электронный научно-практический журнал
electronic scientific-practical journal

актуальные вопросы аграрной науки

actual issues of agrarian science

ISSN: 2411-6483

выпуск 3(56)
сентябрь
volume 3(56)
september





МОЛОДЁЖНЫЙ 2025

СОДЕРЖАНИЕ

МЕХАНИЗАЦИЯ, ЭЛЕКТРИФИКАЦИЯ, АГРОИНЖЕНЕРНЫЕ СИСТЕМЫ

Грачева Н.Н., Токарева А.Н., Дашковский Н.С. Выбор холодильного агента для многоступенчатой парокомпрессионной установки на основе многокритериального сравнительного метода 8

Бураев М.К., Поздняков Н.А., Егоров И.Б., Бураева Г.М. К восстановлению работоспособного состояния гильз цилиндров ДВС 18

Наумов И.В., Якупова М.А., Федоринова Э.С. Критерии оценки несбалансированных режимов работы низковольтных электрических сетей 27

Черных А.Г. Алгоритм определения смещения поршня, регулирующего давление дождевателя Nelson D3000 45

ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА, УПРАВЛЕНИЕ, МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

Асалханов П.Г., Беляков В.О., Петрова С.А. Определение веса сельскохозяйственных животных с использованием компьютерного зрения 55

Климов Е.С., Иваньо Я.М. Программное приложение “Кластеризация метеорологических факторов, формирующих события урожайности сельскохозяйственных культур” 66

Петрова С.А., Замараев А.О., Ромме А.А. Многоуровневые модели прогнозирования и планирования производства сельскохозяйственной продукции 79

Полковская М.Н., Баймаков А.А., Собиров И.А., Фан Ян Информационное обеспечение системы поддержки принятия решений для прогнозирования и планирования аграрного производства 93

Электронный научно-практический журнал
“Актуальные вопросы аграрной науки”
Electronic scientific-Practical journal
“Actual issues of agrarian science”

2025; 3(56): 8-17
http://agronauka.igsha.ru

МЕХАНИЗАЦИЯ, ЭЛЕКТРИФИКАЦИЯ, АГРОИНЖЕНЕРНЫЕ СИСТЕМЫ

MECHANIZATION, ELECTRIFICATION, AGRO-ENGINEERING SYSTEMS

DOI 10.51215/2411-6483-2025-56-8-17
УДК 621.564.2; 004.942

Научная статья

ВЫБОР ХОЛОДИЛЬНОГО АГЕНТА ДЛЯ МНОГОСТУПЕНЧАТОЙ ПАРОКОМПРЕССИОННОЙ УСТАНОВКИ НА ОСНОВЕ МНОГОКРИТЕРИАЛЬНОГО СРАВНИТЕЛЬНОГО МЕТОДА

[1,2]Н.Н. Грачева, [1]А.Н. Токарева, [3]Н.С. Дашковский

[1]Азово-Черноморский инженерный институт ФГБОУ ВО Донской ГАУ,
г. Зерноград, Ростовская область, Россия
[2]Донской Государственный технический университет, *Ростов-на-Дону, Россия*
[3]ООО “ИДЕА”, *Ростов-на-Дону, Россия*

Аннотация. В связи с переводом холодильного оборудования на альтернативные холодильные агенты, имеющие нулевой потенциал разрушения озонового слоя (ODP) и низкий потенциал глобального потепления (GWP), необходимо установить какой из многочисленных энергоносителей третьего и четвертого поколений является наиболее эффективным при работе парокомпрессионных холодильных установок многоступенчатого сжатия. Данные установки широко применяются в холодильных цехах мясоперерабатывающих предприятий. Приведен перечень рассматриваемых холодильных агентов группы гидрофторуглеродов и гидрофторлефинов. В качестве критерия эффективности рассматривается параметр сходства современных холодильных агентов с базовым рабочим веществом по термодинамическим свойствам. За базовый холодильный агент принят хладон R22. Приведено изображение цикла работы холодильной установки в диаграмме давление-энтальпия. По данной диаграмме рассчитаны показатели работы холодильной машины на различных энергоносителях. Представлен метод определения параметра сходства классического и альтернативных рабочих веществ холодильных циклов на примере холодильной установки двухступенчатого сжатия с тремя температурами кипения. Исследования проведены для трех наиболее весомых показателей работы холодильной установки в два этапа. На первом этапе определены параметры сходства отдельно для каждого критерия. На втором этапе рассчитан интегральный параметр сходства. Результаты исследований представлены в виде гистограммы. По результатам исследований выбраны два холодильных агента, применение которых является наиболее перспективным. Данные энергоносители относятся к неазеотропным смесям группы гидрофторлефинов. Остальные рассматриваемые рабочие вещества признаны неперспективными из-за значительных различий в показателях работы многоступенчатой холодильной установки на базовом энергоносителе и альтернативных холодильных агентах.
Ключевые слова: параметр сходства, метод сравнения, показатель, критерий, холодильный агент.

