Boulevard Stroiteley, Kemerovo, 650056, Russia
Phone/Fax: +7(3842) 73-40-40
e-mail: office@kemtipp.ru

