

УДК 637.5'6:543.272.62

## Охлаждение продукции животного происхождения в воздушно-газовой среде диоксида углерода

Н. Э. Алдаматов\*, С. А. Бредихин, Е. Н. Неверов

\*Российский государственный аграрный университет – Московская сельскохозяйственная академия им. К. А. Тимирязева, г. Москва, Россия;

e-mail: [Status\\_Diamond@bk.ru](mailto:Status_Diamond@bk.ru), ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-1492-4508>

### Информация о статье Реферат

Поступила  
в редакцию  
20.06.2024;

получена  
после доработки  
15.07.2024;

принята  
к публикации  
10.09.2024

### Ключевые слова:

холодильная техника,  
углекислый газ,  
диоксид углерода,  
пищевая  
промышленность,  
сублимация

В нашей стране, как и во всем мире в целом, уделяется особое внимание поиску более современных, энергоэффективных и экологически безопасных способов охлаждения пищевых продуктов, в том числе продукции животного происхождения. Основой большинства технологических процессов холодильной обработки являются рабочие тела, в качестве которых могут выступать природные или синтетические вещества. Ввиду негативного воздействия синтетического сырья на окружающую природную среду предпочтение отдается веществам естественного происхождения. Наибольший интерес в последние двадцать лет в мировом сообществе холодильной техники и технологии проявляется к углекислому газу. Данный холодильный агент активно применяется в традиционных парокомпрессионных холодильных машинах (ПКХМ). В Российской Федерации углекислый газ в качестве рабочего вещества в замкнутых циклах холодильных машин встречается на объектах промышленного назначения, работа которых основана на каскадных циклах. При этом углекислота выступает рабочим веществом нижнего каскада, поскольку относится к холодильным агентам высокого давления. До 2022 г. также активно развивались ПКХМ на основе углекислого газа на транскритических температурных уровнях, где температура конденсации диоксида углерода близка к температурам окружающей среды. В данном исследовании диоксид углерода будет рассматриваться в качестве хладагента при его взаимодействии с продуктом в воздушно-газовой среде во время сублимации, при котором углекислота меняет свое агрегатное состояние из снегообразного в газообразное.

### Для цитирования

Алдаматов Н. Э. и др. Охлаждение продукции животного происхождения в воздушно-газовой среде диоксида углерода. Вестник МГТУ. 2024. Т. 27, № 4. С. 611–620. DOI: <https://doi.org/10.21443/1560-9278-2024-27-4-611-620>.

## Cooling of animal products in an air-gas environment of carbon dioxide

Nursultan E. Aldamatov\*, Sergey A. Bredihin, Evgeniy N. Neverov

Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russia;

e-mail: [Status\\_Diamond@bk.ru](mailto:Status_Diamond@bk.ru), ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-1492-4508>

### Article info

Received  
20.06.2024;

received  
in revised form  
15.07.2024;

accepted  
10.09.2024

### Key words:

refrigeration,  
carbon dioxide,  
food industry,  
sublimation

### Abstract

In our country, as well as throughout the world, special attention is paid to finding more modern, energy-efficient and environmentally friendly methods of cooling food products, including animal ones. The basis of most technological processes of refrigeration treatment is working fluids, which can be natural or synthetic substances. Due to the negative impact of synthetic raw materials on the environment, preference is given to substances of natural origin. The greatest interest in the last twenty years in the world community of refrigeration equipment and technology is shown to carbon dioxide. This refrigerant is actively used in traditional vapor-compression refrigeration machines. In Russia carbon dioxide as a working substance in closed cycles of refrigeration machines is found at industrial facilities whose operation is based on cascade cycles. In this case, carbon dioxide acts as a working substance of the lower cascade, since it belongs to high-pressure refrigerating agents. Until 2022, carbon dioxide-based refrigerants were also actively developed at transcritical temperature levels, where the condensation temperature of carbon dioxide is close to ambient temperatures. In this study, carbon dioxide will be considered as a refrigerant when it interacts with the product in an air-gas environment during sublimation, in which carbon dioxide changes its aggregate state from snow-like to gaseous.

### For citation

Aldamatov, N. E. et al. 2024. Cooling of animal products in an air-gas environment of carbon dioxide. *Vestnik of MSTU*, 27(4), pp. 611–620. (In Russ.) DOI: <https://doi.org/10.21443/1560-9278-2024-27-4-611-620>.

## Введение

В последние годы наша планета столкнулась с двумя основными проблемами, связанными с хладагентами, это разрушение озонового слоя и глобальное потепление. Шагом вперед стала замена хлорфторуглеродов (ХФУ) и гидрохлорфторуглеродов (ГХФУ) на фторуглероды, которые являются продуктами искусственного происхождения и обладают относительно низким потенциалом разрушения стратосферного озона. Однако это не помогает снизить скорость глобального потепления, поскольку прямой вклад этих хладагентов остается. Именно по этой причине научное сообщество рассматривает возможность использования альтернативных природных веществ и других хладагентов с минимальным потенциалом глобального потепления и нулевым потенциалом разрушения озонового слоя (Алдаматов и др., 2023а).

Одними из перспективных направлений, разрабатываемых в холодильной технологии в настоящее время, являются методы, основанные на применении диоксида углерода и позволяющие использовать его в качестве хладоносителя с его последующей утилизацией. К такому направлению можно отнести применение диоксида углерода для транспортировки охлажденных и замороженных пищевых продуктов. Введение Монреальского и Киотского протоколов по вопросу защиты окружающей среды оказало существенное влияние на развитие данного направления. Также в настоящее время остановлено производство хлор- и бромсодержащих хладонов, попадание которых в окружающую среду наносит большой вред экологии, поэтому их применение в холодильных системах законодательно ограничено. В связи с этим многие производители холодильного оборудования, в том числе и используемого для транспортировки пищевых продуктов, рассматривают возможность работы своих систем на альтернативных – "природных" – хладагентах, одним из которых является диоксид углерода (Неверов и др., 2022).

## Материалы и методы

Существуют различные способы охлаждения пищевых продуктов при помощи углекислого газа: охлаждение при непосредственном контакте снегообразного  $\text{CO}_2$  с поверхностью продукта (Неверов и др., 2015б; Коротких и др., 2019), с подачей снегообразной углекислоты во внутреннюю полость продукта (Буянов и др., 2011б; Неверов, 2014), с нанесением снега как на поверхность, так и во внутреннюю полость мясных продуктов (Буянов и др., 2011а; Буянов и др., 2006; Неверов, 2015), с применением смеси водного льда и снегообразного диоксида углерода (Башильков и др., 2018) и т. д.

