



Научная статья

4.3.3 Пищевые системы (технические науки)

УДК 664.8.037.5

doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2025.04.044

EDN: TTNXHG

РАЗРАБОТКА И ИСПЫТАНИЯ ХОЛОДИЛЬНОЙ УСТАНОВКИ ДЛЯ ОБРАБОТКИ ДИОКСИДОМ УГЛЕРОДА С ВОЗМОЖНОСТЬЮ РЕЦИРКУЛЯЦИИ

Евгений Николаевич Неверов¹, Павел Сергеевич Коротких²,
Алёна Константиновна Горелкина³, Ирина Вадимовна Тимошук⁴

^{1, 2, 3, 4} Кемеровский государственный университет, Кемерово, Россия ¹

¹ neverov42@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3542-786X>

² korotkix42@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-4546-0276>

³ alengora@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3782-2521>

⁴ irina_190978@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1349-2812>

Аннотация. В статье представлена разработка и экспериментальная апробация холодильной установки для обработки мяса индейки диоксидом углерода с возможностью рециркуляции хладагента. Актуальность исследования обусловлена необходимостью внедрения экологически безопасных холодильных технологий, способных заменить фторсодержащие хладагенты и снизить углеродный след предприятий пищевой промышленности. Использование CO₂ (R744) позволяет обеспечить высокую холодопроизводительность при одновременном снижении негативного воздействия на окружающую среду. В работе рассмотрены особенности применения субкритических и транскритических режимов работы холодильных систем на CO₂, выполнен анализ их энергетической эффективности и эксплуатационных характеристик. Разработана конструкция вакуумной холодильной камеры с прямым контактом углекислоты с продуктом, включающая систему вакуумирования, автоматизированные двери, конвейер и систему принудительной циркуляции газовой среды. На основе расчёта теплопритоков и подбора оборудования предложена схема трёхступенчатой холодильной установки, обеспечивающей эффективное охлаждение и замораживание мяса индейки. Экспериментальные испытания подтвердили возможность интенсификации теплообмена, сокращения времени охлаждения и повышения качества готовой продукции. Полученные результаты свидетельствуют о перспективности применения разработанной установки на предприятиях птицеперерабатывающей отрасли.

Ключевые слова: диоксид углерода, холодильная установка, R744, замораживание мяса, мясо индейки, транскритический режим, рециркуляция хладагента, пищевая промышленность.

Благодарности. Исследование выполнено в рамках комплексной научно-технической программы полного инновационного цикла, утверждённой распоряжением Правительства Российской Федерации от 11.05.2022 № 1144-р, при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (соглашение № 075-15-2022-1201 от 30.09.2022).

Для цитирования: Неверов Е. Н., Коротких П. С., Горелкина А. К., Тимошук И. В. Разработка и испытания холодильной установки для обработки диоксидом углерода с возможностью рециркуляции // Ползуновский вестник. 2025. № 4. С. 136–141. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2025.04.044.

Original article

DEVELOPMENT AND TESTING OF A REFRIGERATION UNIT FOR CARBON DIOXIDE PROCESSING WITH RECIRCULATION POSSIBILITY

Evgeniy N. Neverov¹, Pavel S. Korotkikh², Alena K. Gorelkina³,
Irina V. Timoshchuk⁴

^{1, 2, 3, 4} Kemerovo State University, Kemerovo, Russian Federation

¹ neverov42@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3542-786X>

² korotkix42@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-4546-0276>

³ alengora@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3782-2521>

⁴ irina_190978@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1349-2812>

Abstract. The paper presents the development and experimental testing of a refrigeration unit for turkey meat processing using carbon dioxide with refrigerant recirculation. The relevance of the study is determined by the need to introduce environmentally friendly refrigeration technologies that can replace fluorinated refrigerants and reduce the environmental impact of food industry enterprises. The use of CO₂ (R744) provides high cooling capacity while minimizing greenhouse gas emissions. The design of a vacuum refrigeration chamber with direct CO₂ contact, forced gas circulation, and automated operation is described. A three-stage refrigeration system is proposed and tested. The results confirm intensified heat transfer, reduced cooling time, and improved product quality, demonstrating the industrial potential of the developed system.

Keywords: carbon dioxide, refrigeration system, R744, meat freezing, turkey meat, transcritical mode, refrigerant recirculation.

