



Научная статья

2.6.13 – Процессы и аппараты химических технологий (технические науки)

УДК 66-93

doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.02.022



## СХЕМНОЕ РЕШЕНИЕ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОЙ УСТАНОВКИ С РЕЦИРКУЛЯЦИЕЙ ДИОКСИДА УГЛЕРОДА ДЛЯ СНИЖЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ

Евгений Николаевич Неверов<sup>1</sup>, Игорь Алексеевич Короткий<sup>2</sup>,  
Саиль Алексеевич Самар<sup>3</sup>, Павел Сергеевич Коротких<sup>4</sup>

<sup>1, 2, 3, 4</sup> Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Кемеровский государственный университет», Кемерово, Россия

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

<sup>2</sup> krot69@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7623-0940>

<sup>3</sup> johny-fox@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6441-9527>

<sup>4</sup> korotkix42@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-4546-0276>

**Аннотация.** Холодильные машины применяются во многих областях промышленности для получения искусственного холода. Для работы холодильных установок необходимы холодильные агенты, осуществляющие перенос теплоты. Как и у любого вещества, у холодильных агентов есть свой срок эксплуатации, по окончании которого данное вещество необходимо утилизировать. К сожалению, большинство современных холодильных агентов, являются веществами на основе фторхлоруглеродных соединений, появляется экологическая опасность в утилизации этих веществ. Для уменьшения уровня загрязнения окружающей среды по средствам выброса фтора в атмосферу в настоящее время рассматривается ряд технических решений, одно из которых – применение в качестве холодильных агентов природных веществ, одним из которых является диоксид углерода (R744). В данной статье предложено проектное решение установки, работающей на двуокиси углерода в качестве холодильного агента, особенностью данной установки является принцип ее работы. Холодильная обработка в камере происходит в непосредственном контакте с диоксидом углерода. Предложена методика, позволяющая производить расчет и подбор узлов холодильной установки, работающей на CO<sub>2</sub>. Разработана 3D-модель холодильной установки по размерам оборудования выпускаемого в настоящее время промышленностью с компоновкой узлов, позволяющих сделать данную установку мобильной. Реализуемый в установке принцип рекуперации позволяет сократить расход холодильного агента, а метод прямого контакта диоксида углерода с продуктом значительно увеличивает скорость замораживания. Использование R744 в качестве хладагента позволит сократить концентрацию выбросов озоноразрушающих хладагентов, что, в свою очередь, выгодно отразится на современной экологической ситуации.

**Ключевые слова:** холодильная машина; рекуперация тепла; диоксид углерода; теплопередача; охлаждающая жидкость.

**Благодарности:** Работа выполнена в рамках КНТП полного инновационного цикла «Разработка и внедрение комплекса технологий в области разведки и добычи твердых полезных ископаемых, обеспечения промышленной безопасности, биоремедиации, создания новых продуктов глубокой переработки из угольного сырья при последовательном снижении экологической нагрузки на окружающую среду и рисков для жизни населения» распоряжение правительства от 11.05.2022, N1144-р, мероприятие 13 «Инновационная технология очистки сточных вод на предприятиях по добыче угля открытым способом».

**Для цитирования:** Схемное решение низкотемпературной установки с рециркуляцией диоксида углерода для снижения экологической нагрузки на окружающую среду / Е. Н. Неверов // Ползуновский вестник. 2023. № 2. С. 166–173. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.02.022. EDN: <https://elibrary.ru/ZHFZWY>.

Original article

## SCHEMATIC SOLUTION OF A LOW-TEMPERATURE INSTALLATION WITH CARBON DIOXIDE RECIRCULATION TO REDUCE THE ENVIRONMENTAL BURDEN ON THE ENVIRONMENT

Evgeniy N. Neverov <sup>1</sup>, Igor A. Korotkiy <sup>2</sup>, Sail A. Samar <sup>3</sup>, Pavel S. Korotkih <sup>4</sup>

<sup>1, 2, 3, 4</sup> Kemerovo State University, Kemerovo, Russia

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

<sup>2</sup> krot69@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7623-0940>

<sup>3</sup> johny-fox@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6441-9527>

<sup>4</sup> korotkih42@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-4546-0276>