Понижение температуры продукта при непосредственном контакте с хладагентом является эффективным процессом при необходимости интенсивного теплоотвода за короткий временной промежуток, например при замораживании. Достигается это за счет температуры "сухого льда"<sup>1</sup>, которая составляет  $-78,3\text{ }^\circ\text{C}$ , и удельной теплоемкости снегообразной углекислоты, равной  $1\ 380\ \text{Дж}/(\text{кг}\cdot\text{K})^2$ .

Исследования показывают, что охлаждение при непосредственном контакте снегообразного рабочего вещества с продуктом приводит к подмораживанию поверхностных слоев при чрезмерном количестве диоксида углерода. Поэтому охлаждение при контакте со снегом следует осуществлять при строгом контроле количества подаваемого углекислого газа на поверхность продукта. Аналогичная ситуация происходит при подаче углекислоты во внутреннюю полость. Количество поступающего снега должно соответствовать количеству охлаждаемого продукта. При расчетном количестве подаваемого диоксида углерода подмораживание не наблюдается благодаря создаваемой воздушной пленке на поверхности продукта, которая защищает его от низкотемпературного "ожога" и сохраняет товарный вид сырья (Гринюк и др., 2018).

Целью статьи является анализ различных способов охлаждения пищевых продуктов при сублимации диоксида углерода в воздушно-газовой среде 1) с естественной конвекцией, 2) принудительной конвекцией и 3) наличием холодильной машины с принудительным движением воздушно-газовой среды.

Результатом анализа данных способов будет определение теоретической эффективности их достоинств, недостатков, степени применимости в тех или иных областях пищевой промышленности.

## Результаты и обсуждение

При теплообмене сублимирующей углекислоты с естественной конвекцией воздушно-газовой среды рассмотрен процесс охлаждения тушек кролика в установке для транспортировки продуктов в среде диоксида углерода (рис. 1) (Установка..., 2020).

Внутренняя обшивка корпуса изготовлена из листовой нержавеющей стали, разрешенной к применению в пищевой промышленности, а наружная обшивка корпуса – из листового алюминия. Между обшивками уложена теплоизоляция (1). Внутренняя часть корпуса установки разделена на отсеки (2), в которые подается снегообразная углекислота, преобразующаяся из жидкой фазы в форсунках (3). Подача жидкой углекислоты осуществляется через вентиль (4) из баллонов, предусмотренных в кузове транспортного средства.

<sup>1</sup> Углекислый газ, он же углекислота, он же двуокись углерода. URL: <https://weldering.com/uglekislyy-gaz-uglekislota-dvuokis-ugleroda> (Дата обращения: 05.05.2024).

<sup>2</sup> Удельная теплоемкость сухого льда. URL: <https://www.center-pss.ru/math/teploemkost/suhoiliod.htm> (Дата обращения: 06.05.2024).

По периметру корпуса установки расположены роликовые направляющие (5) для перемещения стальных ящиков (6) с теплоизолированными днищами, в которые предварительно загружается продукт (7). С целью предотвращения поступления теплопритоков извне внутренняя полость двери (9) корпуса установки также заполнена теплоизолированным материалом. Для равномерной подачи снегообразного диоксида углерода в каждую из полостей отсеков внутри последних установлены ряды форсунок, расположенных по всей длине отсеков (соответственно, по всей длине корпуса установки). Распределение диоксида углерода по рядам форсунок в отсеках происходит по распределительным трубопроводам (8).