© Неверов Е. Н., Коротких П. С., Горелкина А. К., Тимошук И. В., 2025

РАЗРАБОТКА И ИСПЫТАНИЯ ХОЛОДИЛЬНОЙ УСТАНОВКИ ДЛЯ ОБРАБОТКИ ДИОКСИДОМ УГЛЕРОДА С ВОЗМОЖНОСТЬЮ РЕЦИРКУЛЯЦИИ

For citation: Neverova, E. N., Korotkiha, P. S., Gorelkinaa, A. K. & Timoshchuk, I. V. (2025). Development and testing of a refrigeration unit for carbon dioxide treatment with possibility of recycling. *Polzunovskiy vestnik*, (4), 136-141. (In Russ). doi: 10/25712/ASTU.2072-8921.2025.04.044. EDN: <https://elibrary.ru/TTNXHG>.

ВВЕДЕНИЕ

Коммерческое холодильное оборудование находится в центре внимания организаций по защите окружающей среды уже более десяти лет, особенно после того, как исследования утечек выявили истинное воздействие выбросов гидрофторуглеродов (ГФУ). Значительное сокращение выбросов возможно, но их внедрение оказывает большое влияние на холодильную промышленность. В ответ на это появилось множество новых вариантов хладагентов и системных архитектур — как на бумаге, так и на практике — что создало сложный выбор для лиц, принимающих решения в коммерческом холодильном оборудовании. Использование холодильного агента R744, является отличным решением экологической ситуации, сложившейся в мире. Но важно помнить, что у данного хладагента есть свои плюсы и минусы, и для работы с ним нужно ответственно подходить к выбору системы, в которой хладагент будет работать. Одним из наиболее очевидных решений является применение CO₂ в пищевой промышленности для холодильной обработки мяса и мясопродуктов. По прогнозам экспертов производство и переработка мяса индейки наиболее перспективная часть рынка птицеводства для инвестиций с наибольшим потенциалом дальнейшего роста. Наблюдается рост числа крупных предприятий по производству и переработке продукции из индейки, малые и средние предприятия почти не открываются и не развиваются. Предприятия неравномерно распределены по регионам, а в некоторых вообще отсутствуют, что также является значительной перспективой для развития предприятия данной отрасли птицепереработки. Новые методы заморозки индейки позволят ускорить и улучшить технологические процессы хранения и замораживания мяса индейки.

Но, важно помнить, что у данного хладагента есть свои плюсы и минусы, и для работы с ним нужно ответственно подходить к выбору системы, в которой хладагент будет работать [3, 4, 11].

Если рассматривать системы, использующие диоксид углерода в качестве рабочего тела, то их

Таблица 1 – Соответствие R744 различным условиям и критериям
Table 1 – Compliance of R744 with various conditions and criteria

Критерий	Сравнение установок работающих на CO ₂ с фреоновыми системами
Холодопроизводительность	Объемная производительность выше, чем у конкурентов
Условия эксплуатации	Рабочее давление и давление покоя выше, чем у конкурентов
Наличие хладагента	Высокая доступность
Наличие компонентов системы	На данный момент идет рост производства компонентов
Наличие специалистов	Необходимость дополнительного обучения специалистов для работы с данными системами
Стоимость	Стоимость хладагента ниже, но системные затраты выше
Безопасность	Низкая токсичность и негорючесть. К минусам относится высокое давление и связанные с ним последствия

Изменение потребляемой мощности не пропорционально изменению холодопроизводительности. Это связано с тем, что возрастание напора от начального состояния в точке 1 приводит к смещению точки 2, следовательно, холодопроизводительность значительно возрастает. Данный процесс сопровождается увеличением количества потребляемой энергии приводом компрессора.

Максимально возможный коэффициент полеза-
POLZUNOVSKIY VESTNIK № 4 2025

можно разделить на две группы: «субкритические» и «транскритические».

Коммерческое холодильное оборудование находится в центре внимания организаций по защите окружающей среды уже более десяти лет. Использование холодильного агента R744, является отличным решением для снижения экологической нагрузки, сложившейся в мире.

