2019 Т. 49 № 1 / Техника и технология пищевых производств / Food Processing: Techniques and Technology
ISSN 2074-9414 (Print)
ISSN 2313-1748 (Online)
https://doi.org/10.21603/2074-9414-2019-1-104-112
УДК 635.5.037
Оригинальная статья
http://fptt.ru/

Определение процессовых характеристик быстрого замораживания продуктов методом непрерывного и дискретного теплооотвода

Е. Н. Неверов, Л. В. Лифенцева*, А. В. Усов

ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет», 650056, Россия, г. Кемерово, ул. Красная, 6

**e-mail: milka61-08@mail.ru*

Дата поступления в редакцию: 30.01.2019
Дата принятия в печать: 21.03.2019

© Е. Н. Неверов, Л. В. Лифенцева, А. В. Усов, 2019

Аннотация. В работе показаны рациональные условия процесса быстрого замораживания неупакованных мелкокусковых пищевых продуктов методом непрерывного и дискретного теплоотвода. Дана графическая интерпретация результатов расчета среднеобъемной температуры для различных температурных режимов замораживания полуфабрикатов. Это позволяет определить значение температуры в любой момент времени. Определен наиболее рациональный диапазон скоростей циркуляции воздуха при непрерывном теплоотводе, который находится в пределах от 4 м/с до 6 м/с. Построены кривые изменения температуры и плотности теплового потока при быстром замораживании мясных мелкокусковых полуфабрикатов. Показан характер изменения коэффициента теплоотдачи и скорости замораживания мясных полуфабрикатов при температуре –40 °С и скорости воздуха 6 м/с. Выявлено, что увеличение плотности теплового потока и сокращение продолжительности замораживания, примерно в 1,4 раза, происходит при понижении температуры охлаждающей среды от –20 °С до –40 °С при скорости движения воздуха 6 м/с. Проведенные исследования по определению процессовых характеристик быстрого замораживания в непрерывном режиме позволили рассмотреть данную задачу на примере дискретного теплоотвода. Показаны сравнительные характеристики изменения продолжительности процесса замораживания и скорости процесса при непрерывном и дискретном теплоотводах. Доказано, что при дискретном теплоотводе продолжительность процесса замораживания составляет 20 минут, а при непрерывном теплоотводе – 26 минут. Построена термограмма и кинетика теплоотвода при замораживании в условиях дискретного режима. Приведена программа быстрого замораживания мясных рубленых полуфабрикатов, которая является программным обеспечением работы скороморозильного аппарата. Рассмотрены показатели качества мясного фарша, в зависимости от условий теплоотвода, а также изменение физико-химических свойств продукта после замораживания и в процессе хранения. Исследования показателей качества мясных мелкокусковых полуфабрикатов проводились в лаборатории научно-внедренческого предприятия «Сибагропереработка» г. Новосибирск.

Ключевые слова. Быстрое замораживание, продолжительность процесса, мясные полуфабрикаты, температура, скорость, дискретный теплоотвод

Для цитирования: Неверов, Е. Н. Определение процессовых характеристик быстрого замораживания продуктов методом непрерывного и дискретного теплооотвода / Е. Н. Неверов, Л. В. Лифенцева, А. В. Усов // Техника и технология пищевых производств. – 2019. – Т. 49, № 1. – С. 104–112. DOI: https://doi.org/10.21603/2074-9414-2019-1-104-112.

Original article
Available online at http://fptt.ru/

The Process Characteristics of Rapid Freezing: Continuous and Discrete Heat Removal Method

E.N. Neverov, L.V. Lifentseva*, A.V. Usov

Kemerovo State University, 6, Krasnaya Str., Kemerovo, 650056, Russia

**e-mail: milka61-08@mail.ru*

Received: January 30, 2019
Accepted: Marth 21, 2019

© E.N. Neverov, L.V. Lifentseva, A.V. Usov, 2019

Abstract. The research features the rational conditions of the process of rapid freezing for unpackaged small-sized foods by the method of continuous and discrete heat sink. The paper presents a graphical interpretation of the calculations of the average volume temperature for various temperature regimes that are used to freeze semi-finished products. The method makes it possible to determine the temperature at any time. The experiment defined the most rational range of air circulation speeds with a continuous heat sink in the range from 4 m/s to 6 m/s. The article features curves of changes in temperature and heat flux density during the rapid freezing of small-sized semi-finished meat products. They show the nature of the changes in the air coefficient of the meat sample heat transfer curves and the medium velocity of the object air. An increase in the heat flux density and a reduction

in the duration of freezing by about 1.4 times occurred when the temperature of the cooling medium decreased from –20°C to – 40°C at an air speed of 6 m/s. The research determined the process characteristics of rapid freezing in continuous mode using a discrete heat sink. The authors describe the comparative characteristics of the change in the duration of the freezing process and the speed of the process with continuous and discrete heat sinks. The study presents the curves of changes in temperature and heat flux density during rapid freezing of small-sized semi-finished meat products, depending on the conditions of heat transfer. When a discrete heat sink was used, the duration of the freezing process was fpund to be 20 min, while with a continuous heat sink it lasted 26 min. The paper also includes a thermogram and the kinetics of heat sink during freezing in discrete conditions, as well as a software program for quick freezing of semi-finished minced meat products. The indicators of the meat quality are considered depending on the conditions of the heat sink, as well as the change in the physicochemical properties of the product after freezing and during storage. Studies of quality indicators of small-sized semi-finished meat products were carried out in the laboratory of the scientific-innovative enterprise “Sibagropererabotka” (Novosibirsk, Russia).