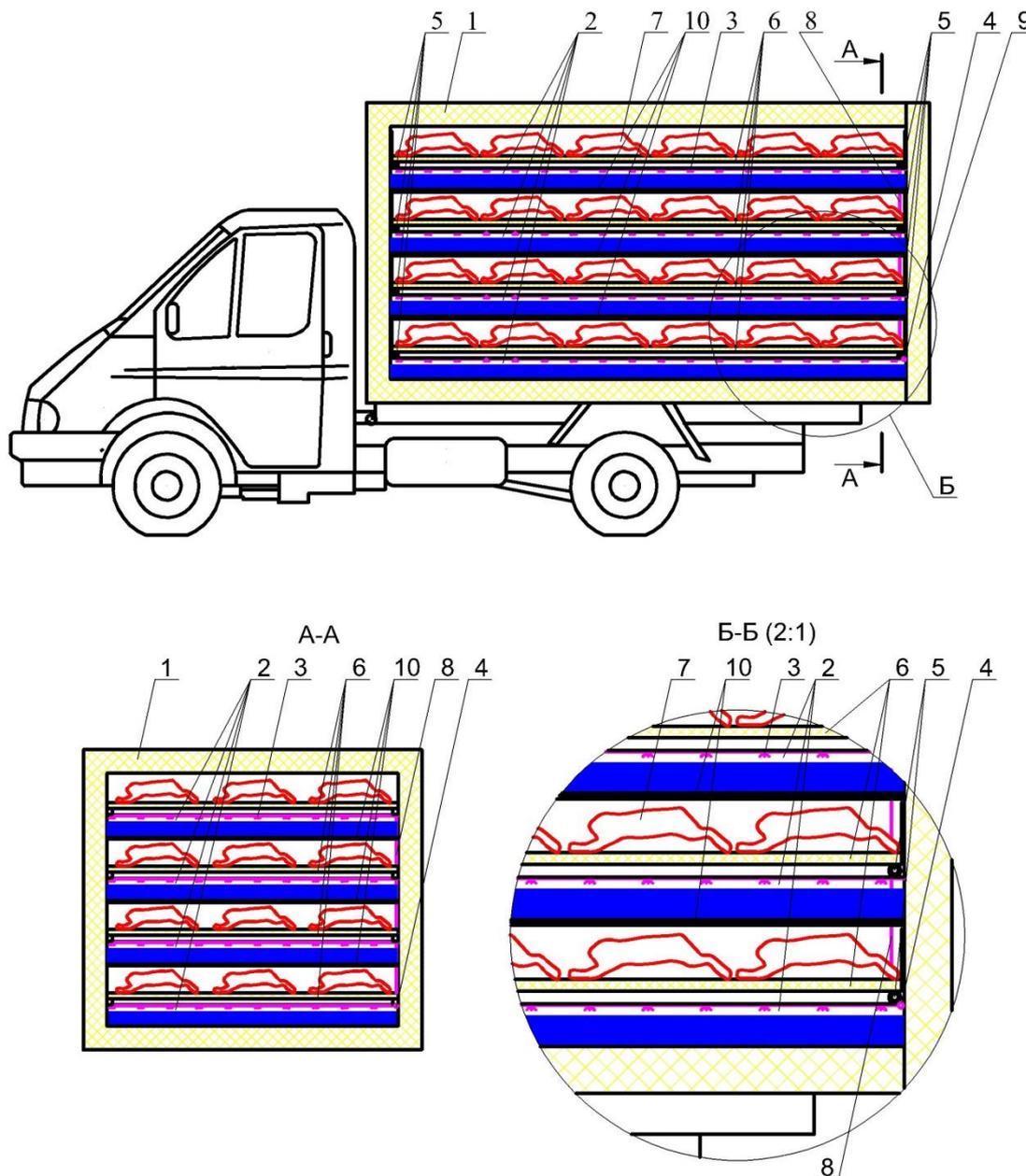


Рис. 1. Макет для транспортировки продуктов в среде диоксида углерода (*Установка..., 2020*)  
Fig. 1. Layout for transporting products in a carbon dioxide environment (*Installation..., 2020*)

Благодаря перегородкам (10) установка имеет отдельные теплоизолированные автономные отсеки на случай, если требуется частичная загрузка продукта. Количество отсеков обуславливается высотой ящиков (6) и высотой кузова автомобиля. На рис. 2 показан разрез А-А установки для транспортировки продуктов (на примере тушек кролика) в среде диоксида углерода, а также представлен увеличенный вид выносного элемента Б.

Принцип работы установки заключается в следующем. Продукт загружается непосредственно в стальные ящики (6), где он охлаждается воздушно-газовой средой сублимируемого диоксида углерода. Диоксид углерода подается в жидкой фазе по распределительным трубам трубопровода (8) к форсункам (3),

где происходит его дросселирование и подача в снегообразном состоянии в отсек (2). Распределительные трубы трубопровода (8) расположены под каждым отсеком (2) для охлаждения продуктов. В каждый отсек подается диоксид углерода, позволяющий поддерживать нормируемую температуру в продукте. Необходимое количество углекислоты определяется временем ручного открытия вентиля (4) в зависимости от количества загружаемого продукта. В боковых стенках ящиков (6) имеются перфорации, через которые обеспечивается свободная циркуляция смеси воздуха с диоксидом углерода. Кроме того, ящики (6) не имеют крышек, что обеспечивает охлаждение продуктов воздушно-газовой смесью сверху. Для мелких партий пищевых продуктов предлагается использовать установку для транспортировки продуктов в среде диоксида углерода, конструкция которой представлена на рис. 2 (Неверов и др., 2015б). Устройство состоит из внешнего теплоизолированного контура (11), внутреннего теплоизолированного контура (12), крышки внешнего контура (13), фиксаторов (14), опор (15), перегородок (16), распределительного трубопровода (17), дроссельных форсунок (18), входного патрубка подачи жидкого CO<sub>2</sub> (19) (Установка..., 2020).

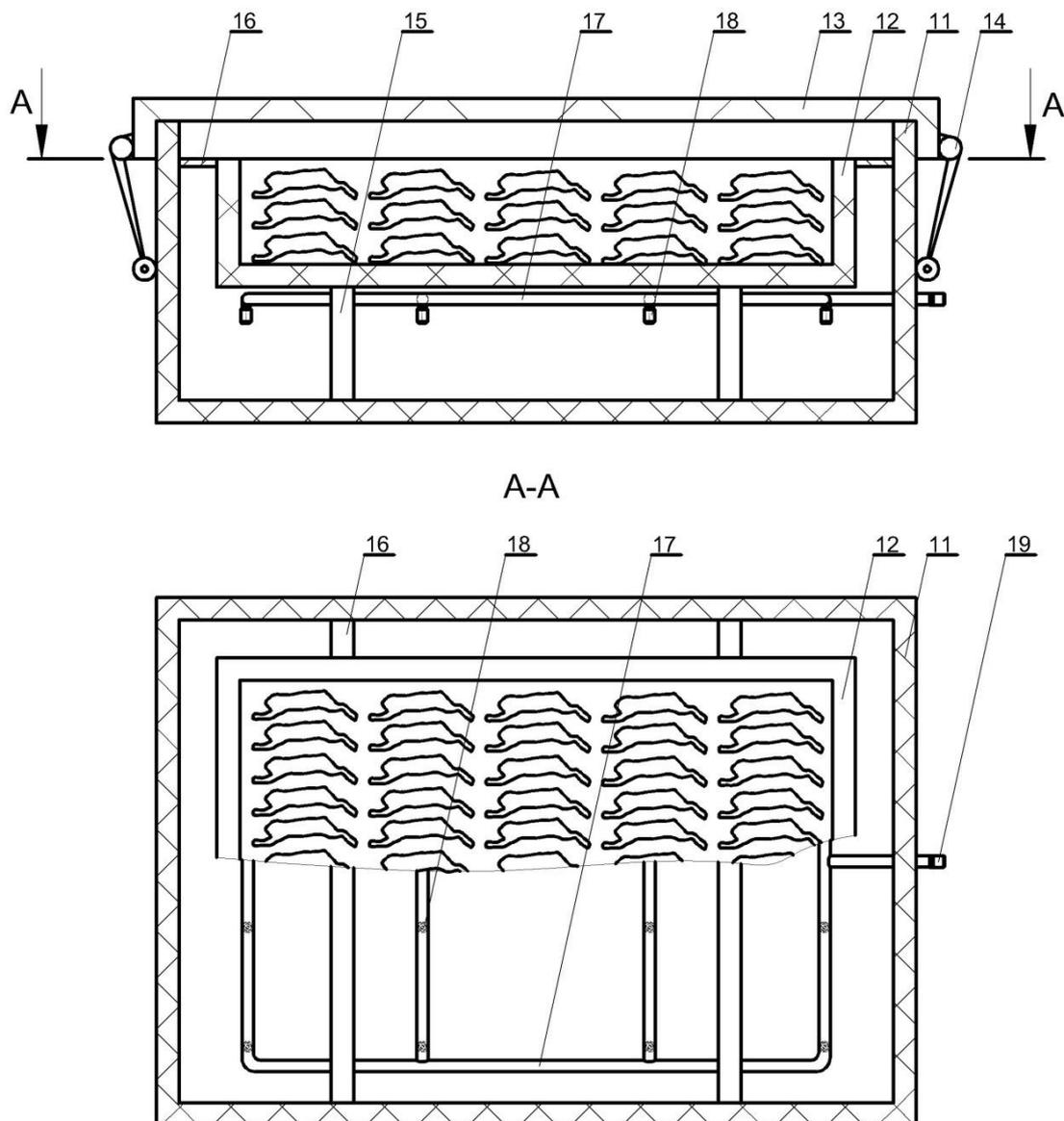


Рис. 2. Установка для транспортировки продуктов в среде диоксида углерода (Установка..., 2020)  
 Fig. 2. Installation for transporting products in a carbon dioxide environment (Installation..., 2020)

Принцип работы установки следующий. Охлаждаемый продукт укладывается во внутренний теплоизолированный контур (12). Внутренняя полость устройства изолируется от внешней окружающей среды крышкой (12), которая закрывает внешний теплоизолированный контур (11).