Приведем некоторые аспекты, возникающие при эксплуатации холодильных машин работающих на холодильном агенте R744: профиль температуры окружающей среды определяет долю времени, в течение которого система работает в транскритическом режиме, во многих регионах РФ часть работающих установок будет субкритической, как правило, когда температура окружающей среды ниже 20 °C до 25 °C; степень сжатия для R744 меньше, чем для ГФС, это может привести к более высокой изоэнтропической эффективности; требуемая площадь поперечного сечения всасывающей трубы пропорциональна объемной производительности; для R744 диаметр всасывающей линии примерно вдвое меньше, чем для R404A. Соответствие R744 различным условиям и критериям представлено в таблице 1 [8, 9, 12].

В субкритической системе хладагент не перегревается, и конденсируется, отводя тепло при постоянной температуре. В транскритическом режиме R744 не конденсируется, он отводит тепло как сверхкритическая жидкость, охлаждаясь при этом. Это отображено на диаграмме, представленной на рисунке 1.

Холодопроизводительность каждой системы существенно различается. При работе в сверхкритическом режиме холодопроизводительность увеличивается (при постоянной температуре) с увеличением давления. Это противоположно тому, что происходит в субкритическом режиме, когда холодопроизводительность увеличивается при более низких давлениях нагнетания.

Потребляемая мощность компрессора каждой системы также различается. Чем ниже давление, тем ниже потребляемая мощность, как в субкритических системах [7, 22].

ного действия в сверхкритическом режиме не достигается при минимальном давлении конденсации. Оптимальный КПД зависит от условий испарения и температуры на выходе из конденсатора, но обычно составляет 90–100 бар. Как правило, давление для оптимальной производительности выше, чем для оптимального КПД [10, 13].

В розничной транскритической системе давление в охладителе газа регулируется для обеспечения

оптимальной производительности или оптимальной эффективности при постоянном поддержании давления ниже максимально допустимого.

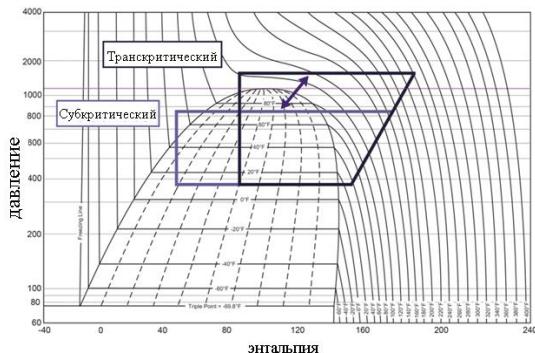


Рисунок 1 – Диаграмма энталпии давления R744, показывающая субкритические и транскритические системы

Figure 1 – R744 enthalpy of pressure diagram showing subcritical and transcritical systems

В каждом приведенном выше примере R744 выходит из газоохладителя при температуре 40 °С. Эта температура на выходе зависит от размера конденсатора и температуры окружающей среды точно так же, как температура конденсации зависит от размера конденсатора и температуры окружающей среды.

Транскритические системы на R744 часть времени или все время работают выше критической точки. Это не является проблемой; система просто работает по-другому и разработана с учетом этих потребностей. Падение эффективности также происходит в системах с ГФС (гидрохлорфторуглеродные системы) при повышении температуры окружающей среды, но это изменение не так велико, как в случае с R744, когда переход происходит от субкритического к транскритическому [14].

Важно, чтобы соответствующий контроль давления на стороне высокого давления (конденсатор) использовался для оптимизации охлаждающей способности и эффективности в транскритическом режиме. Например, увеличение давления на стороне высокого давления повысит охлаждающую способность при работе выше критической точки, что возможно реализовать и получить положительный эффект при предварительной холодильной обработке мяса птицы. Мясо птицы, как и прочие пищевые продукты, перед упаковкой должны полностью остыть. Если это условие не соблюдать, водяной пар, конденсирующийся внутри упаковки, может стать причиной появления плесени на продукте или миграции в продукт веществ, присутствующих в упаковочном материале (часто не пригодном для контакта с теплыми пищевыми продуктами). Однако ожидание полного остыивания продукта является «мертвым временем» для многих предприятий пищевой промышленности и создает практические логистические проблемы, такие как занятость площадей на многие часы, удлинение производственных циклов и, в крайнем случае, экономические потери. По этой причине процесс охлаждения часто ускоряют, пропускав продукт через охлаждающий туннель, а применение в этих системах CO₂ позволит получить продукт высокого качества с длительным сроком хранения и системой его рециркуляции.

Целью данной работы является разработка и испытания холодильной установки для обработки диоксидом углерода мяса индейки с возможностью рециркуляции холодильного агента.