Для цитирования: Грачева Н.Н., Токарева А.Н., Дашковский Н.С. Выбор холодильного агента для многоступенчатой парокомпрессионной установки на основе многокритериального сравнительного метода. *Электронный научно-практический журнал “Актуальные вопросы аграрной науки”*. 2025; 3(56):8-17. DOI: 10.51215/2411-6483-2025-56-8-17.

2025; 3(56): 8-17 **Электронный научно-практический журнал "Актуальные вопросы аграрной науки"**
Electronic scientific-Practical journal "Actual issues of agrarian science"

Research article

SELECTING A REFRIGERANT FOR A MULTI-STAGE VAPOR COMPRESSION UNIT BASED ON A MULTI-CRITERIA COMPARATIVE METHOD

[1,2] Natalia N. Gracheva, [1] Anna N. Tokareva, [3]Nikita S. Dashkovsky

[1]Azov-black sea engineering Institute FSBEI HE Donskoy GAU,
Zernograd, Rostov region, Russia
[2]Don State Technical University, *Rostov-on-Don, Russia*
[3] LLC *"*IDEA*"*, *Rostov-on-Don, Russia*

Abstract. In connection with the transition of refrigeration equipment to alternative refrigerants with zero ozone depletion potential (ODP) and low global warming potential (GWP), it is necessary to determine which of the numerous third- and fourth-generation energy carriers is the most efficient for the operation of vapor-compression refrigeration units with multi-stage compression. These units are widely used in the refrigeration shops of meat processing plants. A list of refrigerants of the hydrofluorocarbon and hydrofluorolefin group is provided. The parameter of similarity of modern refrigerants to the basic working substance in thermodynamic properties is considered as an efficiency criterion. Freon R22 is taken as the basic refrigerant. An image of the refrigeration unit operating cycle is provided in the pressure-enthalpy diagram. Based on this diagram, the operating indicators of the refrigeration machine using various energy carriers are calculated. A method for determining the similarity parameter of classical and alternative working substances of refrigeration cycles is presented using the example of a two-stage compression refrigeration unit with three boiling points. The study was conducted in two stages for the three most significant refrigeration unit performance indicators. In the first stage, the similarity parameters were determined separately for each criterion. In the second stage, the integrated similarity parameter was calculated. The results are presented as a histogram. Based on these results, two refrigerants were selected as the most promising. These refrigerants belong to the non-azeotropic mixtures of the hydrofluoroolefin group. The remaining working fluids under consideration were deemed unpromising due to significant differences in the performance of a multi-stage refrigeration unit using the base energy carrier and alternative refrigerants.
Keywords: similarity parameter, comparison method, indicator, criterion, refrigerant.

For citation: Gracheva N.N., Tokareva A.N., Dashkovsky N.S. Selecting a refrigerant for a multi-stage vapor compression unit based on a multi-criteria comparative method. *Electronic scientific-practical journal "Actual issues of agrarian science".* 2025; 3(56):8-17. DOI: 10.51215/2411-6483-2025-56-8-17.

Введение. Эффективность процессов переработки сельскохозяйственной продукции животного происхождения определяется рядом факторов, значительную роль среди которых играет использование холодильного оборудования [5]. В настоящее время в производстве и эксплуатации холодильной техники широко используется ретрофит – замена озоноразрушающих холодильных агентов на новые рабочие вещества с нулевым потенциалом разрушения озонового слоя (ODP). Помимо основных требований Монреальского протокола по данному показателю [6], большой интерес вызывают вопросы к термодинамическим свойствам рабочих

веществ последнего поколения. Оценку данных свойств наиболее целесообразно проводить при помощи многокритериального метода, который широко используется при исследовании сельскохозяйственных процессов и технологий [1]. На основе метода инфографического моделирования [11] можно установить, использование какого холодильного агента является наиболее эффективным в той или иной установке. Однако для большого количества рассматриваемых современных хладагентов этот метод является весьма трудоемким, так как оценку необходимо проводить по 7 и более критериям. В связи с этим возникает необходимость в использовании другого метода, который на первом этапе исследований позволяет уменьшить количество рассматриваемых рабочих веществ. Таким методом может служить метод сравнения по параметрам сходства, предложенный учеными МГТУ им. Н.Э. Баумана [9].

