ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ. АГРОИНЖЕНЕРИЯ

DOI: 10.32786/2071-9485-2021-01-31

STUDY OF FREEZING MODES PLANT PRODUCTS CARBON DIOXIDE

E. N. Neverov, I. A. Korotkiy, L. V. Lifentseva, A. N. Rasshchepkin

*Federal State Budget Educational Institution of Higher Education
Kemerovo State University, Kemerovo*

Received 01.12.2020

Submitted 10.03.2020

Summary

The article provides a comparative analysis of the freezing of products of plant origin in the environment of gaseous and snow-like carbon dioxide with a temperature of minus $78 \pm 2^\circ\text{C}$. The most effective freezing regime in a carbon dioxide

Abstract

Introduction. One of the promising methods of refrigeration processing of food products is freezing with the use of carbon dioxide. An increase in temperature above minus 78.5°C triggers the sublimation mechanism, carbon dioxide from a solid state goes into gaseous, bypassing the liquid. During the sublimation process, a thermodynamic process takes place that facilitates the transfer of heat from the environment to the refrigerant. The refrigerating capacity of this process is 2 times higher in comparison with ordinary water, the indicator is 637 kJ / kg at 0°C , and in the process of sublimation of snow-like carbon dioxide, carbon dioxide is released, which is a harmless preservative that envelops perishable products. The use of carbon dioxide significantly expands the possibilities of cold storage in industrial and domestic conditions of food products. **Object.** The article analyzes the modes of freezing plant products with carbon dioxide, in which CO_2 was used both in the snow-like and in the gaseous state. For research, an experimental stand was developed, which made it possible to control changes in temperature and heat flow density of plant products in a wide range of temperatures, as well as the duration of refrigeration treatment and the mass consumption of carbon dioxide during freezing. **Materials and methods.** The process of freezing mushrooms of champignons and cauliflower in the environment of gaseous and snow-like carbon dioxide was investigated. The thermograms of the freezing process in the environment of gaseous and snow-like carbon dioxide with a temperature of minus $78 \pm 2^\circ\text{C}$ are presented. The maximum value of the heat flux density was determined and the heat transfer coefficient was calculated during freezing of plant products in the environment of gaseous and snow-like carbon dioxide. **Results and conclusions.** A comparative analysis of the freezing of products of plant origin in the environment of gaseous and snow-like carbon dioxide with a temperature of minus $78 \pm 2^\circ\text{C}$ was carried out. with a temperature of minus $78 \pm 2^\circ\text{C}$. When plant products are frozen in an environment of snow-like carbon dioxide, the mass consumption of carbon dioxide decreases, the duration of freezing decreases, and moisture loss during defrosting decreases.

Key words: *freezing, carbon dioxide, process thermograms, heat flux density, heat transfer coefficient.*

Citation. Neverov E. N., Korotkiy I. A., Lifentseva L. V., Rasshchepkin A. N. Study of freezing modes plant products carbon dioxide. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2021. 1(61). 326-337 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2021-01-31.

Author's contribution. All authors of this study were directly involved in the planning, execution or anal-

ysis of this study. All authors of this article have read and approved the submitted final version.

Conflict of interest. The authors declare no conflicts of interest.

УДК 641.664

ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЖИМОВ ЗАМОРАЖИВАНИЯ РАСТИТЕЛЬНОЙ ПРОДУКЦИИ ДИОКСИДОМ УГЛЕРОДА

Е. Н. Неверов, доктор технических наук, профессор
И. А. Короткий, доктор технических наук, профессор
Л. В. Лифенцева, кандидат технических наук, доцент
А. Н. Расщепкин, доктор технических наук, профессор