**Abstract.** Refrigerating machines are used in many areas of industry to produce artificial cold. Refrigerating agents that carry out heat transfer are necessary for the operation of refrigeration units. As with any substance, refrigerating agents have their own service life, after which this substance must be disposed of. Unfortunately, most modern refrigerating agents are substances based on fluorocarbon compounds; there is an environmental hazard in the disposal of these substances. To reduce the level of environmental pollution by means of fluorine emission into the atmosphere, a number of technical solutions are currently being considered, one of which is the use of natural substances as refrigerating agents, one of which is carbon dioxide (R744). This article proposes a design solution for an installation running on carbon dioxide as a refrigerating agent, a feature of this installation is the principle of its operation. Refrigeration treatment in the chamber takes place in direct contact with carbon dioxide. A technique is proposed that allows calculating and selecting nodes of a CO<sub>2</sub>-powered refrigeration unit. A 3D model of the refrigeration unit has been developed according to the size of the equipment currently produced by the industry with the layout of the nodes allowing this installation to be mobile. The principle of recuperation implemented in the installation reduces the consumption of refrigerating agent, and the method of direct contact of carbon dioxide with the product significantly increases the freezing rate. The use of R744 as a refrigerant will reduce the concentration of emissions of ozone-depleting refrigerants, which in turn will have a beneficial effect on the current environmental situation.

**Keywords:** refrigeration machine; heat recovery; carbon dioxide; heat transfer.

**Acknowledgements:** the author expresses gratitude to his / her colleagues for their help, thanks for the financial support of the research.

---

**For citation:** Neverov, E. N., Korotkiy, I. A., Samar, S. A. & Korotkih, P. S. (2023). Schematic solution of a low-temperature installation with carbon dioxide recirculation to reduce the environmental burden on the environment. *Polzunovskiy vestnik*, (2), 166-173. (In Russ.). doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.02.022. EDN: <https://elibrary.ru/ZHFZWY>.

---

### ВВЕДЕНИЕ

Использование холодильных установок стало неотъемлемой частью жизни современного человека. Каждый день мы потребляем продукты, которые замораживаются, перевозятся или хранятся при определенных параметрах. К одному из основных параметров, поддерживаемому при холодильной обработке, относят температуру, которую снижают в холодильной камере при помощи холодильной установки [1, 2, 3].

Холодильная установка – это устройство, которое позволяет понижать температуру и поддерживать ее на нормируемом

уровне. Изменение температуры происходит по средствам теплообмена между охлаждаемым объектом и хладагентом. Большинство существующих хладагентов на рынке холодильных машин – это хлорфторуглеродные холодильные агенты. К ним относятся: R12, R22, R502 и т.д., но со временем использование данных хладагентов стало небезопасно. Обусловлено это тем, что при попадании этих газов в атмосферу они создают парниковый эффект, который разрушает озоновый слой Земли. Происходит это из-за наличия в составе холодильного агента хлора, который при взаимодействии с озоном превращает его в кислород [4, 7, 11, 12, 13, 14].

Понимая это, научное сообщество задалось вопросом о сохранении озонового слоя Земли. Было решено заменить существующие холодильные агенты на основе хлора на их аналоги, а также разрабатывать холодильные установки, которые будут работать на них [8, 15, 16, 17, 18, 19].

В связи с этим в Кемеровском государственном университете разработано схемное решение углекислотной холодильной установки для контактного замораживания продуктов с рециркуляцией CO<sub>2</sub>.

**Целью** данной статьи является разработка инновационной холодильной установки работающей по принципу прямого контакта холодильного агента R744 с продуктом.

### МЕТОДЫ

Проектируемая холодильная машина должна работать на двуокиси углерода, данное вещество не содержит атомы хлора, что сводит к минимуму потенциал ODP и GWP.

Данная установка экологически чистая, соответствует всем современным требованиям и нормам и способствует минимизации разрушения озонового слоя и создания парникового эффекта.

Проект холодильной установки разработан с учетом современных требований к проектированию холодильных систем [20, 21].

При разработке 3D-моделей холодильной установки использовались трехмерные системы автоматизированного проектирования и черчения «AutoCAD». Использовалась программа для подбора теплообменников компании «Danfoss» «Danfoss Heat Exchanger Calculation Tool», а также были взяты размеры холодильного оборудования с официальных сайтов производителей, таких как «Bitzer», «Emerson», «Frigopoint» и др.

### РЕЗУЛЬТАТЫ

Первый этап работы заключался в разработке цикла трехступенчатой холодильной установки. Главным отличием принципиальной схемы холодильной установки является использование цикла прямого контакта CO<sub>2</sub> с продуктом, подаваемым на замораживание. Суть работы аппарата заключается в следующем: холодильный агент, который циркулирует в системе, в отличие от существующих систем закрытого типа, будет взаимодействовать с продуктом напрямую. После прохождения через коллектор CO<sub>2</sub> подается в ряд форсунок и распыляется в камере, образуя снегообразный слой на продукте. Через данный слой осуществляется теплообмен с продуктом, находящимся в камере. Снегооб-

разный диоксид углерода забирает тепло от продукта, сублимирует и отсасывается компрессором. Процесс циклический.