Keywords. Fast freezing, process duration, meat semi-finished products, temperature, speed, discrete heat sink

For citation: Neverov EN, Lifentseva LV, Usov AV. The Process Characteristics of Rapid Freezing: Continuous and Discrete Heat Removal Method. Food Processing: Techniques and Technology. 2019;49(1):104–112. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.21603/2074-9414-2019-1-104-112.

Введение

Развитие производства быстрозамороженных продуктов представляет собой одно из главных направлений в области интенсификации технологических процессов, так как обеспечивает рациональное использование сельскохозяйственного сырья и может разнообразить рацион питания. Для получения замороженных продуктов в мировой практике используется широкий набор методов и технологий, которые обеспечивают разнообразие скороморозильных аппаратов и их выбор [1]. Совершенствование холодильной техники и технологии производства быстрозамороженной продукции предполагает переход на аппаратное замораживание с помощью скороморозильной техники [2, 4]. Поэтому важным является разработка такой технологии обработки пищевых продуктов, которая позволит получить максимально эффективные показатели и параметры процесса замораживания. Отечественный и зарубежный опыт показывает перспективность разработки модульных аппаратов для замораживания продуктов как в упаковке, так и без нее [3].

В данной работе рассматривается задача о быстром замораживании мелкокусковых рубленых мясных полуфабрикатов, которые можно рассматривать как тела малого объема, приближающиеся по форме к неограниченной пластине. Для рассмотрения процесса теплообмена принята математическая модель Л. С. Лейбензона:

– теплообмен симметричен;

– температура охлаждающей среды не изменяется в пределах цикла;

– теплофизические показатели продукта изменяются при переходе из одной фазы в другую и не изменяются в пределах фазы [4, 7].

Цель данной работы – определить рациональные условия процесса быстрого замораживания неупакованных мелкокусковых мясных продуктов методом непрерывного и дискретного теплоотвода.

Объекты и методы исследования

Для оценки теплофизических характеристик быстрого замораживания объектов исследования был проведен эксперимент по быстрому замораживанию мясных фаршей в режиме непрерывного и дискретного теплоотвода в исследуемом диапазоне температур и скоростей воздуха.

Исследования проводились с применением математических методов планирования эксперимента. Это позволило сократить число опытов и графически показать количественную оценку величин, которые влияют на процесс замораживания [5, 7].

За эффективные критерии были взяты два параметра, которые характеризуют процесс: плотность теплового потока – от объекта исследования к охлаждающей среде (q, кВт/м^2) и время – продолжительность процесса замораживания (час). Главным критерием эффективности рассматривалась плотность теплового потока, которая связана с энергетическими затратами, а второстепенным – продолжительность процесса замораживания.

Процесс замораживания проводили в потоке воздуха. Образец рассматривали как неограниченную пластину [9]. Измеряли количество тепла с двух сторон пластины нижней и верхней поверхностей, так как интенсивность охлаждения неодинакова. Также было выделено два основных фактора, влияющих на интенсивность теплообмена при замораживании в потоке воздуха. Это температура воздуха ($t_в$) и скорость воздуха ($v_в$).

При выборе пределов проведения эксперимента учитывалось то, что при температуре воздуха выше –20 °С замораживание не будет соответствовать быстрому, даже если интенсифицировать скорость воздуха [5]. Понижение температуры среды ниже –70 °С неэффективно с энергетической стороны. Поэтому рассматривали температуры в пределах от –20 °С до –70 °С и скорости воздуха от 3 до 10 м/с.

Результаты и их обсуждение

Объектом исследования служил мясной говяжий фарш, изготовленный из охлажденного и измельченного мяса говядины 1 категории упитанности, сформованный в брикеты массой 250 г и толщиной 28 мм. Замораживание проводили в потоке воздуха, варьируя температуры от –20 °С до –70 °С и скорости от 4 до 10 м/с. Брикеты укладывали на металлический противень и помещали в камеру замораживания с начальной температурой продукта и противня 20 °С. Такой подход учитывает реальные

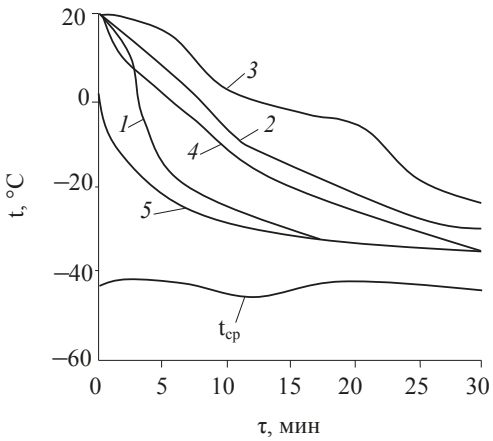
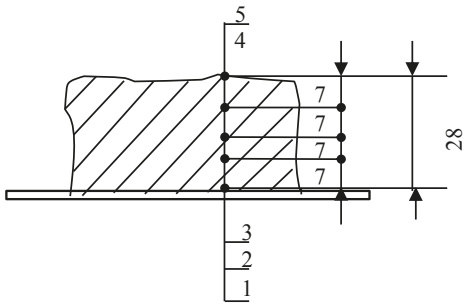
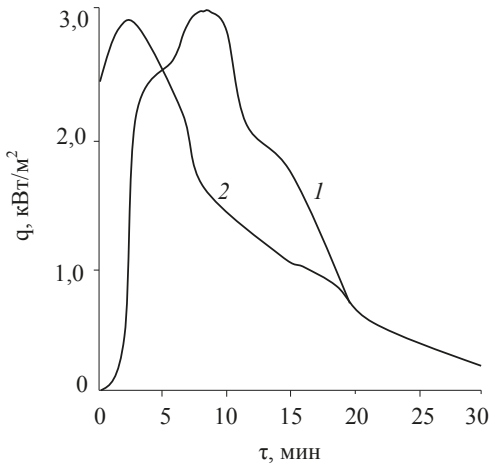