МЕТОДЫ

В процессе проектирования холодильной камеры была разработана 3D-модель холодильной установки (рис. 2).

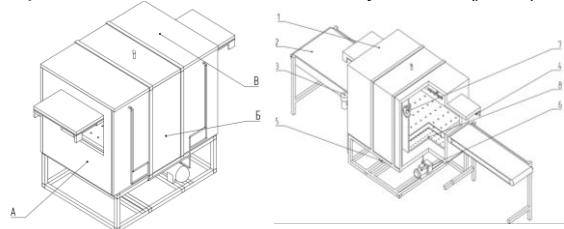


Рисунок 2 – 3D-модель холодильной установки

Figure 2 – 3D model of a refrigeration unit

Камера (1) выполнена из стальных листов марки AISI 304, толщиной 25 мм. Электродвигатель (3) запускается и продукт в вакуумной упаковке по ленточному конвейеру (2) поступает в камеру, после чего камера закрывается. Для закрытия дверей камеры используются пневматические толкатели двойного действия (4), которые приводят в действие воздушный масляный компрессор (5). После закрытия двери открывается электромагнитный вентиль. Вакуумный насос (6) отсасывает воздух из камеры и обеспечивает ее вакуумирование. На следующем этапе производится подача CO₂ в камеру, которая производится через форсунки. Кристаллическая двуокись углерода оседает на продукте и на дне камеры. Для увеличения скорости теплообмена в камере предусмотрены канальные вентиляторы (7), которые создают искусственную циркуляцию газовой среды в камере. Углекислый газ проходит через вентиляторы и попадает в боковую полость камеры, циркулирует в нижнюю полость и проходит через отверстия перфорированного поддона (8). После процесса охлаждения снежообразный оксид углерода сублимируется в газообразное состояние и отсасывается компрессором через отдельный жидкости. Запускается воздушный компрессор и пневматические толкатели открывают двери камеры. Электродвигатель запускается, и конвейер перемещает продукт дальше по конвейерной линии.

При выборе материалов для производства вакуумной холодильной камеры следует учитывать требования по газонепроницаемости, теплопроводности, устойчивости к агрессивным средам и механической прочности. Комбинация различных материалов может быть использована для достижения оптимальных свойств необходимого проекта.

В качестве материала камеры принято решение использовать нержавеющую сталь AISI 304. Так как данная марка стали обладает высокой прочностью, устойчивостью к коррозии и отличной герметичности.

Важным аспектом при работе холодильной камеры является автоматизация процесса заморозки. Открывание и закрывание двери должно удовлетворять требованиям автоматизации всей установки в целом. Для решения данной проблемы принято решение автоматизировать двери камеры путем добавления в конструкцию воздушного компрессора и пневматических толкателей, которые будут автоматически закрывать, и открывать двери, без участия в этом процессе человека. Проведение данных мероприятий позволит уменьшить время заморозки, а также трудозатраты на производстве.

Дверь камеры выполнена из стального листа марки стали AISI 304. По периметру двери располагаются резиновые уплотнители для сохранения гер-

РАЗРАБОТКА И ИСПЫТАНИЯ ХОЛОДИЛЬНОЙ УСТАНОВКИ ДЛЯ ОБРАБОТКИ ДИОКСИДОМ УГЛЕРОДА С ВОЗМОЖНОСТЬЮ РЕЦИРКУЛЯЦИИ

метичности камеры.

Для автоматизации процесса открытия и закрытия двери разработана пневматическая система, в которую входит: пневматические упоры, воздушный масляный компрессор, а также блоки подготовки сжатого воздуха.

Установлены пневматические толкатели двойного действия CDM2B-40-300 марки PUREMIX. Толкатель выполнен из нержавеющей стали. Преимуществом данного вида толкателей является использование воздуха в качестве рабочего вещества, что позволит обезопасить продукты питания в случае аварии, закрыв дверь автоматически.

Для работы пневматических толкателей под камерой расположен воздушный масляный компрессор GANTA AC 260/025. Воздушный компрессор подает сжатый воздух в пневматические упоры, тем самым создает определенное давление в системе. Давление контролируется с помощью специальных клапанов и датчиков, которые регулируют подачу воздуха и поддерживают заданное положение двери камеры.