ФГБОУ ВО Кемеровский государственный университет, г. Кемерово

Дата поступления в редакцию 01.12.2020

Дата принятия к печати 10.03.2021

Актуальность. Одним из перспективных методов холодильной обработки пищевых продуктов является замораживание с применением диоксида углерода. Повышение температуры выше минус 78,5 °С запускает механизм сублимации: углекислота из твердого состояния переходит в газообразное, минуя жидкое. Во время процесса сублимации происходит термодинамический процесс, который способствует передаче тепла от окружающей среды к холодильному агенту. Холодопроизводительность этого процесса в сравнении с обычной водой в 2 раза выше, показатель равен 637 кДж/кг при 0 °С, а также в процессе сублимации снегообразного диоксида углерода выделяется углекислый газ, который является безвредным консервантом, обволакивающим скоропортящуюся продукцию. Применение диоксида углерода значительно расширяет возможности холодильного хранения в производственных и бытовых условиях пищевых продуктов. **Объект.** Проведен анализ режимов замораживания растительной продукции диоксидом углерода, в которых CO₂ применяли как в снегообразном, так и в газообразном состоянии. Для проведения исследований был разработан экспериментальный стенд, который позволил проводить контроль изменения температуры и плотности теплового потока растительной продукции в широком диапазоне температур, а также продолжительности холодильной обработки и массового расхода диоксида углерода при замораживании. **Материалы и методы.** Исследован процесс замораживания грибов шампиньонов и цветной капусты в среде газообразного и снегообразного диоксида углерода. Представлены термограммы процесса замораживания в среде газообразного и снегообразного диоксида углерода с температурой минус 78±2 °С. Определено максимальное значение плотности теплового потока и рассчитан коэффициент теплоотдачи при замораживании продуктов растительного происхождения в среде газообразного и снегообразного диоксида углерода. **Результаты и выводы.** Проведен сравнительный анализ замораживания продуктов растительного происхождения в среде газообразного и снегообразного диоксида углерода с температурой минус 78±2 °С. с температурой минус 78±2 °С. При замораживании растительной продукции в среде снегообразного диоксида углерода снижается массовый расход диоксида углерода, сокращается продолжительность замораживания, происходит снижение потери влаги при размораживании.

Ключевые слова: замораживание растительной продукции, диоксид углерода, способы замораживания продуктов, плотность теплового потока, коэффициент теплоотдачи.

Цитирование. Неверов Е. Н., Короткий И. А., Лифенцева Л. В., Расщепкин А. Н. Исследование режимов замораживания растительной продукции диоксидом углерода. *Известия НВ АУК*. 2021. 1(61). 326-337. DOI: 10.32786/2071-9485-2021-01-31.

Авторский вклад. Все авторы настоящего исследования принимали непосредственное участие в планировании, выполнении или анализе данного исследования. Все авторы настоящей статьи ознакомились и одобрили представленный окончательный вариант.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение. Рынок промышленного производства замороженной растительной продукции в России растет колоссальными темпами. В развитие ферм и закупку оборудования для выращивания грибов, цветной капусты и другой растительной продукции бизнес инвестирует миллиарды рублей [3].

Рынок промышленного производства такой продукции в России до 2012 года находился в застое и производил менее 18 % общего объема. За последние пять лет в стране заключили десятки контрактов на поставку оборудования, что вызвало двукратный рост рынка. Причиной роста стало продовольственное эмбарго, введенное в 2014 году [2, 9].

С этого момента наблюдается тенденция роста развития данной отрасли в России. В 2017 году на ежегодном мероприятии под названием «Дни российского грибоводства» голландская компания «Christiaens Group» совместно со своим российским партнером «Интерагро» подписала несколько соглашений о строительстве первых грибных комплексов полного цикла на территории России.

Количественный рывок был сделан в 2018 году. Он знаменателен введением в России трёх крупных производств: «Грибная радуга» в Курске, «Тандер» и «Русский гриб» в Краснодарском крае. По данным Росстата, за весь 2018 год крупные и мелкие хозяйства России поставили на рынок 16 088 тонн грибов и около 9000 тонн цветной капусты. По сравнению с 2017 годом прирост составил 66,2 %.

В отрасли происходит переломный момент. Европейские производители окончательно поняли: у подобных производств в России есть колоссальные перспективы, что доказывает сама динамика роста. Одновременно имеется неподдельный интерес к отрасли со стороны Министерства сельского хозяйства РФ и региональных властей [2].