Схема установки термопар по толщине продукта



(а)



1 – нижняя поверхность, 2 – верхняя поверхность

(б)

Рисунок 1 – Кривые изменения температуры (а) и плотности теплового потока (б) при быстром замораживании мясных мелкокусковых полуфабрикатов

Figure 1 – Curves of temperature changes (a) and heat flux density (b) during the rapid freezing of semi-finished small-sized meat products

условия производства и является отличительным признаком от решения где мелкоштучные продукты замораживали на металлической ленте, которая имела в начальный момент времени температуру ниже криоскопической температуры продукта [7, 8, 14]. Охлаждающий блок включает в себя испаритель и вентиляторы, которые расположены в шахматном порядке друг против друга. Такое расположение приборов охлаждения и вентиляторов позволяет обеспечить двухстороннюю симметричную циркуляцию воздуха. К образцу были присоединены термопары: одна на внутренней поверхности (термопара 5) и одна на внешней поверхности (термопара 1), а также три термопары на расстоянии 7 мм от поверхности. Температура среды в камере –45 °С. Были построены кривые изменения температуры образца (а) и показана кинетика теплоотвода (б), которые представлены на рисунке 1.

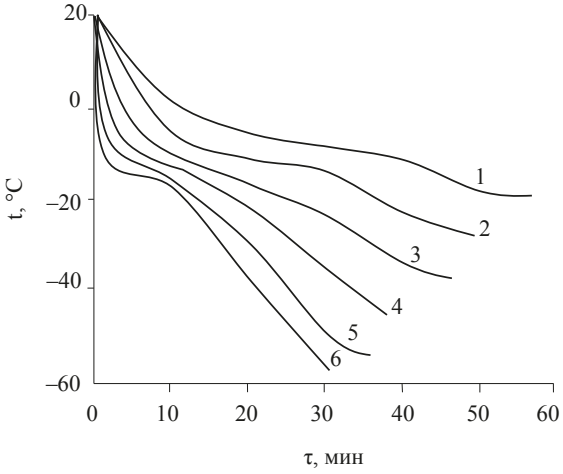


Рисунок 2 – Изменение среднеобъемной температуры рубленых полуфабрикатов при замораживании (скорость воздуха 6 м/с, температура: 1: –20 °С, 2: –30 °С, 3: –40 °С, 4: –50 °С, 5: –60 °С, 6: –70 °С)

Figure 2 – Changes in the avarage volume temperature of minced semi-finished products diring freezing (airflow = 6 m/c; temperature: 1: –20 °C, 2: –30 °C, 3: –40 °C, 4: –50 °C, 5: –60 °C, 6: –70 °C)

Из графиков видно, что быстрее охлаждается верхняя поверхность продукта. При дальнейшем понижении температуры на нижней поверхности теплообмен становится более интенсивным и через 18 минут температурный фронт выравнивается. Такой теплообмен соответствует симметричному.

Результатам расчетов среднеобъемной температуры была придана графическая интерпретация для различных температурных режимов замораживания полуфабрикатов. Это позволяет определить значение температуры в любой момент времени (рис. 2).

Характер изменения коэффициента теплоотдачи и скорости замораживания мясных полуфабрикатов в зависимости от температуры и скорости воздуха, показан на рисунке 3.

Из графиков видно, что при скорости воздуха 6 м/с и температуре воздуха –40 °С скорость замораживания изменяется от 8×10^{-6} м/с до $16{,}5\times10^{-6}$ м/с, при этом коэффициент теплоотдачи увеличивается от 50 Вт/(м²·К) до 85 Вт/(м²·К) (рис. 3а). Из графика на рисунке 3б видно, что для неупакованных полуфабрикатов увеличение скорости воздуха выше 7 м/с не приводит к существенной интенсификации процесса замораживания.

Дальнейшее увеличение скорости воздуха еще в меньшей степени влияет на интенсивность теплообмена, значение коэффициента теплоотдачи практически не изменяется, т. е. наиболее рациональный