Важное место занимает процесс вакуумирования камеры перед подачей в нее углекислоты. Это позволяет удалить из камеры воздух и другие газы, создавая условия для контролируемой подачи углекислоты в камеру. Вакуумирование камеры помогает предотвратить нежелательные процессы между углекислотой и воздухом, а также другими газами, которые могут присутствовать в камере. Это важно, если углекислота будет использоваться в чистом виде или в реакциях, где требуется высокая чистота газа. Вакуумирование также помогает создать параметры в камере, такие как давление и концентрация углекислоты. Это позволяет контролировать термодинамические процессы внутри камеры.

При подаче продукта в камеру двери закрываются, подается сигнал на открытие соленоидного вентиля, после чего подается сигнал на запуск вакуумного насоса. Вакуумный насос Value VE-260 начинает отсасывать воздух из камеры и создавать вакуум. Производительность данного вакуумного насоса составляет 170 л/мин (10,2 м³/час).

Канальные вентиляторы засасывают воздух из камеры, после чего воздух поступает в боковую полость, движется по ней вниз и выходит через перфорированный поддон через отверстия диаметром D= 20 мм. Создается искусственная вентиляция газовой среды, уменьшается время теплообмена с продуктом.

При реализации в камере цикла прямого контакта CO₂ с продуктом часть жидкой углекислоты при подаче через форсунки переходит в снегообразную фазу и остается на дне камеры. Для решения данной проблемы необходима дополнительная циркуляция газовой среды. Для этого в конструкцию камеры добавлены: канальные вентиляторы, дополнительная стенка, а также перфорированный поддон.

После создания в камере вакуума через верхние форсунки подается CO₂. Углекислота оседает на продукте и дне камеры.

Для создания дополнительной циркуляции и теплообмена в конструкции камеры добавлена боковая стенка, в которую вмонтированы два канальных вентилятора марки ERA PROFIT 4 BB d100mm. Вентиляторы засасывают газ в боковую полость, через которую он направляется в нижнюю часть камеры. После чего проходит через отверстия диаметром 15 мм и поступает обратно в основное отделение камеры.

В результате расчета теплопритоков и подбора

основного и вспомогательного оборудования разработана схема трехступенчатой холодильной установки, работающей на холодильном агенте R744. Данная холодильная установка работает по принципу прямого контакта CO₂ с продуктом. В целях повышения экономической эффективности подобрано современное холодильное оборудование, что позволило автоматизировать холодильную установку. Увеличился объем холодильной камеры, в состав камеры добавлен конвейер, автоматизированы двери.

РЕЗУЛЬТАТЫ

На рисунке 3 изображена схема трехступенчатой холодильной установки, работающей на CO₂. В процессе проектирования холодильной установки была разработана 3D-модель холодильной установки.

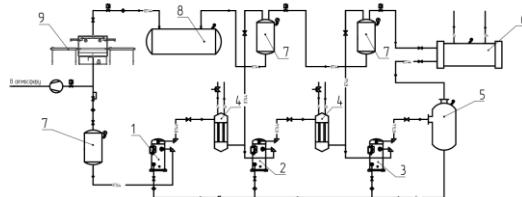


Рисунок 3 – Схема трехступенчатой холодильной установки работающей на CO₂

Figure 3 – Diagram of a three-stage refrigeration unit powered by CO₂

Компрессорный агрегат первой ступени (1) отсасывает пары из отделителя жидкости (7) и сжимает газ до первого промежуточного давления, равного (2,57 МПа). Газ поступает в теплообменник I (4), где его температура падает до (-15) °C, после чего поступает в компрессор второй ступени (2), где газ сжимается до второго промежуточного давления (4,3 МПа). После чего хладагент движется в теплообменник II (4), а затем в компрессор третьей ступени (3), где газ сжимается до давления конденсации. Перегретый пар направляется в маслоотделитель (5), где происходит отделение масла от паров. Масло сепарируется и распределяется между тремя компрессорами, предварительно пройдя через масляные фильтры. Горячие пары поступают в конденсатор водяного охлаждения (6), где пары конденсируются, и образовавшаяся жидкость поступает в отделитель жидкости I (7). Газообразный хладагент отправляется обратно в компрессор третьей ступени. После жидкий хладагент поступает в отделитель жидкости II (7), где происходит аналогичный процесс. Очищенный хладагент попадает в линейный ресивер (8), затем поступают в камеру (9), после чего происходит процесс дросселирования и охлаждение объекта, снегообразный оксид углерода сублимируется в газообразное состояние и отсасывается компрессором через отделитель жидкости (7). Процесс повторяется. В каскадном теплообменнике испаряющийся хладагент верхней ступени поглощает тепло, отводимое конденсирующимся R744. Температура конденсации поддерживается ниже критической точки. Ступень высокого давления обычно представляет собой простую замкнутую систему, управляемую давлением в ресивере ступени низкого давления.