Так как цикл подразумевает контакт холодильного агента с продуктом, то это создает в схеме два радикальных конструктивных отличия от существующих схем. Во-первых, в схеме отсутствует испаритель. Во-вторых, необходима камера, способная выдержать высокое давление в диапазоне от 4 до 5 МПа.

Исходными данными для проектирования холодильной установки являлись: рабочее вещество – (R744); холодопроизводительность Q<sub>0</sub> – (8,64) кВт; температура конденсации T<sub>k</sub> – (25) °С; температура кипения T<sub>0</sub> – (-45) °С.

При построении цикла холодильной установки промежуточные давления выбирают с таким расчетом, чтобы степень повышения давления в ступенях была равной. Параметры узловых точек цикла приведены в таблице 1.

Таблица 1– Параметры узловых точек

Table 1 – Parameters of nodal points

№	P, МПа	h, кДж/кг	t, °С	v, м <sup>3</sup>
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	–

Массовый расход рабочего вещества в ступенях определяется из следующих соотношений:

$$G_a^I = Q_0/q = Q_0/(i_1 - i_2), \text{ кг/с}; \quad (1)$$

$$G_a^I = 8,64/(440 - 170) = 0,032$$

$$G_a^{II} = G_a^I (i_2 - i_{11}) / (i_3 - i_{10}) \text{ кг/с}; \quad (2)$$

$$G_a^{II} = 0,032(480 - 170) / (330 - 210) = 0,082$$

$$G_a^{III} = G_a^{II} (i_4 - i_9) / (i_5 - i_8) \quad (3)$$

$$G_a^{III} = 0,082(460 - 210) / (425 - 260) = 0,12 \text{ кг/с.}$$

Изоэнтروпная мощность в ступенях определяется:

**СХЕМНОЕ РЕШЕНИЕ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОЙ УСТАНОВКИ С РЕЦИРКУЛЯЦИЕЙ  
ДИОКСИДА УГЛЕРОДА ДЛЯ СНИЖЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ  
НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ**

$$N_s^I = G_a^I(i_2 - i_1), \text{ кВт} \quad (4)$$

$$N_s^I = 0,032(480 - 440) = 1,28$$

$$N_s^{II} = G_a^{II}(i_4 - i_3), \quad (5)$$

$$N_s^{II} = 0,082(460 - 440) = 1,64$$

$$N_s^{III} = G_a^{III}(i_6 - i_5), \quad (6)$$

$$N_s^{III} = 0,12(445 - 425) = 2,4 \text{ кВт.}$$

Действительная объемная производительность ступеней определяется по выражениям:

$$V_{д^I} = G_a^I \times v_1, \text{ м}^3/\text{с} \quad (7)$$

$$V_{д^I} = 0,032 \times 0,045 = 0,0014$$

$$V_{д^{II}} = G_a^{II} \times v_2, \text{ м}^3/\text{с} \quad (8)$$

$$V_{д^{II}} = 0,082 \times 0,021 = 0,0017$$

$$V_{д^{III}} = G_a^{III} \times v_3, \text{ м}^3/\text{с} \quad (9)$$

$$V_{д^{III}} = 0,12 \times 0,016 = 0,0019 \text{ м}^3/\text{с.}$$

Холодильный коэффициент теоретический определяется:

$$\epsilon_k = Q_0 / (N_s^I + N_s^{II} + N_s^{III}) \quad (10)$$

$$\epsilon_k = 8,64 / (1,28 + 1,64 + 2,4) = 1,62.$$

На рисунке 1 представлен цикл низкотемпературной установки с рециркуляцией диоксида углерода [9, 10].