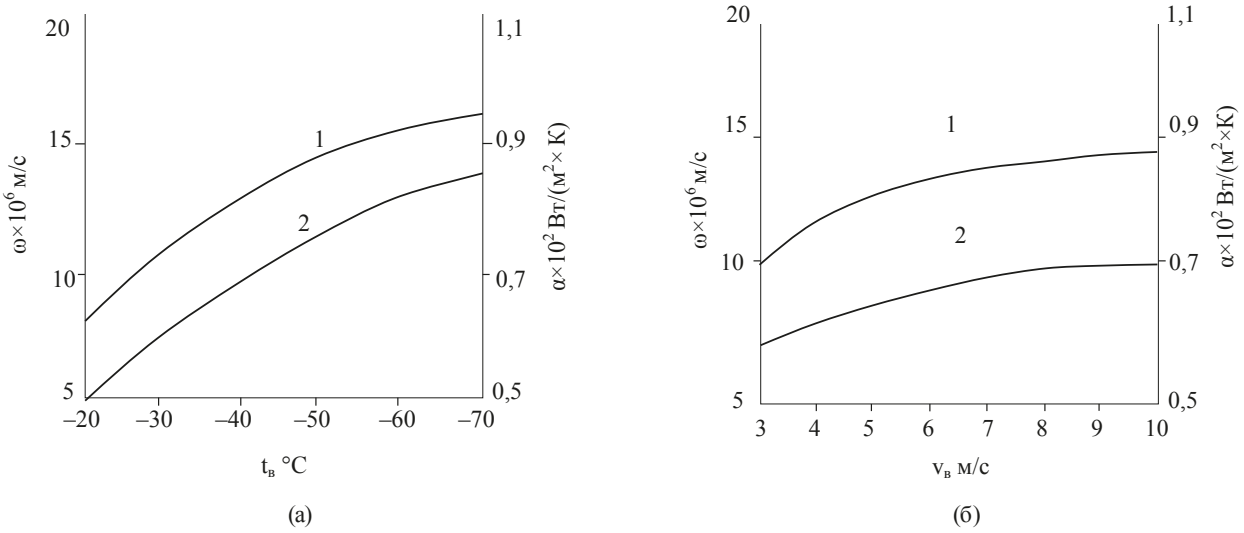


Рисунок 3 – Влияние температуры (а) и скорости воздуха (б) на коэффициент теплоотдачи (2) и скорость замораживания (1) мясных рубленых полуфабрикатов: а – скорость воздуха 6 м/с; б – температура воздуха –40 °С.

Figure 3 – Effect of temperature (a) and air velocity (b) on the heat transfer coefficient (2) and freezing speed (1) of semi-finished minced meat products: a – air velocity = 6 m / s; b – air temperature = –40 °C.

диапазон скоростей циркуляции воздуха находится в пределах от 4 м/с до 6 м/с.

Рассматривая изменения параметров процесса в данном интервале (рис. 4) можно увидеть, что увеличение плотности теплового потока и сокращение продолжительности замораживания примерно в 1,4 раза, происходит при понижении температуры охлаждающей среды от –20 °С до –40 °С при скорости движения воздуха 6 м/с.

Дальнейшее понижение температуры воздуха до –50 °С несколько снижает темп изменения плотности теплового потока и времени замораживания, но он еще довольно высок и составляет 1,22 раза по сравнению с температурой –40 °С.

В интервале температур от –60 °С до –70 °С относительно –50 °С, очевиден спад интенсивности теплообмена, который составляет 1,15–1,11 раза.

Основная цель дискретного теплоотвода – реализовать такой порядок организации внешнего воздействия с помощью воздушной системы охлаждения, при котором будет наблюдаться сокращение приведенных затрат без ухудшения качества продукта [5, 6, 13]. Данный теплоотвод рассматривали в наиболее рациональном режиме непрерывного теплоотвода с температурой воздуха до –50 °С при скорости движения воздуха в зоне контакта с продуктом от

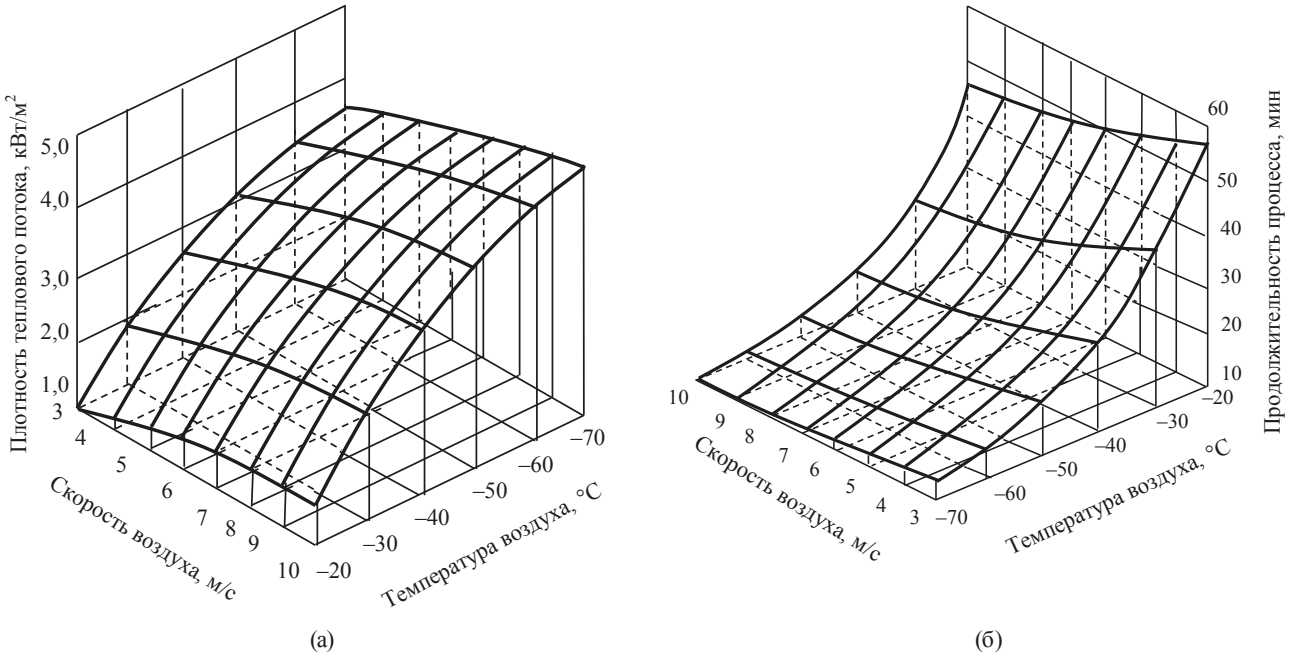


Рисунок 4 – Влияние температуры и скорости воздуха на плотность теплового потока (а) и продолжительность замораживания (б) рубленых полуфабрикатов

Figure 4 – Effect of temperature and air velocity on the heat flow density (a) and the duration of freezing (b) of chopped semi-finished products.