В связи с этим производители растительной продукции стремятся найти более эффективные способы хранения готовой продукции. Низкие температуры приостанавливают развитие микроорганизмов и разложение питательных веществ. Замораживание и хранение при температурах около минус 18 °С и ниже – один из эффективных методов консервирования, хотя этот метод хранения более энергоемкий, чем классическое консервирование, но при правильном ведении процесса, замораживание позволяет сохранять в плодовых телах все ценные питательные компоненты. Цвет и форма их практически не изменяются на протяжении длительного времени.

Быстрый метод замораживания применим практически ко всем продуктам питания: мясу, рыбе, полуфабрикатам, яйцам и молочным продуктам, растительным и животным жирам и т.д. Данный способ обработки сохраняет в продуктах их пищевую ценность и качество. Шоковая заморозка и охлаждение сухим льдом позволяет реализовать товар на протяжении всего года в магазинах и супермаркетах [1, 9].

Наиболее передовым является замораживание с применением диоксида углерода. Данный способ замораживания значительно расширяет возможности холодильного хранения в производственных и бытовых условиях пищевых продуктов.

Материалы и методы. С целью изучения возможности применения диоксида углерода для холодильного хранения растительной продукции были проведены серии исследований, в которых CO₂ применяли как в снегообразном, так и в газообразном состоянии. Для проведения исследований был разработан экспериментальный стенд, который позволяет проводить контроль изменения температуры и плотности теплового потока растительной продукции в широком диапазоне температур, а также контролировать продолжительность холодильной обработки и массовый расход диоксида угле-

рода при замораживании.

В качестве образцов использовали грибы шампиньоны и цветную капусту, т.к. срок хранения данных продуктов в свежем виде небольшой. Шампиньоны могут храниться в охлажденном состоянии от 2 до 3 суток в открытом виде. Срок хранения цветной капусты составляет около 10-14 дней. Также эти продукты схожи по форме.

Был исследован процесс замораживания грибов шампиньонов массой 1200 грамм в среде газообразного и снегообразного диоксида углерода с температурой минус 78 ± 2 °С. Начальная температура продуктов составляла 16 °С, а толщина вместе с ножкой подбиралась равной $30 \div 32$ мм. По толщине гриба были установлены три термодатчики. Первая – на поверхности, вторая – в его ножке и третья – в центре шляпки гриба.

Продукты укладывали в один ряд на поддоне, помещали в теплоизолированный контейнер, куда вводили газообразный диоксид углерода или перекладывали снегообразным диоксидом углерода. На поверхности был установлен датчик для измерения плотности теплового потока.

Основным экспериментальным материалом служили термограммы процесса, значение плотности теплового потока и значение коэффициента теплоотдачи.

Результаты и обсуждение. В результате проведенного исследования были построены термограммы процесса замораживания грибов шампиньонов и цветной капусты в среде газообразного и снегообразного диоксида углерода с температурой минус 78 ± 2 °С.

На рисунке 1 представлена термограмма процесса замораживания шампиньона в среде газообразного диоксида углерода с температурой минус 78 ± 2 °С.

Анализ термограммы показал, что поверхность гриба замораживается более интенсивно, в то время как ножка замораживается несколько медленнее, а самое продолжительное время замораживания происходит в толще шляпки гриба. Продолжительность замораживания шампиньонов в среде газообразного диоксида углерода составило 30 минут.

Из графиков замораживания видно, что на поверхности продукта начиная с 1 по 5 минуту происходит резкое снижение температуры, что связано с разницей начальной температуры продукта и температуры охлаждаемой среды. Начиная с 6 минуты температура на поверхности продукта плавно понижалась без каких-либо скачков до температуры минус 37 °С.

В ножке грибы с 1 по 6 минуту температура резко понизилась от начальной до минус 2 °С. Начиная с 7 минуты темп снижения температуры уменьшился. Замедление снижения температуры длилось 11 минут (с 7 по 18 минуты), температура изменялась на 1 °С, а затем с 19 минуты идет более резкое понижение температуры до минус 24 °С.