Установка предварительно загружается продуктом и устанавливается на весы для последующего контроля количества подаваемой углекислоты, уточняется вес установки с продуктом без углекислого газа. Баллон с жидкой углекислотой подключается ко входному патрубку подачи (19). Углекислота подается

во внутреннюю часть устройства по распределительному трубопроводу (17). Диоксид углерода, проходя через дроссельные форсунки (18), изменяет свое агрегатное состояние из жидкого в снегообразное. Опоры внутреннего теплоизолированного контура (15) с перегородками (16) образуют свободное пространство, которое в последующем заполняется снегообразной углекислотой. В стенках внутреннего теплоизолированного контура (12) предусмотрены отверстия, благодаря которым диоксид углерода попадает внутрь. В результате во время транспортировки происходит равномерное охлаждение продукта. При этом подмораживание верхних слоев продукта не происходит благодаря внутреннему теплоизолированному контуру (12). Внешний теплоизоляционный контур (11) предотвращает интенсивную сублимацию снегообразной углекислоты, препятствуя поступлению теплопритоков из окружающей среды (*Установка...*, 2020).

В настоящее время ряд исследователей активно разрабатывает системы, работающие на диоксиде углерода для транспортировки замороженной и охлажденной продукции (*Неверов и др.*, 2015б). Описанный вид обработки является современным, выгодным и технологичным, так как внутри камеры с продуктом во время транспортировки образуется воздушно-газовая среда, которая обеспечивает необходимый температурно-влажностный режим и отводит часть теплоты от продукта. Данный режим образуется при сублимации углекислоты из снегообразного состояния, тем самым при транспортировке тушек значительно снижается усушка мяса, предотвращаются снижение его качества и порча, увеличивается время транспортировки, что в целом позволяет перевозить продукт на дальние расстояния с минимальными рисками (*Неверов и др.*, 2022).

Аппарат, показанный на рис. 1 и 2, применялся авторами для охлаждения тушки кролика. Охлажденным мясом считается при температуре в толще от 0 °С до плюс 4 °С<sup>3</sup>. Данный аппарат можно использовать не только при транспортировке пищевых продуктов, но и при складском хранении. Вместе с тем температура снегообразного углекислого газа (минус 78,3 °С) позволяет применять данный холодильный агент и аппарат для замораживания продуктов или хранения в замороженном состоянии. Это регулируется количеством заправляемого снегообразного СО<sub>2</sub>.

В производственном цикле пищевых продуктов процессу хранения предшествует процесс интенсивного охлаждения или замораживания. Однако с практической точки зрения при естественной конвекции воздушно-газовой среды данные процессы не находят широкого применения, так как предполагают увеличенное количество отведенного тепла за единицу времени. Процессы хранения и интенсивного теплоотвода удобно сравнивать через величину суммарных тепловых поступлений в камеры, где происходит холодная термическая обработка. Основных типов теплопритоков в холодильные камеры существуют пять: теплопритоки через ограждающие конструкции, от продуктов, при вентиляции, теплопоступления при эксплуатации (освещение, мобильный транспорт, при открывании дверей, от людей, от работающего внутри помещений оборудования), а также теплопритоки при дыхании плодоовощной продукции (*Комарова*, 2012). При хранении процентное соотношение теплопоступлений от продуктов составляет от 5 до 20 %, при интенсивном теплоотводе данная величина может достигать от 40 до 60 % от общих значений. Обусловлено это тем, что при хранении продукция чаще всего поступает на складирование в предварительно охлажденном или замороженном состоянии, т. е. до температур, близких к температурам хранения. Работа холодильной установки при этом затрачивается на погашение теплопритоков от четырех основных типов теплопоступлений, практически не воспринимая тепло от продуктов.

При интенсивном теплоотводе продукция поступает с температурой, близкой к температуре окружающей среды, в случае если это плодоовощное сырье, и с температурой более 25 °С – с продукцией животного происхождения после убоя. Одним из важнейших причин высоких теплопоступлений при интенсивном теплоотводе является время, которое зачастую составляет не более 24 часов. Для обеспечения таких сроков теплоотвода появляется необходимость использовать принудительную циркуляцию охлаждающей среды.

На рис. 3 представлен макет установки для охлаждения пищевых продуктов при помощи диоксида углерода с принудительной циркуляцией воздушно-газовой среды.

Установка состоит из теплоизолированного контейнера (1), термической крышки (2), фиксаторов крышки (3), крючков (4), вентилятора с электродвигателем (5). Перед началом процесса теплоотвода от продукта (9) контейнер (1) наполняется снегообразным углекислым газом (10) через дросселирующие устройства (форсунки) (7). Углекислота подается на форсунки через магистральный трубопровод (6), расположенный внутри теплоизолированного контейнера, и через входной штуцер (8). При помощи весов происходит контроль необходимого количества углекислоты. Фиксаторы крышки (3) обеспечивают плотное прилегание крышки к теплоизолированному корпусу, исключая подвод "паразитных" теплопоступлений и отвод газообразного углекислого газа. От герметичности установки также зависит эффективность охлаждения

<sup>3</sup> ГОСТ 18157-88. Термины и определения термического состояния мяса. URL: <https://meat-opt.ru/article/termicheskoe-sostoyanie-meat> (Дата обращения: 07.05.2024).

с принудительной конвекцией, так как нагнетаемый вентилятором газо-воздушный поток теряет свою эффективность при разгерметизации. В качестве продукта рассмотрена продукция животного происхождения. Для обеспечения принудительной циркуляции воздушно-газовой среды используется вентилятор (5). В отличие от установки, представленной на рис. 2, мясо подвешивается на крючки (4) таким образом, что продукт не касается снегообразной фракции углекислоты. Это позволяет обеспечить более эффективную циркуляцию воздушно-газовой среды.