Таблица 1 – Результаты эксперимента объекта исследования в условиях дискретного теплоотвода

Table 1– Experimental results for the discrete heat sink

№ опыта	Параметры воздуха в модулях								Продолжительность, мин		Скорость процесса $\omega \times 10^6$, м/с
	1 модуль		2 модуль		3 модуль		4 модуль		Дискретный теплоотвод	Непрерывный теплоотвод, –40 °С, 5 м/с	
	$t_в$, °С	$v_в$, м/с	$t_в$, °С	$v_в$, м/с	$t_в$, °С	$v_в$, м/с	$t_в$, °С	$v_в$, м/с			
Первая серия											
1	–50	6	–40	4	–35	6	–30	4	24	26	12,5
2	–40	6	–30	4	–40	6	–30	4	29,5	26	11,9
3	–30	6	–40	4	–50	6	–30	4	23,5	26	13,3
4	–50	4	–40	6	–30	4	–30	4	23	26	12,8
5	–40	4	–30	6	–40	4	–30	4	29	26	11,7
6	–30	4	–40	6	–50	4	–35	4	22	26	13,7
Вторая серия											
7	–30	4	–50	6	–40	6	–30	4	22	26	14,0
8	–30	4	–50	4	–40	4	–30	4	23	26	13,7
9	–30	4	–50	6	–40	5	–30	4	20	26	14,2
10	–30	4	–50	4	–40	6	–30	4	22	26	14,0

4 м/с до 6 м/с. Эксперимент проводился в несколько этапов. На первом этапе, используя особенности изменения процессовых характеристик непрерывного теплоотвода, был составлен план реализации опытов в четырехмодульной экспериментальной установке.

Каждая секция аппарата имеет индивидуальное холодоснабжение и систему, обеспечивающую циркуляцию воздуха с заданными параметрами. В таблице 1 представлен план и результаты эксперимента при быстром замораживании объекта исследования в условиях дискретного теплоотвода. Учитывая, что при различных вариантах составления модулей будет сложно рассчитать с достаточной точностью продолжительность процесса, повторность опытов была увеличена до 10.

Сравнительная оценка проводилась по сопоставлению с наиболее эффективным режимом непрерывного теплоотвода при температуре –40 °С и скорости 5 м/с. Основными критериями оценки являлись продолжительность и скорость процесса. Анализ результатов первой серии эксперимента свидетельствует о том, что когда в 1 модуле создаются более интенсивные условия, то это в меньшей степени оказывает влияние на сокращение продолжительности и скорости процесса. С теплофизической точки зрения это объясняется тем, что на поверхности продукта температура очень быстро достигает криоскопической, образуя кристаллический «барьер» определенной толщины. Это существенно снижает интенсивность проникновения температурного фронта во внутренние слои продукта. Эффективным на данном этапе эксперимента оказался опыт № 6, когда в первом модуле были созданы менее интенсивные условия, переходящие затем в активное воздействие более низких температур и высоких скоростей воздуха.

Вторая серия эксперимента была направлена на выявление оптимального сочетания модулей. Так, следуя постановке опытов, целенаправленно интенсифицировали процесс во 2 и 3 модулях и в опыте № 9 получили минимальную продолжительность процесса 20 минут, в то время как продолжительность процесса при непрерывном теплоотводе составила 26 минут. На рисунке 5 показаны экспериментальные кривые, изображающие физическую картину происходящего в этом опыте.

В 1 модуле отводится значительно меньше тепла, чем в опыте № 4. Температура в центре и на поверхности существенно выше, чем в контрольном варианте быстрого замораживания. Во 2 модуле при

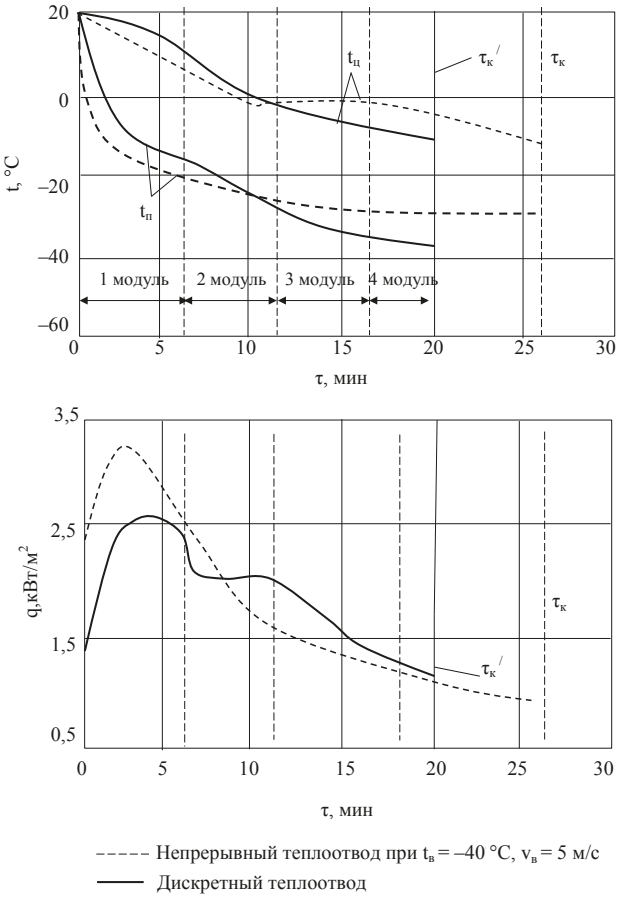


Рисунок 5 – Термограмма и кинетика теплоотвода при замораживании в условиях дискретного режима

Figure 5 – Thermogram and kinetics of heat sink during freezing under discrete conditions

Таблица 2 – Программа быстрого замораживания рубленых полуфабрикатов

Table 2 – Program of quick freezing for minced semi-finished products

Параметры воздуха и время пребывания продукта в модулях											
1 модуль			2 модуль			3 модуль			4 модуль		
$t_в$, °C	$v_в$, м/с	τ, мин	$t_в$, °C	$v_в$, м/с	τ, мин	$t_в$, °C	$v_в$, м/с	τ, мин	$t_в$, °C	$v_в$, м/с	τ, мин
–30	4	6	–50	6	6	–40	5	6	–35	4	2

температуре –50 °C и максимальной скорости 6 м/с отвод тепла настолько эффективен, что температура резко снижается не только на поверхности, но и в центре продукта. Это означает, что основная масса продукта успешно прошла период фазового превращения воды в лед. Это может стать гарантией максимального сохранения исходных свойств продукта при длительном хранении.