Рисунок 1 – Термограмма процесса замораживания шампиньона в среде газообразного диоксида углерода с температурой минус 78 ± 2 °C

Figure 1 – Thermogram of the champignon freezing process in the atmosphere of gaseous carbon dioxide with a temperature of minus 78 ± 2 °C

В центре шляпки гриба резкое снижение температуры длилось 7 минут. А затем с 8 по 18 минуту идет замедление темпа снижения температуры. После чего температура плавно снижалась на 1 °C до 12 минуты. С 19 по 22 минуту температура практически не изменялась и находилась в пределах минус 5 °C.

Это связано с достижением криоскопической температуры в толще шляпки гриба. Переход воды в лед сопровождается вымораживанием влаги и увеличением концентрации минералов, растворенных в воде содержавшего продукта, что сильно влияет на скорость кристаллообразования. С 23 минуты начинается более резкое понижение температуры до минус 19 °C, что говорит о существенном переходе воды в лед.

Также из графика видно, что продукт замораживается с разной скоростью. Это связано с интенсивностью теплообмена и изменением концентрации при кристаллообразовании в тканях продукта.

При дефростации грибов масса продукта составила 1000 граммов, что показывает усушку продукта на 200 граммов, при этом расход диоксида углерода на замораживание составил 300 граммов.

Максимальное значение плотности теплового потока на наружной поверхности гриба $q_{\max} = 830$ Вт/м², данная величина достигнута в первоначальный момент времени, когда разница температур между охлаждающей средой и температурой охлаждаемого объекта максимальна, что показывает интенсивный процесс теплоотвода от поверхности продукта, а следовательно, и максимальную плотность теплового потока.

При дальнейшем снижении температуры наблюдается падение плотности теплового потока и в конце процесса замораживания приближается к минимальным значениям.

Максимальное значение коэффициента теплоотдачи рассчитывали, используя экспериментально полученное значение максимальной плотности теплового потока, связан-

ное зависимостью (1):

$$\alpha_{max} = \frac{q}{t_{п} - t_{ср}}, \quad (1)$$

где $t_{п}$, $t_{ср}$ – температура, соответственно, поверхности образца и охлаждающей среды, °C [7].

Максимальный коэффициент теплоотдачи получили равным $\alpha_{max} = 22,37 \text{ Вт/м}^2\text{К}$.

На рисунке 2 представлена термограмма процесса замораживания шампиньонов в среде снегообразного диоксида углерода с температурой минус $78 \pm 2^\circ\text{C}$.

Анализ термограммы показал, что продолжительность замораживания шампиньонов в среде снегообразного диоксида углерода составила 20 минут.

Из графиков видно, что начиная с 1 по 5 минуту происходит резкое снижение температуры не только на поверхности шляпки гриба, но и в его ножке и в центре шляпки. Начиная с 6 минуты, температура на поверхности продукта плавно понижалась в течение 5 минут, без каких-либо существенных колебаний, а с 12 минуты наблюдается резкое понижение температуры до минус 30°C . Темп снижения температуры в ножке гриба и центре шляпки сильно замедлился начиная с 6 минуты. В ножке гриба замедление снижения температуры длилось в течение 5 минут (с 6 по 10 минуты).

Рисунок 2 – Термограмма процесса замораживания шампиньона в среде снегообразного диоксида углерода с температурой минус $78 \pm 2^\circ\text{C}$

Figure 2 – Thermogram of the champignon freezing process in the environment of snow-like carbon dioxide with a temperature of $\text{minus } 78 \pm 2^\circ\text{C}$

Температура находилась в пределах минус 1°C , после чего с 11 минуты происходит резкое понижение температуры в течение 1 минуты до минус 3°C . Начиная с 13 минуты наблюдается резкое понижение температуры до температуры минус 19°C .