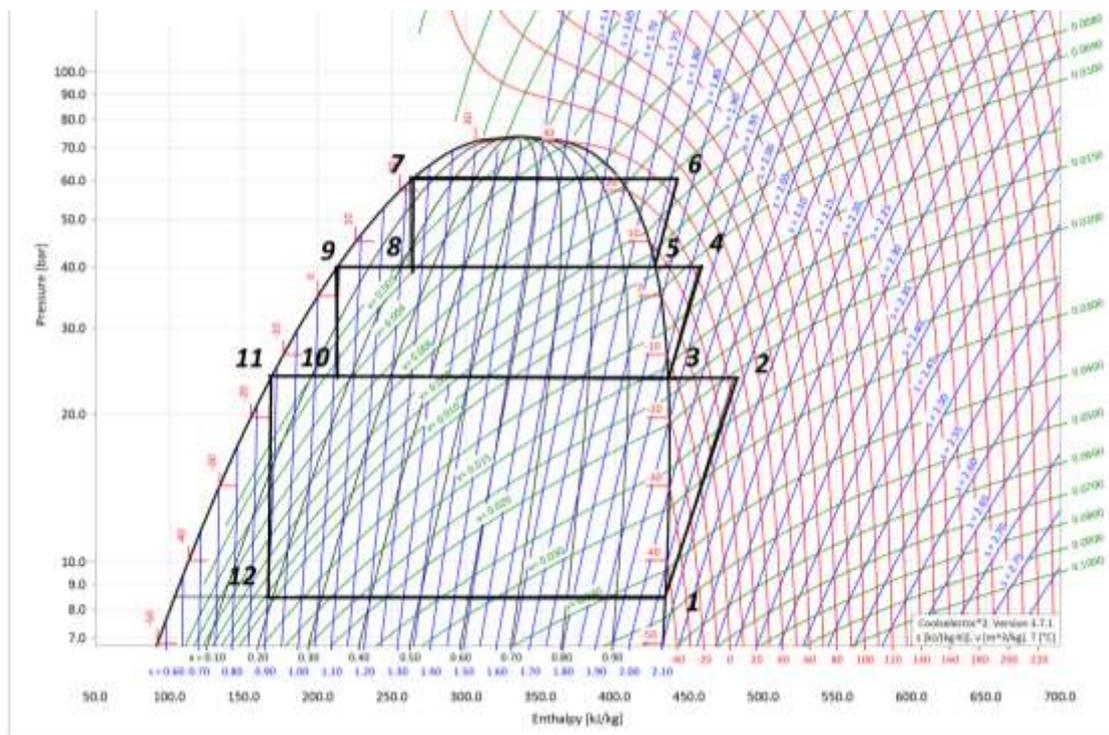


Рисунок 1 – Цикл трехступенчатой низкотемпературной установки с рециркуляцией диоксида углерода

Figure 1 – Cycle of a three-stage low-temperature installation with carbon dioxide recirculation

На следующем этапе был произведен расчет и подбор холодильного оборудования с использованием общепринятых методик, а также современных программ по проектированию 2D- и 3D-моделей холодильных систем. Результаты по подбору оборудования сведены в таблицу 2.

Таблица 2 – Эспликация холодильного оборудования

Table 2 – Explication of refrigeration equipment

№	Наименование	Кол.
1	2	3
1	Компрессор Emerson ZO104KCE	2
2	Компрессор Copeland ZO38AG	1
3	Теплообменник Bitzer KO83PH	2

Продолжение таблицы 2 / Table 2 continued

1	2	3
4	Маслоотделитель FP-OS(HP130)-5	1
5	Кожухотрубный конденсатор K073HP(P)	1
6	Отделитель жидкости FP-AS(HP90)-3	3
7	Ресивер CS-LRH-25,0	1
8	Холодильная камера	1

На следующем этапе разработана схема трехступенчатой низкотемпературной установки с рециркуляцией диоксида углерода, которая представлена на рисунке 2.