В модуле № 3 при температуре –40 °C скорость потока несколько снижается, в связи с тем, что уже происходит падение интенсивности теплообмена, но процесс еще достаточно интенсивен. Последний модуль № 4 позволяет еще в большей степени снизить скорость процесса и увеличить его температуру, так как тепловая нагрузка минимальная и процесс достижения среднеобъемной температуры –18 °C не требует вмешательства, поскольку интенсификация конвективным способом уже не принесет существенного сокращения продолжительности процесса.

Для определения оптимального времени нахождения продукта в модулях, при условии, что режимные параметры процесса замораживания (зависимость среднеобъемной температуры продукта от времени) известны для каждой камеры, была разработана программа вычислений на языке Турбо-Паскаль, которая может рассматривать задачу на любое количество модулей. Для ее загрузки требуются результаты, получаемые из базовой модели определения продолжительности замораживания на каждой стадии [5]. Тогда возможно производить вариантые расчеты оптимизации условий внешнего воздействия при быстром замораживани продуктов. Это и представляет элемент программирования процесса замораживания. В таблице 2 приведена программа быстрого замораживания мясных рубленых полуфабрикатов.

В данной работе рассматривались и качественные характеристики мясопродуктов, замороженные в условиях дискретного теплоотвода, и сравнивались с качеством мяса, замороженного в условиях непрерывного теплоотвода. Размораживание образцов проводили в воздушной среде при температуре воздуха 20 °C до достижения температуры плюс 1 °C в центре продукта. В размороженном фарше определяли массовую долю влаги, водосвязывающую способность, растворимость белковых фракций, потери массы после тепловой обработки, потери мясного сока. В исходном сырье определяли массовую долю влаги, водосвязывающую способность и растворимость белков. Результаты эксперимента приведены в таблице 3.

Результаты эксперимента свидетельствуют о том, что при замораживании в заданных режимах теплоотвода уменьшение массовой доли влаги в фарше практически одинаково. Это объясняется естественной убылью массы за счет испарения влаги. Убыль составляет 0,97–1 %, что не превышает нормативной усушки при замораживании. Однако в процессе хранения происходит дальнейшее уменьшение влаги за счет испарения. Это уменьшение объясняется частичным разрушением белково-коллоидной системы, уменьшением способности белков удерживать влагу [8, 10, 12].

Также результаты экспериментов показали, что потери мясного сока с увеличением продолжительности хранения замороженного фарша возрастают примерно на 1,2–1,4 %. Это объясняется снижением набухаемости белковых веществ фарша. Уменьшение влаги в фарше и потери мясного сока в заданных режимах замораживания практически одинаковы.

Потери массы при замораживании и в процессе хранения составили около 1,2 %, но при замораживании в условиях дискретного теплоотвода они оказались несколько ниже, чем при непрерывном теплоотводе. Это объясняется меньшей продолжительностью процесса.

Процесс замораживания сопровождается не только потерей массы, но и изменениями физи-

Таблица 3 – Показатели качества мясного фарша в зависимости от условий теплоотвода

Table 3 – Quality indicators of the minced meat according to the conditions of the heat sink

Объект исследования	Влага W, %	Потери мясного сока при размораживании	Потери массы, %	
			после замораживания	после тепловой обработки
Фарш говяжий	74,9			
Фарш, замороженный непрерывным теплоотводом	73,4	0,5	2	26
через 1 мес.	72,3	1,7	3,7	32
2 мес.	70,8	1,9	5,6	40
Фарш, замороженный дискретным теплоотводом	73,8	0,4	1,1	25
через 1 мес.	72,7	1,6	2,5	31,5
2 мес.	71,6	1,8	3,6	38

Таблица 4 – Изменение ВСС и растворимости миофибриллярных белков после замораживания и в процессе хранения

Table 4 – Changes in the water binding capacity and solubilities of myofibrillary proteins after freezing and during storage

Объект исследования	ВСС % к исходному	Растворимость белков	
		саркоплазматических	миофибриллярных
Фарш говяжий	100	100	100
Фарш, замороженный непрерывным теплоотводом		98,2	88,1
через 1 мес.	84,9	98,0	85,1
2 мес.	68,8	90,8	80,0
Фарш, замороженный дискретным теплоотводом		98,9	90,1
через 1 мес.	87,3	97,1	86,8
2 мес.	73,6	93,6	81,8

ко-химических свойств продукта [11]. В процессе исследований рассматривали растворимость белковых фракций и водосвязывающую способность (ВСС). Результаты приведены в таблице 4.

При замораживании свойства саркоплазмитических белков, в том числе их растворимость, практически не изменяются. Растворимость миофибриллярных белков при замораживании и хранении уменьшается на 9–20 %. В режиме дискретного теплоотвода растворимость белков на 1,5–2 % меньше, чем в условиях непрерывного теплоотвода.

Динамика изменения ВСС объектов исследования свидетельствует о снижении способности исследуемых фаршей удерживать влагу. Это объясняется уменьшением влаги в продукте в процессе хранения. Темп снижения ВСС выше на 3,7 % в случае непрерывного теплоотвода.