В центре шляпки гриба начиная с 8 минуты температура не изменялась в течение 3 минут и находилась на уровне минус 2°C , что соответствует образованию криоскопической площадки в центре шляпки гриба, а затем, начиная с 11 минуты, происходит резкое понижение температуры до минус 22°C , что соответствует льдообразованию.

Из термограммы видно, что продукт замораживается с разной скоростью, но имеет не такой сильный разброс температур, как замораживание в среде газообразного

диоксида углерода.

При дефростации грибов масса продукта составила 1100 грамм, что показывает усушку продукта на 100 грамм. Расход диоксида углерода составил 190 грамм.

Максимальное значение плотности теплового потока на наружной поверхности гриба $q_{\max} = 2795 \text{ Вт/м}^2$.

Максимальный коэффициент теплоотдачи получили равным $\alpha_{\max} = 31,87 \text{ Вт/м}^2\text{К}$.

Проанализировав термограмму замораживания грибов в среде газообразного и снегообразного диоксида углерода, можем сделать вывод, что интенсивность замораживания в среде снегообразного диоксида углерода гораздо выше, чем в среде газообразного диоксида углерода.

Рисунок 3 – Термограмма процесса замораживания цветной капусты в среде газообразного диоксида углерода с температурой минус $78 \pm 2 \text{ }^{\circ}\text{C}$

Figure 3 – Thermogram of the cauliflower freezing process in the atmosphere of gaseous carbon dioxide with a temperature of minus $78 \pm 2 \text{ }^{\circ}\text{C}$

Это объясняется тем, что снегообразный диоксид углерода обладает наилучшими термодинамическими свойствами, что существенно влияет на процесс замораживания. О чем показывает площадка криоскопической температуры, которая была достигнута на 12 минут раньше, чем в среде газообразного диоксида углерода.

Об интенсивности процесса замораживания в среде снегообразного диоксида углерода свидетельствуют максимальное значение плотности теплового потока на наружной поверхности гриба и значение максимального коэффициента теплоотдачи.

Плотность теплового потока увеличилась в 3,37 раз, а коэффициент теплоотдачи – в 1,42 раза. Продолжительность процесса замораживания сократилась в 1,5 раза. А это существенно влияет на усушку продукта, которая уменьшилась в среде снегообразного диоксида углерода ровно наполовину.

На рисунке 3 представлена термограмма процесса замораживания цветной капусты в среде газообразного диоксида углерода с температурой минус $78 \pm 2 \text{ }^{\circ}\text{C}$. Масса

цветной капусты 1200 грамм.

Три термопары были установлены в геометрическом центре продукта (на глубине 10 мм), в толще (на глубине 5 мм) и в подкожном слое. Датчик для измерения плотности теплового потока был установлен на поверхности цветной капусты.

Анализ термограммы показал, что поверхность цветной капусты замораживается более интенсивно, в то время как процесс замораживания в геометрическом центре и в толще капусты проходит гораздо медленнее. Продолжительность замораживания цветной капусты в среде газообразного диоксида углерода составила 50 минут.

Из графиков замораживания видно, что на поверхности продукта начиная с 1 по 7 минуту происходит резкое снижение температуры с 16 °С до минус 16 °С. Это, также как и в предыдущем эксперименте, связано с разницей начальной температуры продукта и температурой охлаждаемой среды, которая в начальный момент времени максимальна.

Начиная с 8 по 31 минуту температура на поверхности продукта плавно понижается, без каких-либо существенных колебаний и находится в пределах минус 18 °С ÷ минус 24 °С, после чего с 32 по 50 минуту происходит резкое падение температуры до минус 50 °С.

В толще, на глубине 5 мм, с 1 по 17 минуту температура в первоначальный момент времени резко понизилась до минус 1 °С. Начиная с 18 по 30 минуту темп снижения температуры не изменился и находился в пределах минус 2 °С, затем с 31 по 50 минуту происходит резкое снижение температуры до минус 26 °С.

