СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫЕ НАУКИ. ВЕТЕРИНАРИЯ И ЗООТЕХНИЯ

DOI: 10.32786/2071-9485-2020-03-30

APPLICATION OF CARBON DIOXIDE FOR REFRIGERATED PROCESSING OF MEAT WITH A HIGH PROTEIN CONTENT

E. N. Neverov, I. A. Korotkiy, P. S. Korotkikh, A. N. Grinyuk

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

Received 31.01.2020

Submitted 25.08.2020

Summary

The article provides an analysis of modern methods of freezing meat with a high protein content, considers their advantages and disadvantages, and identifies the most promising one. The possibility of using various refrigerants and cryoagents for contact freezing of meat with a high protein content is also considered.

Abstract

Introduction. It has been established that modern methods of freezing food products based on the use of carbon dioxide are carried out due to direct contact of the product with carbon dioxide. During refrigeration processing, a low-temperature air, gas or liquid medium is supplied to the product. There is a possibility of creating a mixture of gas and solid CO₂ dispersed into it, to ensure the efficient use of the heat of sublimation of carbon dioxide and reduce its consumption. **Object.** The article provides an analysis of modern methods of freezing meat with a high protein content, considers their advantages and disadvantages, and identifies the most promising one. The possibility of using various refrigerants and cryoagents for contact freezing of meat with a high protein content is also considered. The analysis of the cost of freezing with various methods is carried out. **Materials and methods.** Various commercial types of produced carbon dioxide are considered. The advantages of carbon dioxide as a substance used in freezing meat with a high protein content are described. The data of experiments on freezing meat with a high protein content in a specially designed model of the apparatus are presented, the analysis of these data is carried out. Several operating modes of the apparatus are considered. **Results and Conclusions.** The most important result of the calculations was the revealed patterns of change in the parameters of the process of freezing meat with a high protein content when using carbon dioxide. The practical significance of the work is described, which is due to the need for effective development and improvement of the technology for freezing meat with a high protein content in order to achieve modern quality standards and the cost of products.

Key words: *freezing, carbon dioxide, protein, air-gas medium, temperature regime.*

Citation. Neverov E.N., Korotkiy I.A., Korotkikh P.S., Grinyuk A.N. Application of carbon dioxide for refrigerated processing of meat with a high protein content. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2020. 3(59). 281-288 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2020-03-30.

Author's contribution. All authors of this research paper have directly participated in the planning, execution, or analysis of this study. All authors of this paper have read and approved the final version submitted.

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

УДК 641.664

ПРИМЕНЕНИЕ ДИОКСИДА УГЛЕРОДА ДЛЯ ХОЛОДИЛЬНОЙ ОБРАБОТКИ МЯСА С ВЫСОКИМ СОДЕРЖАНИЕМ БЕЛКА

Е. Н. Неверов, доктор технических наук, профессор

И. А. Короткий, доктор технических наук, профессор

П. С. Коротких, аспирант

А. Н. Гринюк, аспирант

¹ ФГБОУ ВО Кемеровский государственный университет, г. Кемерово

Дата поступления в редакцию 31.01.2020

Дата принятия к печати 25.08.2020

Актуальность. Установлено, что современные методы замораживания пищевых продуктов, основанные на применении диоксида углерода, осуществляются за счет непосредственного контакта продукта с диоксидом углерода. В ходе холодильной обработки осуществляется подача на продукт низкотемпературной воздушной, газовой или жидкой среды. Существует возможность создания смеси из газа и диспергированного в нее твердого CO_2 , для обеспечения эффективного использования теплоты сублимации диоксида углерода и снижения его расхода.

Объект. В статье приведен анализ современных методов замораживания мяса с высоким содержанием белка, рассмотрены их достоинства и недостатки и выявлен наиболее перспективный. Также рассмотрена возможность применения различных хладагентов и криоагентов для контактного замораживания мяса с высоким содержанием белка. Проведен анализ стоимости замораживания при различных методах. **Материалы и методы.** Рассмотрены различные коммерческие виды выпускаемого диоксида углерода. Описаны преимущества диоксида углерода как вещества, применяемого при замораживании мяса с высоким содержанием белка. Представлены данные экспериментов по замораживанию мяса с высоким содержанием белка, в специально разработанной модели аппарата, проведен анализ этих данных. Рассмотрены несколько режимов работы аппарата. **Результаты и выводы.** Наиболее важным результатом проведенных расчетов стали выявленные закономерности изменения параметров процесса замораживания мяса с высоким содержанием белка при использовании диоксида углерода. Описана практическая значимость работы, которая обусловлена необходимостью эффективного развития и совершенствования технологии замораживания мяса с высоким содержанием белка для достижения современных стандартов качества и стоимости производимой продукции.