Выводы

Таким образом, данные исследования позволяют сделать вывод, что наиболее рациональный диапазон скоростей циркуляции воздуха находится в пределах от 4 м/с до 6 м/с, при котором интенсивность теплоотбмена увеличивается. Также понижение температуры воздуха ниже –50 °С нецелесообразно, так как сущетсвенного сокращения продолжительности замораживания и интенсивности теплообмена не наблюдается.

Кроме того, если поддерживать температуру воздуха на уровне от –40 °С до –50 °С, то скорость замораживания мясного полуфабриката находится в пределах от $12{,}5\times10^{-6}$ до $14{,}8\times10^{-6}$ м/с, что соответствует понятию «быстрое замораживание». Также из опытов видно, что при дискретном теплоотводе продолжительность процесса замораживания ниже и составляет 20 минут, чем при непрерывном теплоотводе. Это может привести к снижению приведенных затрат на процесс замораживания.

Быстрое замораживание объекта исследования в рассмариваемых условиях теплоотвода не дало оснований считать сущетсвенным изменение качества продукта. Результаты исследований свидетельствуют о том, что дискретный теплоотвод, имея преимущества в сокращении продолжительности замораживания, не ухудшает качества продукта, а по некоторым показателям улучшает его.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Список литературы

1. Fryer, P. J. Processing technology innovation in the food industry / P. J. Fryer, C. Versteeg // Innovation: Management, Policy and Practice. – 2008. – Vol. 10, № 1. – P. 74–90. DOI: https://doi.org/10.5172/impp.453.10.1.74.

2. Бараненко, А. В. О некоторых аспектах развития холодильной индустрии страны в XX — начале XXI века / А. В. Бараненко // Холодильная техника. – 2012. – № 1. – С. 28–34.

3. Современные технологии и оборудование для холодильной обработки и хранения пищевых продуктов / Г. А. Белозеров, М. А. Дибирасулаев, В. Н. Корешков [и др.] // Холодильная техника. – 2009. – № 4. – С. 18–22.

4. Буянов, О. Н. Расчет тепловой нагрузки на модули скороморозильного аппарата комбинированного типа / О. Н. Буянов, И. В. Буянова // Вестник Международной Академии Холода. – 2016. – № 2. – С. 63–66. DOI: https://doi.org/10.21047/1606-4313-2016-15-2-63-66.

5. Буянов, О. Н. Оценка эффективности организации комбинированного способа быстрого замораживания биологических объектов / О. Н. Буянов, И. В. Буянова // Вестник Международной Академии Холода. – 2015. – № 4. – С. 44–48.

6. Буянов, В. О. Замораживание твердых сыров в условиях регулируемого теплоотвода / О. Н. Буянов // Сыроделие и маслоделие. – 2009. – № 4. – С. 46–48.

7. Буянов, О. Н. Моделирование замораживания продуктов в условиях многозонной комбинированной системы холодоснабжения / О. Н. Буянов, И. В. Буянова // Техника и технология пищевых производств. – 2012. – № 4. – С. 1–7.

8. Воскобойников, В. А. Разработка параметров процесса замораживания пищевых продуктов заданной формы / В. А. Воскобойников // Вестник Международной Академии Холода. – 2012. – № 1. – С. 28–30.

9. Горбунова, Н. А. Влияние холодильной обработки на качество и безопасность мяса / Н. А. Горбунова // Все о мясе. – 2013. – № 3. – С. 44–46.

10. Как увеличить срок годности и привлечь покупателей? // Переработка молока. – 2018. – Т. 228, № 9. – С. 57.

11. Влияние условий охлаждения мясопродуктов, подвергнутых тепловой обработке на сроки их хранения / М. А. Дибирасулаев, Г. А. Белозеров, С. Г. Рыжова [и др.] // Актуальные проблемы в области создания инновационных

технологий хранения сельскохозяйственного сырья и пищевых продуктов : сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции / ГНУ ВНИИМС. – Углич, 2011. – С. 50–53.

12. Ишевский, А. Л. Замораживание как метод консервирования пищевых продуктов / А. Л. Ишевский, И. А. Давыдов // Теория и практика переработки мяса. – 2017. – Т. 2, № 2. – С. 43–59. DOI: https://doi.org/10.21323/2414- 438X-2017-2-2-43-59.

13. Ишевский, А. Л. Экспресс-оценка сроков хранения пищевых продуктов / А. Л. Ишевский, С. С. Доморацкий, И. В. Гришина // Мясные технологии. – 2011. – Т. 98, № 2. – С. 28–30.

14. Неверов, Е. Н. Номограмма для определения массы снегообразного диоксида углерода при охлаждении рыбы / Е. Н. Неверов, С. Н. Нечаев // Теоретические и прикладные проблемы науки и образования в 21 веке : Сборник материалов международной заочной научно-практической конференции. – Тамбов, 2012. – С. 105–106.

15. Неверов, Е. Н. Применение диоксида углерода для охлаждения тушек кролика / Е. Н. Неверов, А. Н. Гринюк, Н. Г. Третьякова // Современные проблемы науки и образования. – 2015. – № 2–2.

References

1. Fryer PJ, Versteeg C. Processing technology innovation in the food industry. Innovation: Management, Policy and Practice. 2008;10(1):74–90. DOI: https://doi.org/10.5172/impp.453.10.1.74.

2. Baranenko AV. O nekotorykh aspektakh razvitiya kholodil′noy industrii strany v XX – nachale XXI veka [Some aspects of the development of the country's refrigeration industry in XX and early XXI centuries]. Kholodilnaya Tekhnika. 2012;(1):28–34. (In Russ.).