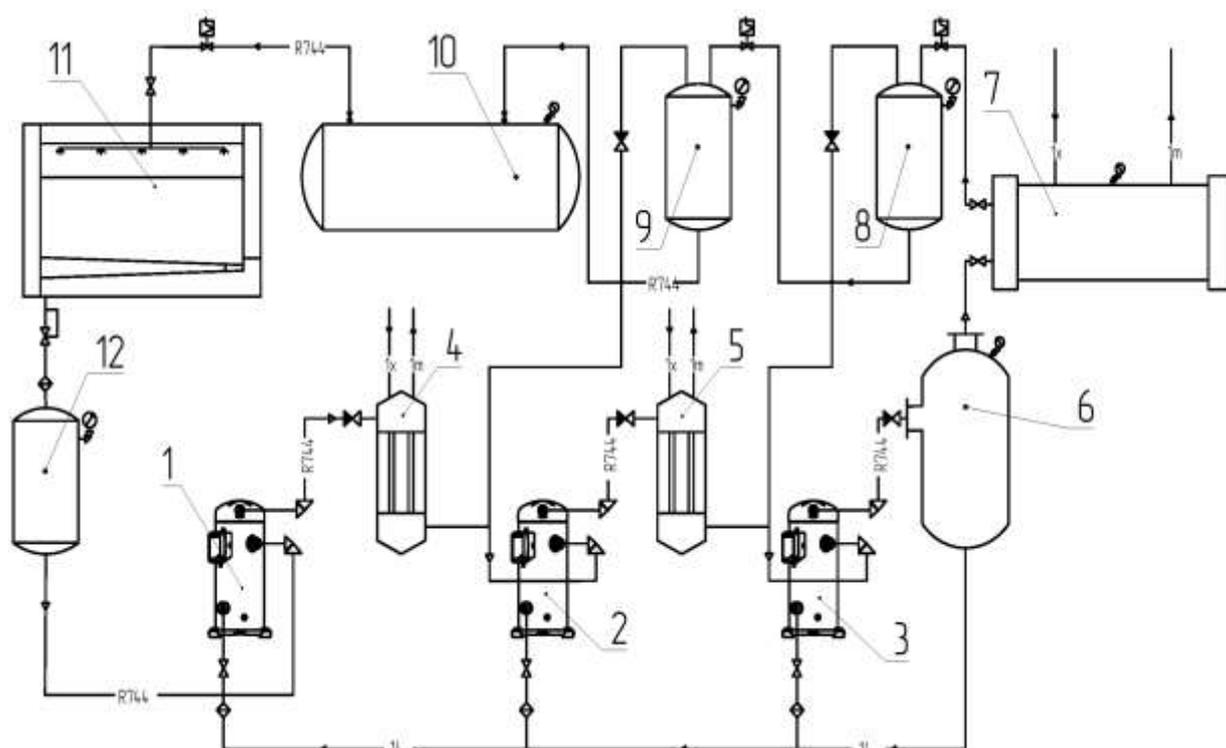


Рисунок 2 – Схема трехступенчатой низкотемпературной установки с рециркуляцией диоксида углерода:

1 – компрессор первой ступени; 2 – компрессор второй ступени; 3 – компрессор третьей ступени;  
4 – теплообменник; 5 – теплообменник; 6 – маслоотделитель;  
7 – кожухотрубный конденсатор; 8, 9 – отделитель жидкости; 10 – линейный ресивер; 11 – камера;  
12 – отделитель жидкости

Figure 2 – Scheme of a three-stage low-temperature installation with carbon dioxide recirculation:  
1 - first stage compressor, 2 - second stage compressor, 3 - third stage compressor, 4 - heat exchanger,  
5 - heat exchanger, 6 - oil separator,  
7 - shell-and-tube condenser, 8, 9 - liquid separator, 10 - linear receiver, 11 - chamber, 12 - liquid separator

Принцип работы холодильной установки заключается в следующем: компрессорный агрегат первой ступени (1) (ZO104KCE) отсасывает пары из отделителя жидкости (12) (FP-AS(HP90)-3) и сжимает газ до первого промежуточного давления, которое равно (2,57 МПа). Газ поступает в теплообменник (4) (K083PH), где его температура падает до (-15) °С, после чего поступает в компрессор второй ступени (2) (ZO104KCE), где газ сжимается до второго промежуточного давления (4,3 МПа). После чего хладагент движется в теплообменник (5) (K083PH), а затем в компрессор третьей ступени (3) (ZO38AG), где газ сжимается до давления конденсации. Перегретый пар направляется в маслоотделитель (6) (FP-OS(HP130)-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 7, где пары конденсируются и образовавшаяся

жидкость поступает в отделитель жидкости (8) (FP-AS(HP90)-3). Газообразный хладагент отправляется обратно в компрессор третьей ступени (3). После жидкий хладагент поступает в отделитель жидкости (9) (FP-AS(HP90)-3), где происходит аналогичный процесс. Жидкий хладагент попадает в линейный ресивер (10) (FP-LR(HP90)-50), затем поступает в камеру (11), в форсунках происходит процесс дросселирования в снегообразную и газообразную фазу и подача охлаждаемого объекта, снегообразный диоксид углерода сублимирует в газообразное состояние и отсасывается компрессором через фильтры и отделитель жидкости (12) (FP-AS(HP90)-3).