Система высокой ступени представляет собой простую систему чиллерного типа, обычноирующую на хладагентах R12, R22 или аммиаке.

На рисунке 4 представлен разрез камеры замораживания с обозначением позиций.

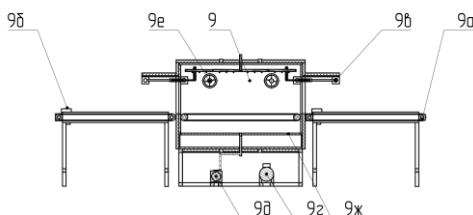


Рисунок 4 – Разрез камеры замораживания

Figure 4 – Section of the freezing chamber

В этом случае верхняя ступень обеспечивает охлаждение нагрузки МТ, а также отвод тепла от конденсирующегося R744 в нижней ступени в каскадном теплообменнике. Хладагентом верхней ступени обычно является ГФУ, УВ или аммиак, и в этом случае каскад представляет собой гибридную систему. В некоторых системах в верхней ступени используется R744. Он будет транскритическим при температуре окружающей среды от 20 ° С до 25 ° С. Система высокой ступени охлаждает жидкий R744 во вторичном контуре. R744 прокачивается вокруг. Используемые в качестве промежуточных хладоносителей гликоли при атмосферном давлении и такой температуре окружающей среды будут находиться в жидким агрегатном состоянии, в то время как CO₂ будет сублимировать, обеспечивая значительно большую охлаждающую способность. Это снижает требуемую мощность насоса и необходимую разницу температур в теплообменнике [21].

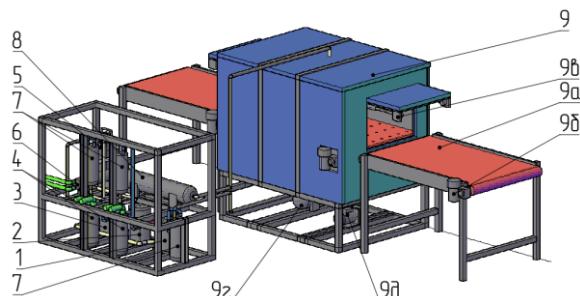


Рисунок 5 – 3D-модель холодильной установки

Figure 5 – 3D model of a refrigeration unit

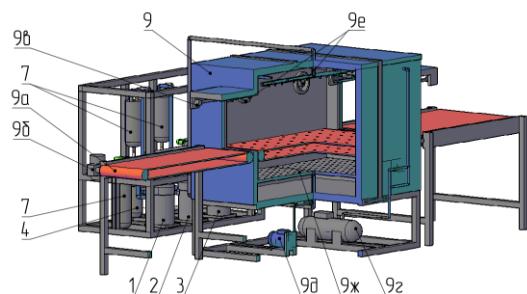


Рисунок 6 – Разрез 3D-модели холодильной камеры

Figure 6 – Section of the 3D model of the refrigerator compartment

На рисунке 7 представлен цикл рабочей трехступенчатой установки, работающей на CO₂.

Электродвигатель (9б) запускается и продукт в вакуумной упаковке по ленточному конвейеру (9а) поступает в камеру (9), после чего камера закрывается. Для закрытия дверей камеры используются пневматические толкатели двойного действия (9в), которые приводят в

действие воздушный масляный компрессор (9г). После закрытия двери открывается электромагнитный вентиль. Вакуумный насос (9д) отсасывает воздух из камеры и создает в камере вакуум. По истечению времени клапан закрывается. После процесса вакуумирования в камеру подается холодильный агент R744 через форсунки. Снегообразный оксид углерода оседает на продукте и на дне камеры. Для увеличения скорости теплообмена в камере предусмотрены канальные вентиляторы (9е), которые создают искусственную циркуляцию воздуха в камере. Воздух проходит через вентиляторы и попадает в боковую полость камеры, циркулирует в нижнюю полость и проходит через отверстия перфорированного поддона (9ж). После процесса охлаждения снегообразный оксид углерода сублимируется в газообразное состояние и отсасывается компрессором через отделитель жидкости. Запускается воздушный компрессор и пневматические толкатели открывают двери камеры. Электродвигатель запускается, и конвейер перемещает продукт дальше по конвейерной линии. Основные характеристики, требуемые для конвейерных лент хорошего качества: прочность и легкая очистка. Последнее особенно сложно из-за их конструкции, состоящей из шарирных частей, в которых могут скапливаться остатки замораживаемого продукта. 3D-модель холодильной установки изображена на рисунке 5. Разрез холодильной камеры показан на рисунке 6.