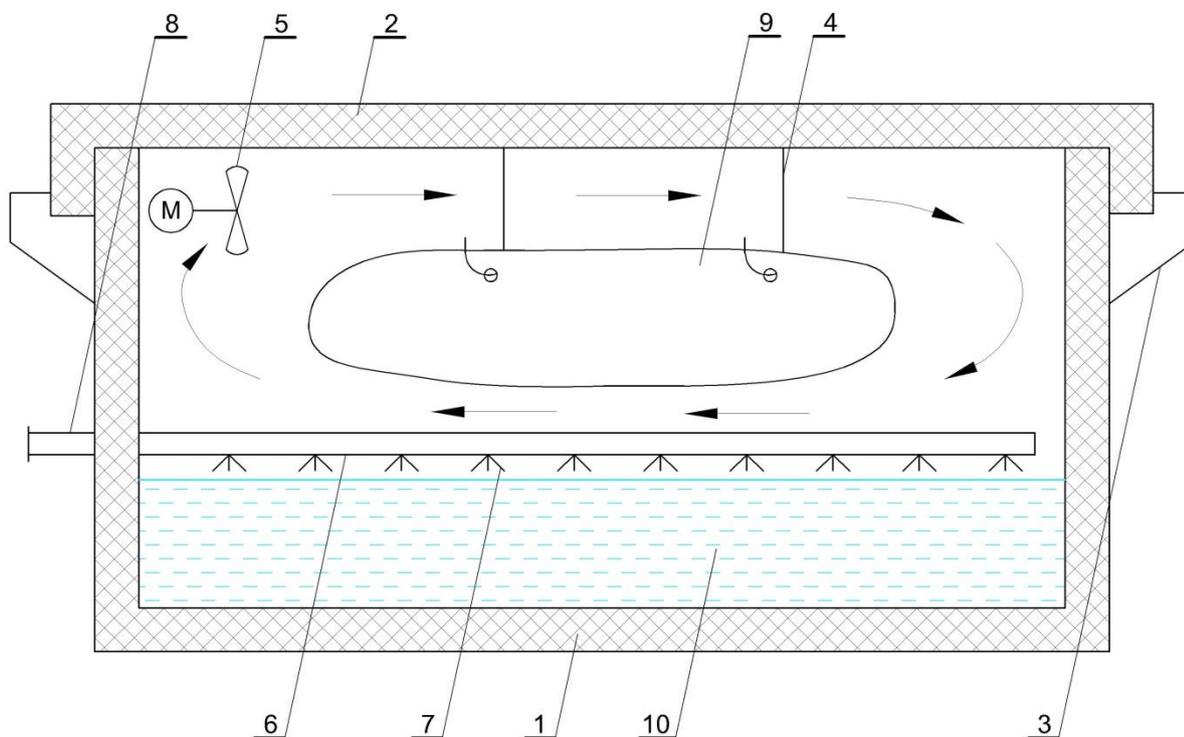


Рис. 3. Макет установки для охлаждения пищевых продуктов при помощи диоксида углерода с принудительной циркуляцией воздушно-газовой среды

Fig. 3. Mock-up of the installation for cooling food products using carbon dioxide with forced circulation of an air-gas medium

Таким образом вентилятор нагнетает холодный воздушно-газовый поток в пространство между сырьем и крышкой установки, забирая теплоту от продукта. Отогретый поток, отражаясь от стенки установки, направляется в ее нижнюю часть – в пространство между нижней частью продукта и снегообразным диоксидом углерода, отдавая теплоту охлаждаемому продукту и одновременно забирая теплоту от его нижней части. За счет подводимой теплоты углекислота сублимирует, а воздушно-газовый поток охлаждается.

Затем поток всасывается вентилятором, нагнетается и процесс повторяется, т. е. обеспечивается более равномерный теплоотвод от охлаждаемого продукта. Это способствует интенсификации процесса теплообмена. В свою очередь, более интенсивный теплообмен позволяет сократить время охлаждения. С точки зрения производства это дает возможность увеличивать производственную мощность системы охлаждения. Растет отношение количества сублимированной для отвода теплоты от продукта углекислоты к количеству углекислоты, сублимировавшей для отвода теплопритоков через ограждающие конструкции. Происходит рост эффективности процесса охлаждения за единицу сублимировавшего хладоносителя, иначе говоря, рабочее вещество затрачивает энергию сублимации для охлаждения продукта в большей степени, чем для восполнения "паразитных" теплопритоков.

Метод не ограничивается применением в условиях стационарного производства. При транспортировке пищевых продуктов имеется возможность интенсивного кратковременного охлаждения транспортируемого продукта в начальный период транспортировки. С достижением необходимой температуры продукта можно осуществлять долгосрочную транспортировку с отключенным вентилятором при естественной конвекции воздушно-газовой среды.

Однако данный аппарат имеет свои минусы. Отрицательной стороной охлаждения с принудительной конвекцией является увеличение величины усушки продукта. При чрезмерно высокой усушке продукция теряет свой товарный вид. Часть теплоотводящей энергии  $\text{CO}_2$  уходит на отвод теплоты от работающего двигателя вентилятора.

На рис. 4 представлен макет установки для охлаждения пищевых продуктов при помощи диоксида углерода с принудительной циркуляцией воздушно-газовой среды и воздухоохладителем холодильной машины.