Целью данной работы является выявление наиболее эффективных с термодинамической точки зрения холодильных агентов.

Материалы и методы исследования. Параметр сходства определяют путем сравнения трех наиболее значимых показателей работы холодильной установки на альтернативном холодильном агенте по сравнению с показателями работы холодильной установки на базовом рабочем веществе для одного и того же диапазона температур по формуле:

$$\Delta = \sqrt{\left(x_а - x_б\right)^2 + \left(y_а - y_б\right)^2 + \left(z_а - z_б\right)^2}\ , \qquad (1)$$

где $x_а$, $y_а$, $z_а$ – показатели работы холодильной установки на альтернативном холодильном агенте; $x_б$, $y_б$, $z_б$ – показатели работы холодильной установки на базовом холодильном агенте, показатели работы холодильной установки на альтернативном холодильном агенте.

С геометрической точки зрения выражение (1) определяет расстояние между двумя точками в трехмерном пространстве.

Классическими холодильными агентами, используемыми в многоступенчатых холодильных установках, были R717 (аммиак) и R22 (хлордифторметан) [10]. Аммиак относится к аварийно химически опасным веществам, аварийный выброс которого в окружающую среду представляет опасность для населения [8]. Но в то же время аммиак обладает нулевым потенциалом разрушения озонового слоя и его применение не противоречит требованиям Монреальского протокола по защите озонового слоя Земли. Использование холодильного агента R22 в настоящее время ограничено[13], и к 2030 году должно быть полностью прекращено. Поэтому за базовый холодильный агент был взят именно хлордифторметан. В качестве альтернативных рабочих тел рассматривались смеси холодильных агентов [3]. Исследования, проведенные по некоторым смесям применительно к установкам многоступенчатого сжатия, показали [7, 12], что по

термодинамическим характеристикам данные рабочие вещества незначительно отличаются от базового холодильного агента R22.

В данной работе ряд используемых смесей расширен. Перечень рассматриваемых нами холодильных агентов представлен в таблице. Рабочие вещества относятся к группам третьего (гидрофторуглероды) и четвертого поколения (гидрофторлефины). Гидрофторлефины (ГФО) являются более совершенными по отношению к гидрофторуглеродам (ГФУ) за счет более низкого потенциала глобального потепления (GWP).

За наиболее значимые показатели работы (критерии) в соответствии с мнением экспертов были приняты следующие характеристики [4]:

– температура в конце процесса сжатия t;
– удельная холодопроизводительность q_0;
– холодильный коэффициент цикла ε.

Для определения всех этих характеристик построены циклы работы холодильной установки в P-h координатах [3] (рис. 1).

Таблица – **Перечень рассматриваемых холодильных агентов**

Table – **List of refrigerants under consideration**

Группа холодильных агентов	Вид смеси	Условное обозначение
Гидрофторхлоруглероды (ГФХУ)	Холодильный агент	R22
Гидрофторуглероды (ГФУ)	Неазеотропная	R407B
		R407C
		R410A
		R410B
	Азеотропная	R513A
Гидрофторлефины (ГФО)	Неазеотропная	R448A
		R449A
		R450A
	Холодильный агент	R1234ze

Представленный на рисунке 1 цикл соответствует работе двухступенчатой парокомпрессионной установки с тремя температурами кипения холодильного агента. Такие установки широко используются на мясоперерабатывающих предприятиях, где в холодильном цеху установлены камеры с различными температурными режимами.

Как видно из представленного рисунка, для рассматриваемой установки весь полный цикл можно разбить на 3 части:

– цикл, происходящий в камере замораживания – фигура 7-8-10-11-7;
– цикл, происходящий в камере хранения замороженной продукции – фигура 7-8-5-6-7;
– цикл, происходящий в камерах охлаждения и хранения охлажденной продукции – фигура 3-4-1-2-3.