В геометрическом центре капусты, на расстоянии 10 мм, также происходит резкое снижение температуры от начальной до минус 2 °С. Это снижение температуры составило 18 минут. А затем с 19 по 32 температура не изменялась и находилась в пределах минус 2 °С, что можно связать с достижением криоскопической температуры в геометрическом центре на толщине 10 мм.

Далее с 33 по 38 минуту идет плавное понижение температуры до минус 5 °С и с 39 минуты происходит более интенсивное снижение температуры до минус 21 °С. Также из графика видно, что продукт замораживается с разной скоростью.

При дефростации цветной капусты масса продукта составила 950 грамм, что показывает усушку продукта на 250 грамм, а расход диоксида углерода составил 280 грамм.

Максимальное значение плотности теплового потока на наружной поверхности цветной капусты $q_{\max} = 600 \text{ Вт/м}^2$.

Максимальный коэффициент теплоотдачи получили равным $\alpha_{\max} = 15,68 \text{ Вт/м}^2\text{К}$.

На рисунке 4 представлена термограмма процесса замораживания цветной капусты в среде снегообразного диоксида углерода.

Анализ термограммы показал, что продолжительность замораживания цветной капусты в среде снегообразного диоксида углерода составила 34 минуты.

Из графиков видно, что на поверхности продукта начиная с 1 по 6 минуту происходит резкое снижение температуры до минус 4 °С. Начиная с 7 минуты, температура плавно понижается в течение 18 минут до минус 9 °С. Затем, начиная с 26 минуты, происходит резкое понижение температуры до минус 28 °С.

Темп снижения температуры в толще капусты на глубине 5 мм и в геометрическом центре на глубине 10 мм практически идет одинаково. С 1 по 9 минуту сопровождается резким понижением температуры от начальной до минус 2 °С, а затем по 24 минуту в толще на глубине 5 мм происходит замедление снижения температуры в течение 15 минут.

Рисунок 4 – Термограмма процесса замораживания цветной капусты в среде снегообразного диоксида углерода с температурой минус 78 ± 2 °C

Figure 4 – Thermogram of the cauliflower freezing process in the environment of snow-like carbon dioxide with a temperature of minus 78 ± 2 °C

Температура плавно понижается до минус 7 °C, а начиная с 25 минуты происходит резкое падение температуры до минус 20 °C.

В геометрическом центре цветной капусты на глубине 10 мм, начиная с 10 по 12 минуту, происходит небольшое повышение температуры до -1 °C. Это объясняется выделением скрытой теплоты кристаллизации. После чего с 13 минуты температура продолжает понижаться до минус 2 °C и остается постоянной в течение 4 минут. Вырисовывается площадка, соответствующая криоскопической температуре.

Начиная с 17 минуты, температура плавно понижается до минус 3 °C в течение 5 минут, а затем происходит резкое снижение температуры до минус 29 °C, что соответствует процессу замораживания.

При дефростации цветной капусты масса продукта составила 1070 граммов, что показывает усушку продукта на 130 граммов. Расход диоксида углерода составил 160 граммов.

Максимальное значение плотности теплового потока на наружной поверхности цветной капусты $q_{\max} = 1875$ Вт/м².

Максимальный коэффициент теплоотдачи получили равным $\alpha_{\max} = 20,90$ Вт/м²К.

Анализ термограммы замораживания цветной капусты в среде газообразного и снегообразного диоксида углерода подтвердил, что интенсивность процесса замораживания в среде снегообразного диоксида углерода гораздо выше. Продолжительность замораживания сократилась в 1,47 раз. Усушка продукта уменьшилась почти в 2 раза.

Максимальное значение плотности теплового потока увеличилось в 3 раза, а максимальное значение коэффициента теплоотдачи увеличилось в 1,33 раза.

Площадка криоскопической температуры образовалась на 6 минут раньше, что говорит об интенсивности процесса в среде снегообразного диоксида углерода.

Выводы. Таким образом, можно сделать вывод, что замораживание растительной продукции в среде диоксида углерода позволяет интенсифицировать процесс замораживания в отличие от традиционных способов.