Ключевые слова: замораживание мяса, диоксид углерода, холодильная обработка мяса, воздушно-газовая среда, хранение мяса.

Цитирование. Неверов Е. Н., Короткий И. А., Коротких П. С., Гринюк А. Н. Применение диоксида углерода для холодильной обработки мяса с высоким содержанием белка. *Известия НВ АУК*. 2020. 3(59). 281-288. DOI: 10.32786/2071-9485-2020-03-30.

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: На сегодняшний день в промышленности распространены методы замораживания мяса с высоким содержанием белка, в которых в качестве охлаждающей среды используется воздух, для охлаждения которого используют различные хладоны. Данные способы охлаждения обладают рядом недостатков, например: ухудшение внешнего вида товара при контактном методе, длительный период времени замораживания, поглощение значительного количества влаги. Эти отрицательные факторы приводят к потере качества продукта и к сокращению сроков годности [7, 13].

На сегодняшний день остро стоит вопрос разработки современных рабочих тел, отвечающих всем требованиям безопасности, а также пригодных для применения в пищевой холодильной промышленности. Полностью соответствует заявленным требованиям диоксид углерода. Аппараты, работа которых основана на применении диоксида углерода, отличаются простотой устройства и конструкции, экономичны в эксплуатации. Существуют как стационарные аппараты, так и аппараты, приспособленные для мобильного производства. Широкий диапазон регулирования температуры в рабочей зоне аппаратов (от минус 10 до минус 70 °С) позволяет замораживать различные продукты при заданных для них нормируемых температурных параметрах [1].

Материалы и методы. С целью исследования различных режимов работы аппарата по замораживанию мяса с высоким содержанием белка был разработан и собран экспериментальный стенд. На данном стенде был проведен ряд экспериментов по за-

мораживанию мяса с высоким содержанием белка. В качестве объектов исследования были выбраны тушки индейки. В результате чего были получены зависимости изменения температурного поля, плотности тепловых потоков, определены время замораживания и количество расходуемого CO_2 .

Результаты и обсуждение. В результате проведенного исследования выявлено, что для достижения заявленных сроков хранения необходимы следующие условия: хорошее качество исходного продукта, соблюдение температурного режима и заданной скорости движения воздушно-газовой среды. Таким образом, мясо, подвергнутое заморозке в среде диоксида углерода, сохраняет свои свойства значительно дольше во временном отношении в сравнении с замороженным мясом индейки, обработанным традиционным способом.

Эксперименты проводились при различных температурах в камере (минус 30°C , 50°C , 70°C) без принудительного движения воздушно-газовой среды CO_2 . Затем при тех же температурах, но скорости движения среды в камере $5 \pm 0,5$ м/сек.

В качестве объекта исследования служили тушки индейки массой $2,5 \pm 0,05$ кг.

Измерения осуществлялись с одной стороны тушки индейки при помощи трех термопар и датчика измерения плотности теплового потока. Термопары были установлены: во внутреннем слое (10 мм); в толще мяса (30 мм); на наружной поверхности (5 мм). Также для контроля температуры одна термопара была установлена в аппарате.

Термограмма процесса замораживания тушки индейки массой $2,5 \pm 0,05$ кг газообразным CO_2 и схема установки термопар, при температуре в аппарате $-50 \pm 2^\circ\text{C}$ представлена на рисунке 1.

Рисунок 1 – Термограмма процесса замораживания мяса индейки при температуре в аппарате $-50 \pm 2^\circ\text{C}$

Figure 1 – Thermogram of the process of freezing turkey meat at a temperature in the apparatus of $-50 \pm 2^\circ\text{C}$

Продолжительность холодильной обработки 35 минут, количество расходуемого диоксида углерода 5,3 кг. В конце процесса замораживания температура наружной поверхности достигла значения минус 21°C , температура внутренней поверхности установилась на уровне минус 18°C , а температура в центральной части тушки индейки достигает отметки минус 12°C .

При данных условиях нормируемая температура была достигнута во всех исследуемых слоях тушки индейки.