Рисунок 7 – Цикл рабочей трехступенчатой установки работающей на CO₂

Figure 7 – Cycle of a three-stage CO₂-powered installation

Параметры холодильного агента в узловых точках представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Параметры холодильного агента в узловых точках
Table 2 – Refrigerating agent parameters at nodal points

№	P, МПа	h _k , Дж/кг	t, °С	V, м ³
1	0,85	440	-45	0,045
2	2,57	480	25	0,021
3	2,57	440	-15	0,016
4	4,28	460	25	0,011
5	4,28	425	5	0,0085
6	6	445	35	0,0062
7	6	260	22	-
8	4,28	260	5	-
9	4,28	210	5	-
10	2,57	210	-15	-
11	2,57	170	-15	-
12	0,85	170	-45	-

РАЗРАБОТКА И ИСПЫТАНИЯ ХОЛОДИЛЬНОЙ УСТАНОВКИ ДЛЯ ОБРАБОТКИ ДИОКСИДОМ УГЛЕРОДА С ВОЗМОЖНОСТЬЮ РЕЦИРКУЛЯЦИИ

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработанная углекислотная холодильная установка с возможностью рециркуляции диоксида углерода позволит достаточно эффективно производить замораживание продуктов в непосредственном контакте с воздушно-газовой средой CO₂, а использование системы рециркуляции позволит повысить эффективность предложенной установки.