Так как принцип работы предлагаемой холодильной машины заключается в непосредственном контакте холодильного агента с продуктом, а для реализации предложенного принципа стандартных камер промышленностью не выпускается, принято решение сконструировать холодильную камеру, способную

## СХЕМНОЕ РЕШЕНИЕ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОЙ УСТАНОВКИ С РЕЦИРКУЛЯЦИЕЙ ДИОКСИДА УГЛЕРОДА ДЛЯ СНИЖЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ

выдерживать давления в диапазоне от 4 до 5 МПа.

На рис. 3 представлена изометрическая проекция камеры низкотемпературной установки. Камера цилиндрической формы диаметром  $D = 430$  мм (1). В торцевой стенке установлено окно  $D = 300$  мм для загрузки и выгрузки продуктов (2). Для крепления камеры на раму в аппарате предусмотрены лапы (3). В верхней части камеры расположен патрубок диаметром 20 мм (4), через который холодильный агент поступает во внутренний объем камеры через форсунки (5) в количестве 8 шт. диаметром  $D = 10$  мм. В нижней части камеры установлен перфорированный поддон (6) для продукта, подаваемого на замораживание. Перфорация поддона обусловлена тем, что в результате сублимации холодильный агент оседает на дне камеры. В нижней части камеры установлен патрубок для забора газообразного диоксида углерода (7) и подачи его в компрессор первой ступени. Для снижения теплопритоков на камеру наносится теплоизоляция (8) из полистирола марки «Пеноплэкс» толщиной 40 мм.

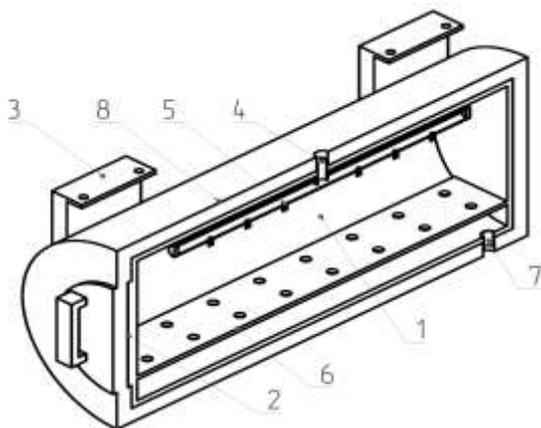


Рисунок 3 – Изометрическая проекция камеры низкотемпературной установки

Figure 3 – Isometric projection of the camera of a low-temperature installation

На следующем этапе разработана 3D-модель низкотемпературной установки. Изометрические проекции 3D-модели представлены на рисунках 4, 5.

При проектировании была использована многофункциональная программа 2D- и 3D-моделей «AutoCad».

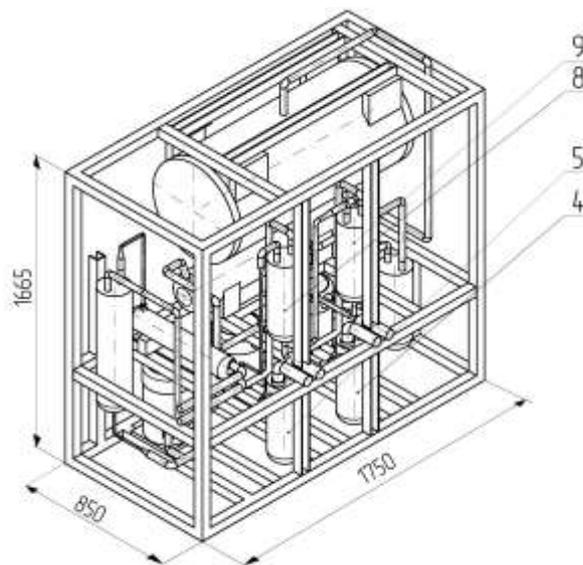


Рисунок 4 – Изометрическая проекция № 1 3D-модели низкотемпературной установки

Figure 4 – Isometric projection No. 1 of a 3D model of a low-temperature installation

Требованием к проектированию холодильной установки являлось изготовление ее максимально компактной для последующей беспрепятственной транспортировки внутри промышленных помещений. Но при этом расположение оборудования должно позволить эксплуатировать холодильную установку и обеспечить ее безопасную эксплуатацию, чего удалось добиться компактным расположением холодильного оборудования на сварной раме.