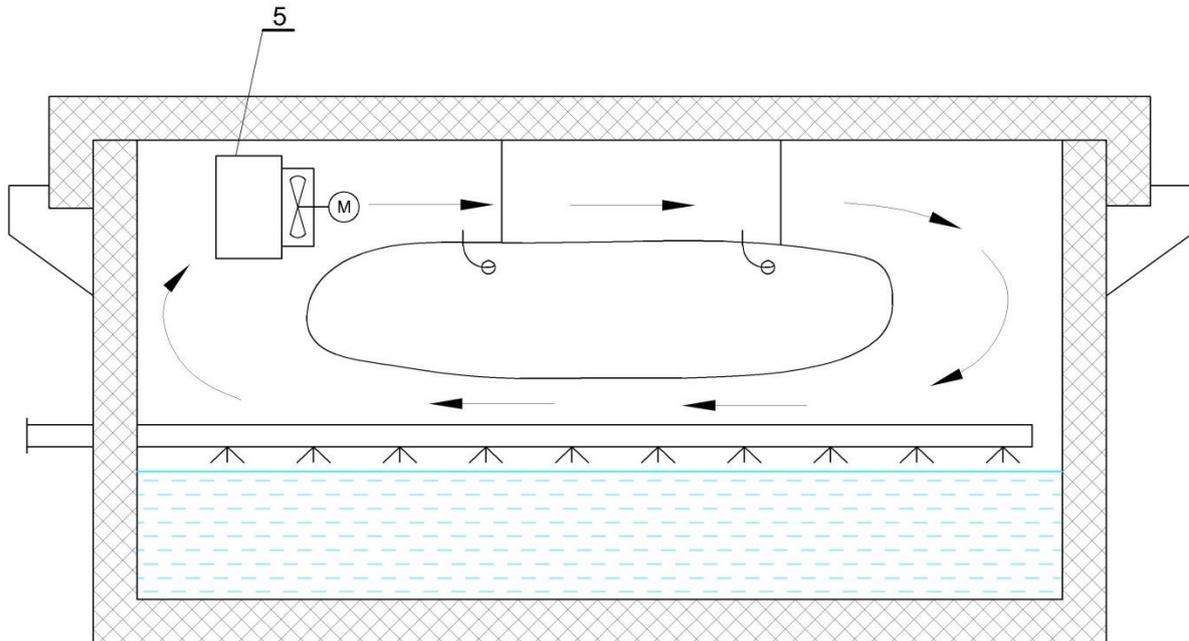


Рис. 4. Макет установки для охлаждения пищевых продуктов при помощи диоксида углерода с принудительной циркуляцией воздушно-газовой среды и воздухоохладителем холодильной машины

Fig. 4. The mock-up of the installation for cooling food products using carbon dioxide with forced circulation of an air-gas medium and an evaporator of a refrigerating machine

Отличительной особенностью данной установки является наличие воздухоохладителя (ВО) (5). Для установки выбран ВО с оребренными трубками.

Схема используемой холодильной машины представлена на рис. 5 (Алдаматов и др., 2023б). Парожидкостная смесь после расширительного устройства направляется в воздухоохладитель, где происходит отвод тепла от охлаждаемой среды. Подвод данной теплоты к хладагенту позволяет рабочему веществу полностью принять газообразное состояние, и цикл повторяется (Буянов и др., 2011б).

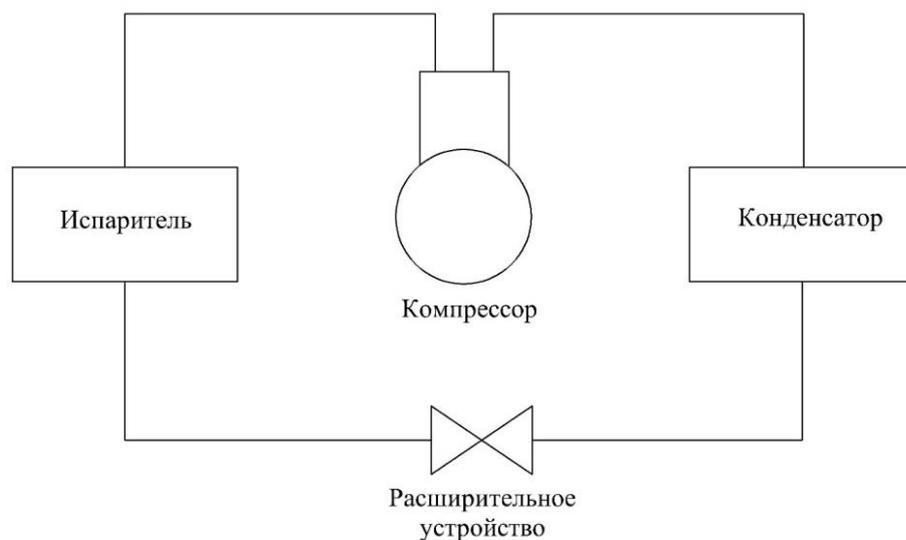


Рис. 5. Базовый цикл парокompрессионной холодильной машины  
Fig. 5. The basic cycle of a steam compression refrigerating machine

Принципиальная конструкция воздухоохладителя парокомпрессионной холодильной машины представлена на рис. 6.

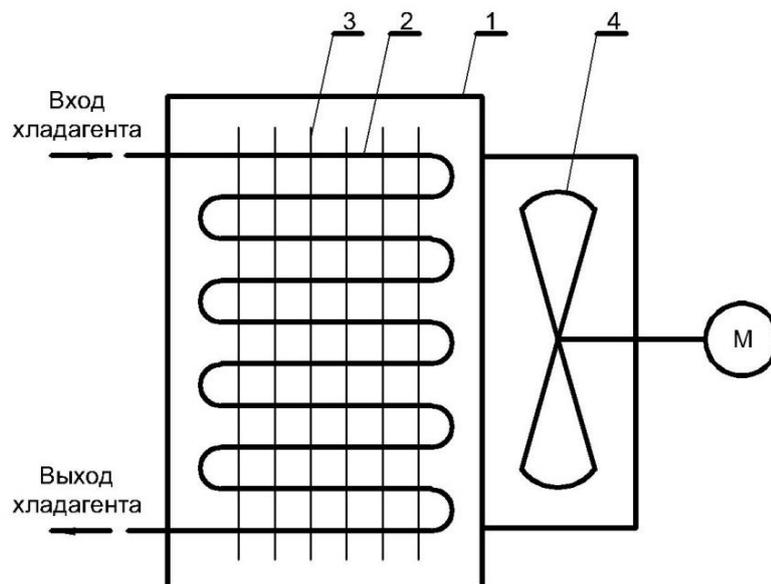


Рис. 6. Принципиальная конструкция воздухоохладителя

Fig. 6. The basic design of an air cooler

Аппарат состоит из каркаса (1), теплообменных трубопроводов (2), ребер (3) и вентилятора (4).

За счет создаваемого внутри корпуса ВО разряжения теплый воздух всасывается вентилятором (4). При этом воздух отдает свою теплоту хладагенту, который циркулирует внутри теплообменных труб (2). Оребренная поверхность теплообмена обеспечивает увеличение эффективности процесса охлаждения, что достигается увеличением площади теплообменной поверхности и повышением степени турбулизации воздушного потока. Воздух, полностью отдав расчетное количество теплоты, нагнетается вентилятором в охлаждаемый объем, одновременно забирая теплоту от двигателя вентилятора.

Таким образом, принцип действия установки с принудительной циркуляцией воздуха и воздухоохладителем холодильной машины можно описать следующим образом.