В процессе замораживания наружного слоя мяса происходит смещение границы незамерзших участков к центральному слою. Это способствует интенсификации теплоотвода из центрального слоя, температура в котором приближается к криоскопической, далее начинается кристаллообразование в центральной части.

На графике изменения плотности теплового потока четко виден этап замораживания внешнего слоя, который совпадает по временному показателю с охлаждением центрального слоя мяса. Интенсивность теплового потока и снижения температуры в этот период времени довольно высокие, так как продукт поступил на замораживание без предварительного охлаждения и разность температуры продукта и диоксида углерода максимальна. На следующем этапе продолжается умеренное снижение уровня теплового потока, но оно менее интенсивно, это связано с тем, что охлаждение центрального слоя практически закончено и в основном идет распространение замёрзшего внешнего слоя в глубину, при одновременном его домораживании. На заключительном этапе процесса замораживания теплоотвод происходит наименее интенсивно, так как следует домораживание продукта до заданной температуры.

Применение вынужденной конвекции позволит интенсифицировать процесс замораживания тушки индейки и сократить время, что позволит улучшить качество готового продукта [2, 8].

Для этого далее было проведено исследование процесса замораживания тушки индейки газообразным CO_2 при температуре в камере минус 50°C , и скорости движения воздушно-газовой смеси $5 \pm 0,5$ м/сек.

Рисунок 2 – График изменения плотности теплового потока при замораживании тушки индейки CO_2 при $t_k = \text{минус } 50 \pm 2^\circ\text{C}$ и скорости движения воздушно-газовой среды $5 \pm 0,5$ м/сек

Figure 2 – Graph of changes in the heat flux density when freezing a turkey carcass CO_2 at $t_c = \text{minus } 50 \pm 2^\circ\text{C}$ and the speed of the air-gas medium 5 ± 0.5 m/s

Начало процесса замораживания внутреннего слоя мяса до определенного момента проходит достаточно интенсивно. Так, на термограммах имеет место участок с близким к нулевому темпом замораживания. На криоскопическую температуру наибольшее влияние оказывают общее содержание влаги в мясе, доля свободной влаги, содержание минеральных солей и содержание органических кислот [14].

При достижении криоскопической температуры происходит значительное снижение темпа охлаждения. Это связано с началом процесса перехода воды в лед, что ведет к выделению скрытой теплоты. Из анализа диаграммы темпа замораживания можно определить температуру кристаллизации эвтектического раствора, которая находится в

диапазоне от минус 0,8 до минус 2 °С, что соответствует температуре фазового перехода для мясного сока. При данной температуре в водном растворе начинается процесс кристаллизации воды. Этому способствует клеточная диффузия влаги в межклеточном пространстве, которая проходит при неинтенсивном замораживании клеток. Для улучшения показателей процесса замораживания и улучшения качества конечного продукта важно, как можно быстрее преодолеть данную область, в которой происходит вымораживание значительной части воды, содержащейся в мясе [12].

Из эксперимента следует, что применение вынужденной конвекции способствует интенсификации процесса отведения теплоты в первые минуты холодильной обработки, и сделать процесс замораживания более равномерным, а значит снизить энергозатраты.

Результаты исследований по замораживанию мяса индейки при различных параметрах температуры и скорости движения воздуха приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты исследований по замораживанию мяса индейки при различных параметрах температуры и скорости движения воздушно-газовой среды

Table 1 – Results of research on freezing turkey meat at various parameters of temperature and speed of air-gas medium

V = 0 м/с / m/s			V = 5±0,5 м/с / m/s		
t (°C)	τ (мин) / min	m CO ₂ (кг) / kg	t _{кам} (°C)	τ (мин) / in	m CO ₂ (кг) / kg
-30	45	7,5	-30	40	6,5
-50	39	10	-50	33	9
-70	35	13,5	-70	31	12

Анализ экспериментального исследования показывает, что при температуре в камере минус 70 °С и скорости движения воздушно-газовой среды 5±0,5 м/сек под действием паров хладагента и интенсивной конвекции предварительное охлаждение и выравнивание температуры по объему продукта проходят наиболее быстро.

Процесс замораживания сопровождается перемещением растворенных веществ от наружного слоя к внутреннему, а воды – в противоположном направлении. Для обеспечения сохранности влаги в продукте необходимо обеспечить максимальную интенсивность отвода теплоты, так как в противном случае, скорости обменной диффузии будет превосходить темп продвижения границы замерзшего слоя вглубь тушки. Значительная часть влаги начнет перемещаться по направлению к поверхности продукта, что приведет к вымораживанию влаги из продукта.