При замораживании растительной продукции в среде снегообразного диоксида углерода снижается массовый расход диоксида углерода, сокращается продолжительность замораживания, что приводит к увеличению оборачиваемости скороморозильных аппаратов, кроме того, при использовании снегообразного CO₂ происходит снижение потери влаги при размораживании продукта.

Библиографический список

1. Берестова А. В., Зинюхин Г. Б., Манеева Э. Ш. Особенности криообработки растительного сырья // Вестник Оренбургского государственного университета. Оренбург, 2015. С. 130-136.
2. Исследование параметров процесса теплообмена при сублимации диоксида углерода / Е. Н. Неверов, И. А. Короткий, И. Б. Плотников, П. С. Коротких, А. А. Кожаев // Вестник КрасГАУ. 2020. № 6. С. 215-220.
3. Неверов Е. Н. Аппарат для холодильной обработки пищевых продуктов с рециркуляцией диоксида углерода // Вестник Международной академии холода. 2016. № 1. С. 60-65.
4. Неверов Е. Н. Охлаждение рыбы снегообразным диоксидом углерода // Вестник Международной академии холода. 2014. № 2. С. 53-58.
5. Неверов Е. Н., Коротких П. С. Исследование процесса теплообмена при охлаждении форели с применением диоксида углерода // Техника и технология пищевых производств. 2019. Т. 49. № 3. С. 383-389.
6. Неверов Е. Н., Лифенцева Л. В., Усов А. В. Определение процессовых характеристик быстрого замораживания продуктов методом непрерывного и дискретного теплоотвода // Техника и технология пищевых производств. 2019. Т. 49. № 1. С. 104-112.
7. Неверов Е. Н. Анализ способов охлаждения неразделанной рыбы диоксидом углерода // Вестник Международной академии холода. 2018. № 2. С. 55-60.
8. Неверов Е. Н. Разработка и исследование режимов работы аппарата для охлаждения тушек птицы // Вестник КрасГАУ. 2016. № 2. С. 68-72.
9. Применение диоксида углерода для холодильной обработки мяса с высоким содержанием белка / Е. Н. Неверов, И. А. Короткий, П. С. Коротких, А. Н. Гринюк // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Сельскохозяйственные науки. 2020. № 3 (59). С. 281-288.
10. Neverov E. N., Korotkiy I. A., Korotkaya E. V. An investigation of the process of producing the snow carbon dioxide // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2019.
11. Prospects for using pine nut products in the dairy industry / L. S. Dyshluka [et al.] // Open Access Foods and Raw Materials. 2018. Vol. 6. No. 2.
12. The Method of Carbon-Dioxide Recovery in Fish-Processing Industry / E. N. Neverov, I. A. Korotkiy, P. S. Korotkih [et al.] // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2019. Vol. 224. № 1.

Conclusions. Thus, we can conclude that freezing plant products in carbon dioxide allows you to intensify the freezing process, in contrast to traditional methods.

When freezing plant products in an environment of snow-like carbon dioxide, the mass consumption of carbon dioxide decreases, the duration of freezing decreases, which leads to an increase in the turnover rate of freezers, in addition, when using snow-like CO₂, there is a decrease in moisture loss during defrosting.