Как и в случае с установкой, представленной на рис. 3, в качестве охлаждаемого сырья рассмотрена продукция животного происхождения. Вентилятор всасывает охлажденную в трубах воздухоохладителя холодильной машины воздушно-газовую смесь и нагнетает в пространство между продуктом и крышкой. Отопленный при отведении тепла от верхней части продукта поток, отражаясь от стенки установки, направляется в нижнюю часть рабочего объема – пространство между нижней частью продукта и снегообразным диоксидом углерода. Происходит охлаждение воздушно-газовой смеси за счет сублимации углекислоты. В результате процесса сублимации практически мгновенно отводится теплота, выделяемая с нижней части продукта, за счет чего происходит частичный нагрев воздушно-газовой смеси. Затем поток всасывается вентилятором ВО, нагнетается и процесс повторяется. Это обеспечивает более равномерный и более интенсивный теплоотвод от охлаждаемого продукта за относительно короткий промежуток времени.

Наличие воздухоохладителя холодильной машины позволяет продолжать охлаждение продукта даже при полной сублимации снегообразной углекислоты. Это имеет особое значение при транспортировке продукта. Данное конструктивное решение позволяет увеличить коэффициент надежности установки как устройства в целом и сократить время интенсивного охлаждения или замораживания продукта в начальный период.

Метод применим как при стационарном производстве, так и в условиях транспортировки.

### Заключение

Теоретические исследования показывают, что природные холодильные рабочие вещества применимы для охлаждения не только в традиционных замкнутых циклах холодильных машин. Имеется возможность охлаждать продукт при непосредственном контакте с углекислым газом при его сублимации. Охлаждение пищевых продуктов при непосредственном контакте с углекислым газом является наиболее энергоэффективным процессом, так как в процессе охлаждения традиционными замкнутыми холодильными машинами, при котором рабочее вещество не контактирует с продуктом, затрачивается энергия на работу основных компонентов (компрессор, конденсатор, воздухоохладитель и т. д.). Помимо этого, температура рабочего вещества замкнутой ПКХМ, в среднем, на 10 °С ниже требуемой, что также увеличивает энергозатраты

(Холодильные..., 1997). Данная разность температур обуславливается толщиной стенки трубы, в которой циркулирует хладагент, гидравлическими потерями, особенностью конструкции воздухоохладителя и т. д.

Применение углекислого газа в качестве хладоносителя благоприятно влияет на биологические процессы. Охлаждение диоксидом углерода приводит к замедлению автолитических процессов, а также снижению размножения микроорганизмов в продукции в процессе хранения, что позволяет увеличить срок хранения сырья.

#### Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

#### Библиографический список

- Алдаматов Н. Э., Бредихин С. А. Анализ углекислого газа для применения его в качестве холодильного агента // Пищевая инженерия, экспертиза и безопасность продукции АПК: инновационные решения и перспективы развития : сб. науч. тр. IV национальной науч.-практ. конф., г. Москва, 1 июня 2023. Москва, 2023а. С. 19–24. EDN: MSENIC.
- Алдаматов Н. Э., Бредихин С. А., Журавлёв А. В. Анализ эффективности транскритических углекислотных систем в сравнении с R404a и R290 // Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК – продукты здорового питания. 2023б. № 3. С. 201–208. EDN: EARIXX.
- Башлыков М. В., Неверов Е. Н. Исследование процесса охлаждения рыбы в среде "водный лед + снегообразный диоксид углерода" // Пищевые инновации и биотехнологии: сб. тез. VI междунар. науч. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых, г. Кемерово, 16 мая 2018. Кемерово : Кемеровский гос. ун-т, 2018. Т. 1. С. 98–101. EDN: XPMNNJ.
- Буянов О. Н., Киселева Т. Ф., Неверов Е. Н., Нечаев С. Н. Исследование процесса холодильной обработки рыбы диоксидом углерода // Техника и технология пищевых производств. 2011а. № 1(20). С. 64–67. EDN: NDTDDX.
- Буянов О. Н., Неверов Е. Н. Применение снегообразного диоксида углерода для охлаждения мяса птицы // Вестник международной академии холода. 2006. № 4. С. 36–39. EDN: NYOMTD.
- Буянов О. Н., Неверов Е. Н., Нечаев С. Н. Исследование процесса охлаждения упакованной рыбы в среде диоксида углерода // Вестник международной академии холода. 2011б. № 4(1). С. 39–42. EDN: ONZOML.
- Гринюк А. Н., Неверов Е. Н. Влияние диоксида углерода на качество охлаждаемого мяса кролика // Вестник КрасГАУ. 2018. № 2(137). С. 118–122. EDN: NVDRFP.
- Комарова Н. А. Холодильные установки. Основы проектирования. Кемерово: Кемеровский технологический ин-т пищевой пром-сти, 2012. 368 с.
- Коротких П. С., Неверов Е. Н. Замораживание плодоовощной продукции диоксидом углерода // Холодильная техника и биотехнологии : сб. тез. I национальной конф. студентов, аспирантов и молодых ученых, г. Кемерово, 1 января – 31 декабря 2019 г., Кемерово, 2019. С. 235–237. EDN: TOTZNA.
- Неверов Е. Н. Охлаждение рыбы снегообразным диоксидом углерода // Вестник международной академии холода. 2014. № 2. С. 53–57. EDN: SQJOFR.
- Неверов Е. Н. Применение диоксида углерода для холодильной обработки тушек птицы // Техника и технология пищевых производств. 2015. № 4(39). С. 111–115. EDN: SYPSQG.
- Неверов Е. Н., Гринюк А. Н., Третьякова Н. Г. Применение диоксида углерода для охлаждения тушек кролика // Современные проблемы науки и образования. 2015а. № 2(2). С. 37–42. EDN: UZIZHJ.
- Неверов Е. Н., Коротких П. С., Гринюк А. Н., Мокрушин М. Ю. Исследование процесса охлаждения диоксидом углерода тушек кролика в процессе транспортировки // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2022. № 5(211). С. 111–121. DOI: <https://doi.org/10.53083/1996-4277-2022-211-5-111-121>. EDN: FDMAGW.
- Неверов Е. Н., Новиков Е. В. Охлаждение мяса кролика диоксидом углерода // Будущее науки – 2015 : сб. науч. ст. 3-й междунар. молодежной науч. конф., г. Курск, 23–25 апреля 2015 г. : в 2 т. Курск : Университетская кн., 2015б. Т. 2. С. 155–159. EDN: TYBYPV.
- Установка для транспортировки продуктов в среде диоксида углерода (2 варианта) : пат. 2723500 Рос. Федерация / Е. Н. Неверов, А. Г. Шапов, П. С. Коротких, И. Б. Плотников ; № 2019115577 ; заявл. 21.05.2019 ; опубл. 11.06.2020, Бюл. № 17.
- Холодильные машины / под общ. ред. Л. С. Тимофеевского. СПб. : Политехника, 1997. 991 с.