Выводы. Эксперименты показали, что аппарат, использующий диоксид углерода и принудительную конвекцию, работает по принципу скороморозильных аппаратов, интенсивность понижения температуры в нем максимальна. Это позволяет значительно снизить усушку продукта, в сравнении с методами, основанными на воздушном охлаждении, и не позволяет повысить влагосодержание и намораживание льда на продукте, как это происходит при охлаждении водным льдом и дальнейшем замораживании в воздушной среде. Применение диоксида углерода позволяет максимально сохранить вкусовые качества продукта и его естественный цвет вследствие диффузии диоксида углерода внутрь продукта.

Мясо с высоким содержанием белка сохраняет свои полезные свойства в процессе заморозки, так как эти компоненты сохраняются и не теряют своих свойств. При этом срок хранения готового продукта значительно увеличивается, что важно по причине сравнительно высокой цены данного вида мяса, возможности транспортиров-

ки и реализации продукта значительно увеличиваются. Замораживание мяса в среде диоксида углерода позволяет значительно уменьшить эффект прогоркания жира, вызванный процессами естественного окисления веществ.

Библиографический список

1. Баркова В. Г., Величко Н. А., Иванова О. В. Разработка рецепта мясной и овощной пасты из мяса индейки // Вестник КрасГАУ. 2019. Вып. 5. С. 72-77.
2. Богатырев А. Н., Пряничникова Н. С., Макеева И. А. Натуральные продукты питания – здоровье нации // Пищевая промышленность. 2017. № 8. С. 26-29.
3. Герасименко Н. Ф., Позняковский В. М., Челнакова Н. Г. Здоровое питание и его роль в обеспечении качества жизни // Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК – продукты здорового питания. 2016. Т. 12. № 4. С. 52-57.
4. Иванов В. В., Овчинников А. С., Куприянова С. В. Агрономия методология устойчивого развития агропромышленного комплекса // Известия нижеволжского агроуниверситетского комплекса. 2019. № 4 (56). С. 82-88.
5. Использование нового пищевого ингредиента в производстве мясных продуктов функционального назначения / И. Ф. Горлов, М. И. Сложенкина, Ю. Д. Данилов, И. А. Семенова, А. С. Мирошник // Известия нижеволжского агроуниверситетского комплекса. 2018. № 4 (52). С. 162-168.
6. Ишевский А. Л. Замораживание как метод консервирования пищевых продуктов // 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>.
7. Ловкис З. В., Франко Е. П. Здоровье нации в здоровом питании // Пищевая промышленность: наука и технологии. 2014. Т. 24. № 2. С. 3-8.
8. Могильный М. П. Роль функциональных свойств белков в специальных видах питания // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. 2009. Т. 307. № 1. С. 51-54.
9. Неверов Е. Н. Исследование процесса охлаждения неповрежденной рыболовной форели углекислым газом // Ползуновский Вестник. 2017. № 2 (4). С. 83-89.
10. Неверов Е. Н. Применение углекислого газа для холодной переработки рыбы // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. 2016. № 4. С. 62-67.
11. 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.
12. Characteristics B. E., Argan O., Güneşer A. K. Production of Whey Powder Added Fruit Beverages and Some Quality // Turkish Journal of Agriculture – Food Science and Technology. 2015. Vol. 3. № 8. P. 651-658. DOI: <https://doi.org/10.24925/turjaf.v3i8.651-658.425>.
13. Method of carbon dioxide recovery in fish processing industry / E. N. Neverov, I. A. Korotkiy, P. S. Korotkikh, L. V. Lifentseva // IOP Conf. Ser.: Land of Envir. Sci. 2019. V. 224 (1).
14. Wildman R.E.C., Kelly M. Nutraceuticals and functional foods // Handbook of Nutraceuticals and Functional Foods. Boca Raton: CRC Press, 2007. P. 127-148.
15. Xiong Y. L. Muscle proteins // Proteins in Food Processing (Second Edition). Woodhead Publishing, 2018. P. 127-148. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100722-8.00006-1>.

Conclusions. Experiments have shown that the apparatus using carbon dioxide and forced convection operates on the principle of fast-freezing apparatus, the intensity of the temperature decrease in it is maximum. This makes it possible to significantly reduce the shrinkage of the product, in comparison with methods based on air cooling, and does not allow an increase in the moisture content and freezing of ice on the product, as happens when cooling with water ice and further freezing in air. The use of carbon dioxide allows you to maximally preserve the taste of the product and its natural color, due to the diffusion of carbon dioxide into the product.