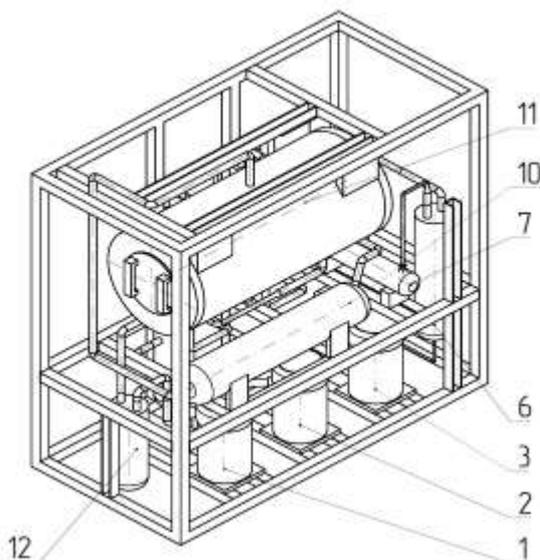


Рисунок 5 – Изометрическая проекция № 2 3D-модели низкотемпературной установки

Figure 5 – Isometric projection No. 2 of a 3D model of a low-temperature installation

Особое внимание также уделялось при проектировании трубопроводов системы. Наличие большого числа поворотов приводит к росту гидравлических потерь, их количество было максимально снижено. Также на гидравлические потери влияет длина трубопровода, которая была принята минимальной. Стоит отметить расположение холодильной камеры. Установка камеры на верхней части рамы позволила сократить габаритные размеры установки [14, 15].

На заключительном этапе проектирования была произведена комплексная автоматизация системы, которая позволяет повысить уровень безопасности, энергоэффективности, оптимизации, а также снизить участие людей в обслуживании установки.

В комплексную автоматизацию входили следующие мероприятия: регулирование температуры в камере, защита компрессоров от пониженного и повышенного давления всасывания, контроль уровня холодильного агента в отделителях жидкости, контроль подачи масла в компрессоры, а также контроль давления и температуры на всем оборудовании холодильной системы.

Проект и разработка документации производилась в соответствии с техническим заданием на проектирование, действующими нормами, правилами и Государственными стандартами РФ.

## ВЫВОДЫ

В результате проектирования разработано схемное решение холодильной установки для контактного замораживания с рециркуляцией диоксида углерода. На основе выполненных расчетов приняты проектные решения, произведен подбор современного холодильного оборудования с комплексной его автоматизацией.

Проектирование данной холодильной установки в трехмерной системе позволило максимально сократить габаритные размеры системы благодаря грамотной компоновке холодильного оборудования.

Реализуемый в установке принцип рекуперации позволит сократить расход холодильного агента, а принцип прямого контакта углекислоты с продуктом увеличит скорость замораживания.

Использование R744 в качестве хладагента позволит сократить концентрацию выбросов озоноразрушающих хладагентов, что, в свою очередь, выгодно отразится на современной экологической ситуации.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Баранник В.П. Хладоносители нового поколения / В.П. Баранник // Холодильная техника. 2003. № 1. С. 14–15.
2. Современные технологии и оборудование для холодильной обработки и хранения пищевых продуктов / Г.А. Белозеров, М.А. Дибирасулаев, В.Н. Корешков // Холодильная техника. 2009. № 4. С. 18–22.
3. Технико-экономический анализ промышленных установок для производства сухого льда / В.А. Иодис, И.П. Сарайкина, Д.А. Шмельов // Техническая эксплуатация водного транспорта: проблемы и пути развития. 2022. № 3. С. 97–100.
4. Теплотехника в вопросах и ответах / А.И. Купреенко, В.И. Чащинов // Учебное пособие для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению «Агроинженерия». 2010. № 29. С. 172.
5. 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.
6. Авторефрижераторные установки на диоксиде углерода / Д.Г. Локтионов // Научное и техническое обеспечение холодильной промышленности. 2021. С. 92–95.
7. 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.
8. Применение снегообразного диоксида углерода для охлаждения мяса птицы / О.Н. Буянов, Е.Н. Неверов // Вестник Международной академии холода. 2006. № 4. С. 36–39.
9. Перспективы использования CO<sub>2</sub> в холодильной технике пищевых предприятий / А.В. Антипов // Мясные технологии. 2012. С. 50–53.
10. Перспективы использования озонобезопасного хладагента CO<sub>2</sub> в промышленной холодильной технике / С.В. Старовойтов, А.Н. Сысоев // Энергетика транспорта. Актуальные проблемы и задачи. 2021. № 4. С. 73–79.
11. Greencorn M.J., David Jackson S., Hargreaves J.S.J., Datta S. & Paul M.C. (2022). Thermodynamic limitations to direct CO<sub>2</sub> utilisation within a small-scale integrated biomass power cycle. *Energy Conversion and Management*, 269 doi:10.1016/j.enconman.2022.116144.
12. Tokpayev R., Khavaza T., Ibraimov Z., Kishibayev K., Atchabarova A., Abdimomyn S., Nuryzbayev M. (2022). Phosphogypsum conversion under conditions of SC-CO<sub>2</sub>. *Journal of CO<sub>2</sub> Utilization*, 63 doi:10.1016/j.jcou.2022.102120.
13. Maksimov P., Nieminen H., Laar A. & Koironen T. (2022). Sorption enhanced carbon dioxide hydrogenation to methanol: Process design and optimization. *Chemical Engineering Science*, 252 doi:10.1016/j.ces.2022.117498.
14. Rogalev A., Rogalev N., Kindra V., Komarov I. & Zlyvko O. (2021). Research and development of the oxy-fuel combustion power cycles with CO<sub>2</sub>