#### References

- Aldamatov, N. E., Bredihin, S. A. 2023a. Analysis of carbon dioxide for its use as a refrigerant. In coll. articles of the IV national scientific and practical conference *Food engineering, examination and safety of agricultural products: innovative solutions and development prospects*. Moscow, 1 June, 2023. Moscow, pp. 19–24. EDN: MSENIC. (In Russ.)
- Aldamatov, N. E., Bredihin, S. A., Zhuravlev, A. V. 2023b. Analysis of the effectiveness of transcritical carbon dioxide systems in comparison with R404a and R290. *Technologies of the Food and Processing Industry of the Agro-Industrial Complex – Healthy Food Products*, 3, pp. 201–208. EDN: EARIXX. (In Russ.)

- Bashlikov, M. V., Neverov, E. N. 2018. Investigation of the fish cooling process in the "water ice + snow-like carbon dioxide" environment. In coll. articles of the VI International Scientific Conference of Students, Postgraduates and Young Scientists. Vol. 1, Kemerovo, 16 May, 2018. Kemerovo, pp. 98–101. EDN: XPMNNJ. (In Russ.)
- Buyanov, O. V., Kiseleva, T. F., Neverov, E. N., Nechaev, S. N. 2011a. Investigation of the process of refrigerating fish with carbon dioxide. *Food Processing: Techniques and Technology*, 1(20), pp. 64–67. EDN: NDTDDX. (In Russ.)
- Buyanov, O. V., Neverov, E. N. 2006. The use of snow-like carbon dioxide for cooling poultry meat. *Journal of International Academy of Refrigeration*, 4, pp. 36–39. EDN: HYOMTD. (In Russ.)
- Buyanov, O. N., Neverov, E. N., Nechaev, S. N. 2011b. Investigation of the cooling process of packaged fish in a carbon dioxide environment. *Journal of International Academy of Refrigeration*, 4(1), pp. 39–42. EDN: ONZOML. (In Russ.)
- Grinyuk, A. N., Neverov, E. N. 2018. The effect of carbon dioxide on the quality of chilled rabbit meat. *Bulletin of KSAU*, 2(137), pp. 118–122. EDN: NVDRFP. (In Russ.)
- Komarova, N. A. 2012. Refrigeration units. Design basics. Kemerovo. (In Russ.)
- Korotkih, P. S., Neverov, E. N. 2019. Freezing of fruits and vegetables with carbon dioxide. In coll. articles of the 1 National Conference of Students, Postgraduates and Young Scientists. Kemerovo, pp. 235–237. EDN: TOTZNA. (In Russ.)
- Neverov, E. N. 2014. Cooling fish with snow-like carbon dioxide. *Journal of International Academy of Refrigeration*, 2, pp. 53–57. EDN: SQJOFR. (In Russ.)
- Neverov, E. N. 2015. The use of carbon dioxide for the refrigeration treatment of poultry carcasses. *Food Processing: Techniques and Technology*, 4(39), pp. 111–115. EDN: SYPSQG. (In Russ.)
- Neverov, E. N., Grinyuk, A. N., Tretyakova, N. G. 2015a. The use of carbon dioxide for cooling rabbit carcasses. *Sovremennyye Problemy Nauki i Obrazovaniya*, 2(2), pp. 37–42. EDN: UZIZHJ. (In Russ.)
- Neverov, E. N., Korotkih, P. S., Grinyuk, A. N., Mokrushin, M. Yu. 2022. Investigation of the process of cooling rabbit carcasses with carbon dioxide during transportation. *Bulletin of Altai State Agricultural University*, 5(211), pp. 111–121. DOI: <https://doi.org/10.53083/1996-4277-2022-211-5-111-121>. EDN: FDMAGW. (In Russ.)
- Neverov, E. N., Novikov, E. V. 2015. Cooling rabbit meat with carbon dioxide. In coll. articles of the 3rd International Youth Scientific Conference in 2 vol., 23–25 April, 2015. Vol. 2. Kursk, pp. 155–159. EDN: TYBYPV. (In Russ.)
- Neverov, E. N., Shamov, A. G., Korotkih, P. S., Plotnikov, I. B. 2020. Installation for transporting products in a carbon dioxide environment (2 options), Russian Federation, Pat. 2723500. (In Russ.)
- Refrigerating machines. 1997. Ed. L. S. Timifeyevsky. Saint Petersburg. (In Russ.)

#### Сведения об авторах

**Алдаматов Нурсултан Эсенбекович** – Лиственничная аллея, 2а, г. Москва, Россия, 127550;  
Российский государственный аграрный университет – Московская сельскохозяйственная академия  
им. К. А. Тимирязева (РГАУ – МСХА), аспирант;  
e-mail: Status\_Diamond@bk.ru, ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-1492-4508>

**Nursultan E. Aldamatov** – 2a Listvennichnaya Alley, Moscow, Russia, 127550;  
Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, PhD Student;  
e-mail: Status\_Diamond@bk.ru, ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-1492-4508>

**Бредихин Сергей Алексеевич** – Лиственничная аллея, 2а, г. Москва, Россия, 127550;  
Российский государственный аграрный университет – Московская сельскохозяйственная академия  
им. К. А. Тимирязева (РГАУ – МСХА), д-р техн. наук, профессор;  
e-mail: sbredihin\_kpia@rgau-msha.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2191-4982>

**Sergey A. Bredihin** – 2a Listvennichnaya Alley, Moscow, Russia, 127550;  
Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Dr Sci. (Engineering),  
Professor; e-mail: sbredihin\_kpia@rgau-msha.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2191-4982>

**Неверов Евгений Николаевич** – ул. Ю. Двужильного, 12б, г. Кемерово, Россия, 650040;  
Кемеровский государственный университет, д-р техн. наук, профессор; e-mail: neverov42@mail.ru

**Evgeny N. Neverov** – 12b, U. Dvujhilnogo Str., Kemerovo, Russia, 650040;  
Kemerovo State University, Dr Sci. (Engineering), Professor; e-mail: neverov42@mail.ru