Предложенный проект является важным шагом в развитии методов замораживания продуктов и может быть полезным для промышленных предприятий в области производства пищевых продуктов. Необходимо дальнейшее изучение данной темы для повышения эффективности и качества процесса замораживания.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. 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 (159). С. 215-222.
2. Grujić S., Grujić M. Factors affecting consumer preference for healthy diet and functional foods. Foods and Raw Materials. 2023;11(2):259–271. <https://doi.org/10.21603/2308-4057-2023-2-576>
3. Технико-экономический анализ промышленных установок для производства сухого льда/ В.А. Иодис, И.П. Сарайкина, Д.А. Шмелёв // Техническая эксплуатация водного транспорта: проблемы и пути развития 2022. № 3. С. 97-100.
4. Турбодетандерная установка на диоксиде углерода с производством жидкой и газообразной углекислоты / А.В. Овсянник // Энергетика. Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ. 2019. С. 77-87.
5. Перспективы использования озонобезопасного хладагента CO₂ в промышленной холодильной технике / С.В. Старовойтов, А.Н. Сысоев // Энергетика транспорта. Актуальные проблемы и задачи. 2021. № 4. С. 73-79.
6. Shelepor VG, Uglov VA, Boroday EV, Poznyakovsky VM. Chemical composition of indigenous raw meats. Foods and Raw Materials. 2019;7(2):412–418. DOI: <http://doi.org/10.21603/2308-4057-2019-2-412-418>.
7. Конверсия фосфогипса в условиях SC-CO₂ / Токпашев Р., Хаваза Т., Ибраимов З., Кишибаев К., Атчабарова А., Абдимомын С., Наурызбаев М. // Журнал утилизации CO₂. 2022. 63.
8. Гидрирование диоксида углерода с усиливением сорбции до метанола: проектирование и оптимизация процесса. / Максимов П., Ниеминен Х., Лаари А. и Коиранен Т. // Химическая инженерия. 2022. 252.
9. Tosato G. et al. Field data of CO₂ integrated refrigeration, heating and cooling systems for supermarkets // Proceedings of the 14th IIR-Gustav Lorentzen Conference on Natural Refrigerants. IIR, 2020.
10. Minetto S. et al. Not-in-kind approach to remote monitoring in CO₂ refrigeration systems // Proceedings of the 25th IIR International Congress of Refrigeration, Montréal, QC, Canada. 2019. C. 24-30.
11. Tosato G. et al. Field assessment of the performance of a state-of-the-art CO₂ integrated system for supermarket with distributed HVAC terminals in the shopping area // Proceedings of the 6th IIR Conference on Sustainability and the Cold Chain, Nantes, France. 2020. C. 26-28.
12. Panão M. R. O., Franco P. A. G., Costa J. J. Effect of atomizer geometry on particle formation in dry-ice sprays // International Journal of Multiphase Flow. 2020. T. 130. C. 103358.
13. Saggin R.F., Prado N., dos Santos M.M., Balbinot-Alfaro E. Air chilling of Turkey carcasses: process efficiency and impact in the meat quality traits // Journal of Food Science and Technology. 2022. 59(9). DOI:10.1007/s13197-022-05391-7
14. Aygün N.K., Kandiller L., Bulut Ö. Analysis of a Turkey Meat Production Agri-Chain: A Simulation Study. In: Durakbasa, N.M., Gençilmaç, M.G. (eds) Industrial Engineering in the Industry 4.0 Era. ISPR 2023. Lecture Notes in Mechanical Engineering. Springer, Cham. (2024. https://doi.org/10.1007/978-3-031-53991-6_39.
15. Локтионов Д.Г. Авторефрижераторные установки на диоксиде углерода // Научное и техническое обеспечение холодильной промышленности. 2021. С. 92-95.
16. Неверов Е.Н., Короткий И.А., Плотников И.Б., Коротких П.С., Кожаев А.А. Исследование параметров процесса теплообмена при сублимации диоксида углерода // Вестник КрасГАУ. 2020. № 6 (159). С. 215-222.
17. Greencorn M., Jackson S.D., Hargreaves J.S.J., Datta S. Thermodynamic limitations to direct CO₂ utilisation within a small-scale integrated biomass power cycle // Energy Conversion and Management. 2022. 269(3):116144. DOI:10.1016/j.enconman.2022.116144
18. Soloshenko VA, Mager SN. Quality management in animal farming. Foods and Raw Materials. 2024;12(2):420-421. <https://doi.org/10.21603/2308-4057-2024-2-618>
19. Tokpayev R., Khavaza T., Kishibayev K.K., Ibraimov Z. Phosphogypsum conversion under conditions of SC-CO₂ // Journal of CO₂ Utilization. 2022. 63(September):12. DOI:10.1016/j.jcou.2022.102120
20. Rogalev, A., Rogalev, N., Kindra, V., Komarov, I., & Zlyvko, O. Research and Development of the Oxy-Fuel Combustion Power Cycles with CO₂ Recirculation. Energies. 2021. 14(10), 2927. doi:10.3390/en14102927
21. Maksimov P., Nieminen H., Laari A., Koiranen T. Sorption enhanced carbon dioxide hydrogenation to methanol: Process design and optimization // Chemical Engineering Science. 2022. 252(23):117498. DOI:10.1016/j.ces.2022.117498
22. Panão, M. R. O., Franco, P. A. G., & Costa, J. J. Effect of Atomizer Geometry on Particle Formation in Dry-Ice Sprays. International Journal of Multiphase Flow. 2020. 103358. doi:10.1016/j.ijmultiphaseflow.2020.103358

Информация об авторах

Е. Н. Неверов – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой Мехатроники и автоматизации технологических систем Кемеровского государственного университета.

П. С. Коротких – кандидат технических наук, доцент кафедры «Теплохладотехники» Кемеровского государственного университета.

А. К. Горелкина – доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Техносферной безопасности» Кемеровского государственного университета.

И. В. Тимошук – доктор технических наук, доцент, профессор кафедры «Техносферной безопасности» Кемеровского государственного университета

Information about the authors

E. N. Neverov – Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Mechatronics and Automation of Technological Systems of Kemerovo State University.

P. S. Korotikh – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of "Heat and Cooling Engineering" of Kemerovo State University.

A. K. Gorelkina – Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Technosphere Safety at Kemerovo State University.

I. V. Tymoshchuk – Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Professor of the Department of Technosphere Safety at Kemerovo State University.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare that there is no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 28.01.2024; одобрена после рецензирования 12.02.2024; принята к публикации 27.02.2024.

The article was received by the editorial board on 28 Jan 24; approved after reviewing on 12 Feb 24; accepted for publication on 27 Feb 24.