**СХЕМНОЕ РЕШЕНИЕ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОЙ УСТАНОВКИ С РЕЦИРКУЛЯЦИЕЙ  
ДИОКСИДА УГЛЕРОДА ДЛЯ СНИЖЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ  
НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ**

recirculation. *Energies*, 14(10) doi:10.3390/en14102927.

15. Panão M.R.O., Franco P.A.G. & Costa J.J. (2020). Effect of atomizer geometry on particle formation in dry-ice sprays. *International Journal of Multiphase Flow*, 130 doi:10.1016/j.ijmultiphaseflow.2020.103358.

16. Tosato G., Minetto S., Rossetti A., Hafner A., Schlemminger C. & Giroto S. (2020). Field data of CO<sub>2</sub> integrated refrigeration, heating and cooling systems for supermarkets. Paper presented at the Refrigeration Science and Technology, 2020-December 393-398. doi:10.18462/iir.gl.2020.

17. (2017). Report no.HPT-AN44-1 Performance Indicators for Energy Efficient Supermarket Buildings, Retrieved from www.scopus.com.

18. Gullo P., Hafner A., Banasiak K., Minetto, S. & Kriezi E.E. (2019). Multi-ejector concept: A comprehensive review on its latest technological developments. *Energies*, 12(3) doi:10.3390/en12030406.

19. Minetto S., Marinetti S., Saglia P., Masson N. & Rossetti A. (2018). Non-technological barriers to the diffusion of energy-efficient HVAC&R solutions in the food retail sector. *International Journal of Refrigeration*, 86, 422-434. doi:10.1016/j.ijrefrig.2017.11.022.

20. Minetto S., Tosato G., Rossetti A., Marinetti S., Giroto S. & Banasiak, K. (2019). Not-in-kind approach to remote monitoring in CO<sub>2</sub> refrigeration systems. Paper presented at the Refrigeration Science and Technology, 2019-August 3517-3524. doi:10.18462/iir.icr.2019.1266 Retrieved from www.scopus.com.

21. Tosato G., Minetto S., Hafner A., Rossetti A., Marinetti S. & Giroto S. (2020). Field assessment of the performance of a state-of-the-art CO<sub>2</sub> integrated system for supermarket with distributed

HVAC terminals in the shopping area. 6th IIR ICCO Conference, 26-28. Retrieved from www.scopus.com.

**Информация об авторах**

*Е. Н. Неверов – доктор технических наук, заведующий кафедрой «Техносферной безопасности» Кемеровского государственного университета.*

*И. А. Коротких – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедры «Теплохладотехники» Кемеровского государственного университета.*

*С. А. Самар – студент, магистрант кафедры «Теплохладотехники» Кемеровского государственного университета.*

*П. С. Коротких – старший преподаватель кафедры «Теплохладотехники» Кемеровского государственного университета.*

**Information about the authors**

*E.N. Neverov - Doctor of Technical Sciences, Head of the Department of "Technosphere Security" of Kemerovo State University.*

*I.A. Korotkiy - Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of "Heat and Cooling Technology" of Kemerovo State University.*

*S.A. Samar - graduate student of the Department of «Heat and Cooling Engineering» of Kemerovo State University.*

*P.S. Korotkikh - Senior Lecturer of the Department of «Heat and Cool Engineering», Kemerovo State University.*

*Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.*

*The authors declare that there is no conflict of interest.*

*Статья поступила в редакцию 12.01.2023; одобрена после рецензирования 13.05.2023; принята к публикации 11.06.2023.*

*The article was received by the editorial board on 12 Jan 2022; approved after editing on 13 May 2023; accepted for publication on 11 June 2023.*