3. Belozerov GA, Dibirasulaev MA, Koreshkov VN, Kolodyaznaya VS, Rumyantseva ON, Baranenko DA. Sovremennye tekhnologii i oborudovanie dlya kholodil′noy obrabotki i khraneniya pishchevykh produktov [Modern technologies and equipment for food freezing and storage]. Kholodilnaya Tekhnika. 2009;(4):18–22. (In Russ.).

4. Buaynov ON, Buaynova IV. Heat load calculation for the modules of combined type freezing units. Journal International Academy of Refrigeration. 2016;(2):63–66. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.21047/1606-4313-2016-15-2-63-66.

5. Buaynov ON, Buaynova IV. Organization efficiency estimation of biological objects fast freezing combined method. Journal International Academy of Refrigeration. 2015;(4):44–48. (In Russ.).

6. Buyanov VO. Zamorazhivanie tverdykh syrov v usloviyakh reguliruemogo teplootvoda [Freezing hard cheeses in a controlled heat sink]. Magazine cheesemaking and buttermaking. 2009;(4):46–48. (In Russ.).

7. Buaynov ON, Buaynova IV. Modeling of food products freezing in the multizoned combined refrigeration supply system. Food Processing: Techniques and Technology. 2012;(4):1–7. (In Russ.).

8. Voskoboynikov VA. Razrabotka parametrov protsessa zamorazhivaniya pishchevykh produktov zadannoy formy [Development of parameters of the freezing process of food products of a given form]. Journal International Academy of Refrigeration. 2012;(1):28–30. (In Russ.).

9. Gorbunova NA. Effect of cold treatment on the quality and safety of meat. All about the meat. 2013;(3):44–46. (In Russ.).

10. Kak uvelichit′ srok godnosti i privlech′ pokupateley? [How to increase shelf life and attract customers.]. Milk Processing. 2018;228(9):57. (In Russ.).

11. Dibirasulaev MA, Belozerov GA, Ryzhova SG, Makarov BA. Vliyanie usloviy okhlazhdeniya myasoproduktov, podvergnutykh teplovoy obrabotke na sroki ikh khraneniya [Influence of cooling conditions of meat products subjected to heat treatment on the shelf life]. Aktual′nye problemy v oblasti sozdaniya innovatsionnykh tekhnologiy khraneniya sel′skokhozyaystvennogo syr′ya i pishchevykh produktov: sbornik materialov Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii [Relevant Issues of Innovative Technologies in the Field of the Storage of Agricultural Raw Materials and Foods: Proceedings of the All-Russian Scientific and Practical Conference]; 2011; Uglich. Moscow: Russian Academy of Agricultural Sciences; 2011. p. 50–53. (In Russ.).

12. Ishevskiy AL, Davydov IA. Freezing as a method of food preservation. Theory and practice of meat processing. 2017;2(2):43–59. (In Russ.).

13. Ishevskiy AL, Domoratskiy SS, Grishina IV. Ehkspress-otsenka srokov khraneniya pishchevykh produktov [Express assessment of shelf life]. Meat Technology. 2011;98(2):28–30. (In Russ.).

14. Neverov EN, Nechaev SN. Nomogramma dlya opredeleniya massy snegoobraznogo dioksida ugleroda pri okhlazhdenii ryby [Nomogram for determining the mass of snowlike carbon dioxide in chilled fish]. Teoreticheskie i prikladnye problemy nauki i obrazovaniya v 21 veke: Sbornik materialov mezhdunarodnoy zaochnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii [Theoretical and applied problems of science and education in XXI century: Collection of materials of the International correspondence scientific-practical conference]; 2012; Tambov. Tambov: Ucom; 2012. p. 105–106. (In Russ.).

15. Neverov EN, Grinyuk AN, Tretyakova NG. The use of carbon dioxide for cooling carcasses rabbit. Modern problems of science and education. 2015;(2–2). (In Russ.).

Неверов Евгений Николаевич
д-р техн. наук, профессор кафедры теплохладотехники, ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет», 650000, Россия, г. Кемерово, ул. Красная, 6, тел.: +7 (923) 521-53-85, e-mail: neverov42@mail.ru
https://orcid.org/0000-0002-3542-786X

Лифенцева Людмила Владимировна
канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры теплохладотехники, ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет», 650000, Россия, г. Кемерово, ул. Красная, 6, тел.: + 7 (904) 378-08-15, e-mail: milka61-08@mail.ru
https://orcid.org/0000-0001-7940-6836

Усов Андрей Васильевич
канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры теплохладотехники, ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет», 650000, Россия, г. Кемерово, ул. Красная, 6, тел.: + 7 (904) 965-91-12, e-mail: usov-kemtipp@rambler.ru
https://orcid.org/0000-0001-7585-2505

Yevgeniy N. Neverov
Dr.Sci.(Eng.), Professor of the Department of Thermal Refrigeration, Kemerovo State University, 6, Krasnaya Str., Kemerovo, 650000, Russia, phone: +7 (923) 521-53-85, e-mail: neverov42@mail.ru
https://orcid.org/0000-0002-3542-786X

Lyudmila V. Lifentseva
Cand.Sci.(Eng.), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Thermal Refrigeration, Kemerovo State University, 6, Krasnaya Str., Kemerovo, 650000, Russia, phone: + 7 (904) 378-08-15, e-mail: milka61-08@mail.ru
https://orcid.org/0000-0001-7940-6836

Andrey V. Usov
Cand.Sci.(Eng.), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Thermal Refrigeration, Kemerovo State University, 6, Krasnaya Str., Kemerovo, 650000, Russia, phone: + 7 (904) 965-91-12, e-mail: usov-kemtipp@rambler.ru
https://orcid.org/0000-0001-7585-2505