Reference

1. Berestova A. V., Zinyukhin G. B., Maneyeva E. Sh. Features of cryoprocessing of vegetable raw // Bulletin of the Orenburg State University. Orenburg, 2015. P. 130-136.
2. Investigation of the parameters of the heat exchange process during sublimation of carbon dioxide / E. N. Neverov, I. A. Short, I. B. Plotnikov, P. S. Korotkikh, A. A. Kozhaev // Bulletin of KrasGAU. 2020. No. 6. P. 215-220.
3. Neverov E. N. Apparatus for refrigeration processing of food products with carbon dioxide recirculation // Bulletin of the International Academy of Cold. 2016. No. 1. P. 60-65.
4. Neverov E. N. Cooling fish with snow-like carbon dioxide // Bulletin of the International Academy of Cold. 2014. No. 2. P. 53-58.
5. Neverov E. N., Korotkikh P. S. Investigation of the process of heat exchange during cooling of trout using carbon dioxide // Technics and technology of food production. 2019. V. 49. No. 3. P. 383-389.
6. Neverov E. N., Lifentseva L. V., Usov A. V. Determination of the process characteristics of fast freezing of products by the method of continuous and discrete heat removal // Technics and technology of food production. 2019. V. 49. No. 1. P. 104-112.
7. Neverov E. N. Analysis of methods of cooling uncut fish with carbon dioxide // Bulletin of the International Academy of Cold. 2018. No. 2. P. 55-60.
8. Neverov E. N. Development and research of operating modes of the apparatus for cooling poultry carcasses // Bulletin of KrasGAU. 2016. No. 2. P. 68-72.
9. Application of carbon dioxide for refrigeration processing of meat with high protein content / E. N. Neverov, I. A. Short, P. S. Korotkikh, A. N. Grinyuk // Bulletin of the Lower Volga agro-university complex: Agricultural sciences. 2020. No. 3 (59). P. 281-288.
10. Neverov E. N., Korotkiy I. A., Korotkaya E. V. An investigation of the process of producing the snow carbon dioxide // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2019.
11. Prospects for using pine nut products in the dairy industry / L. S. Dyshluka [et al.] // Open Access Foods and Raw Materials. 2018. Vol. 6. No. 2.
12. The Method of Carbon-Dioxide Recovery in Fish-Processing Industry / E. N. Neverov, I. A. Korotkiy, P. S. Korotkikh [et al.] // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2019. Vol. 224. № 1.

Authors Information

Neverov Evgeniy Nikolayevich, Professor of the Department of Heating and Cooling Engineering of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Kemerovo State University» (RF, 650043, Kemerovo, Krasnaya str., 6), Doctor of Technical Sciences, tel. 89235215385, e-mail: neverov42@mail.ru

Korotkiy Igor Alekseevich, Head of the Department of Heating and Cooling Engineering of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Kemerovo State University», (RF, 650043, Kemerovo, Krasnaya st., 6), Doctor of Technical Sciences, tel. 7 (3842) 39-68-70, e-mail: krot69@mail.ru

Lifentseva Lyudmila Vladimirovna, Associate Professor of the Department of Heating and Cooling Engineering, Kemerovo State University, (RF, 650043, Kemerovo, Krasnaya st., 6), Ph.D., tel. 89043780815, e-mail: milka61-08@mail.ru

Raschepkin Alexander Nikolaevich, Professor of the Department of Heat and Cooling Engineering of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Kemerovo State University", (RF, 650043, Kemerovo, Krasnaya st., 6), Doctor of Technical Sciences, tel. 89134028736, e-mail: technoholod@mail.ru

Информация об авторах

Неверов Евгений Николаевич, профессор кафедры теплохладотехники ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет», (РФ, 650043, г. Кемерово, ул. Красная, 6), доктор технических наук, тел. 89235215385, e-mail: neverov42@mail.ru

Короткий Игорь Алексеевич, заведующий кафедрой теплохладотехники ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет», (РФ, 650043, г. Кемерово, ул. Красная, 6), доктор технических наук, тел. 7 (3842) 39-68-70, e-mail: krot69@mail.ru

******* ИЗВЕСТИЯ *******

**НИЖНЕВОЛЖСКОГО АГРОУНИВЕРСИТЕТСКОГО КОМПЛЕКСА:
НАУКА И ВЫСШЕЕ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЕ ОБРАЗОВАНИЕ**

№ 1 (61), 2021

Лифенцева Людмила Владимировна, доцент кафедры теплохладотехники ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет», (РФ, 650043, г. Кемерово, ул. Красная, 6), кандидат технических наук, тел. 89043780815, e-mail: milka61-08@mail.ru

Расщепкин Александр Николаевич, профессор кафедры теплохладотехники ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет», (РФ, 650043, г. Кемерово, ул. Красная, 6), доктор технических наук, тел. 89134028736, e-mail: technoholod@mail.ru