Meat with a high protein content retains its useful properties during the freezing process, as these components are preserved and do not lose their properties. With this, the shelf

life of the finished product significantly increases, which is important because of the comparatively high price of this type of meat, the ability to transport and sell the product significantly increases. Freezing meat in an environment of carbon dioxide can significantly reduce the effect of fat burning caused by the processes of natural oxidation of substances.

Reference

1. Barkova V. G., Velichko N. A., Ivanova O. V. Development of a recipe for meat and vegetable paste from turkey meat // Bulletin of KrasGAU magazine. 2019. Iss. 5. P. 72-77.
2. Bogatyrev A. N., Pryanichnikova N. S., Makeeva I. A. Natural food products - the health of the nation // Food industry. 2017. No. 8. P. 26-29.
3. Gerasimenko N. F., Poznyakovskiy V. M., Chelnakova N. G. Healthy nutrition and its role in ensuring the quality of life // Technologies of food and processing industries of the agro-industrial complex - healthy food products. 2016. V. 12. No. 4. P. 52-57.
4. Ivanov V. V., Ovchinnikov A. S., Kupriyanova S. V. Agronomy methodology of sustainable development of the agro-industrial complex // Bulletin of the Nizhnevolzhsky agro-university complex. 2019. No. 4 (56). P. 82-88.
5. The use of a new food ingredient in the production of functional meat products / I. F. Gorlov, M. I. Slozhenkina, Yu. D. Danilov, I. A. Semenova, A. S. Miroshnik // Bulletin of the Nizhnevolzhsky agricultural university complex. 2018. No. 4 (52). P. 162-168.
6. Ishevsky A. L. Freezing as a method of food preservation // Theory and practice of meat processing. 2017. V. 2. No. 2. P. 43-59. DOI: <https://doi.org/10.21323/2414-438X-2017-2-2-43-59>.
7. Lovkis Z. V., Franko E. P. The health of the nation in a healthy diet // Food industry: science and technology. 2014. V. 24. No. 2. P. 3-8.
8. Mogilny M. P. The role of functional properties of proteins in special types of nutrition // News of higher educational institutions. Food technology. 2009. V. 307. No. 1. P. 51-54.
9. Neverov E. N. Investigation of the process of cooling intact fishing trout with carbon dioxide // Polzunovsky Bulletin. 2017. N 2 (4). P. 83-89.
10. Neverov E. N. The use of carbon dioxide for the cold processing of fish // Bulletin of Krasnoyarsk State Agrarian University. 2016. N 4. P. 62-67.
11. 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.
12. Characteristics B. E., Argan O., Güneşer A. K. Production of Whey Powder Added Fruit Beverages and Some Quality // Turkish Journal of Agriculture – Food Science and Technology. 2015. Vol. 3. № 8. P. 651-658. DOI: <https://doi.org/10.24925/turjaf.v3i8.651-658.425>.
13. Method of carbon dioxide recovery in fish processing industry / E. N. Neverov, I. A. Korotkiy, P. S. Korotkikh, L. V. Lifentseva // IOP Conf. Ser.: Land of Envir. Sci. 2019. V. 224 (1).
14. Wildman R.E.C., Kelly M. Nutraceuticals and functional foods // Handbook of Nutraceuticals and Functional Foods. Boca Raton: CRC Press, 2007. P. 127-148.
15. Xiong Y. L. Muscle proteins // Proteins in Food Processing (Second Edition). Woodhead Publishing, 2018. P. 127-148. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100722-8.00006-1>.

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

Korotkih Pavel Sergeevich, Assistant 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), tel. 89059124022, e-mail: korotkix42@gmail.com

Grinyuk Alexey Nikolaevich, Postgraduate student 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), tel. 89049903243, e-mail: jettastream@inbox.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

Коротких Павел Сергеевич, ассистент кафедры теплохладотехники ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет», (РФ, 650043, г. Кемерово, ул. Красная, 6), тел. 89059124022, e-mail: korotkix42@gmail.com

Гринюк Алексей Николаевич, аспирант кафедры теплохладотехники ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет», (РФ, 650043, г. Кемерово, ул. Красная, 6), тел. 89049903243, e-mail: jettastream@inbox.ru