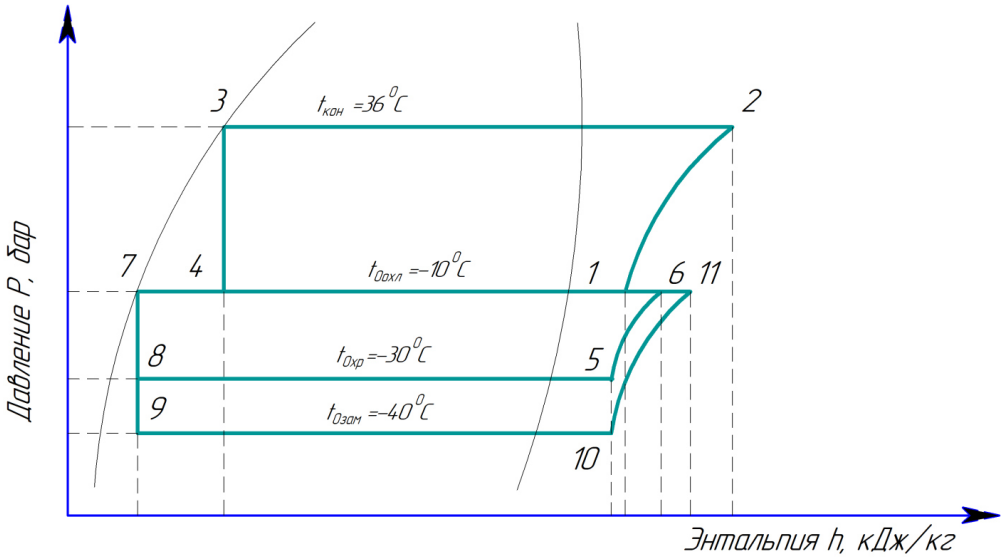


Рисунок 1 –**Изображение цикла с двухступенчатым сжатием и тремя температурами кипения холодильного агента в *P-h* координатах**

Figure 1 – **Image of a cycle with two-stage compression and three boiling points of the refrigerant in P-h coordinates**

Таким образом, получается три температуры в конце процесса сжатия – это температуры в точках 2, 6, 11, и, соответственно, три удельных холодопроизводительности и три холодильных коэффициента для всех трех вышеперечисленных циклов.

В связи с этим параметр сходства предлагается определить по каждому из трех критериев:

– по температуре в конце процессов сжатия

$$\Delta t = \sqrt{\left(t_{2a} - t_{2R22}\right)^2 + \left(t_{6a} - t_{6R22}\right)^2 + \left(t_{11a} - z_{11R22}\right)^2}; \quad (2)$$

– по удельной холодопроизводительности каждого из трех внутренних циклов холодильной установки

$$\Delta q_0 = \sqrt{\left(q_{оохла} - q_{0охлR22}\right)^2 + \left(q_{0хра} - q_{0хрR22}\right)^2 + \left(q_{0охла} - q_{0R22}\right)^2}; \quad (3)$$

– по холодильному коэффициенту каждого цикла

$$\Delta\varepsilon = \sqrt{\left(\varepsilon_{охла} - \varepsilon_{охлR22}\right)^2 + \left(\varepsilon_{хра} - \varepsilon_{хрR22}\right)^2 + \left(\varepsilon_{охла} - \varepsilon_{охлR22}\right)^2}. \quad (4)$$

В выражениях(2)-(4) приведены следующие условные обозначения: t_{2a}, t_{6a}, t_{11a} – температуры в конце процессов сжатия соответственно для циклов охлаждения, хранения и замораживания при использовании альтернативных холодильных агентов; t_{2R22}, t_{6R22}, t_{11R22}, – температуры в конце процессов сжатия соответственно для циклов охлаждения, хранения и замораживания при использовании базового холодильного агента R22; $q_{0охла}$,

$q_{0охра}$, $q_{0озама}$ – холодопроизводительность соответственно в циклах охлаждения, хранения и замораживания при использовании альтернативных холодильных агентов; $q_{0охлR22}$, $q_{0охр22}$, $q_{0озамR22}$ – холодопроизводительность соответственно в циклах охлаждения, хранения и замораживания при использовании базового холодильного агента R22; $\varepsilon_{0охла}$, $\varepsilon_{0охра}$, $\varepsilon_{0озама}$ – холодильный коэффициент соответственно циклов охлаждения, хранения и замораживания при использовании альтернативных холодильных агентов; $\varepsilon_{охлR22}$, $\varepsilon_{0охр22}$, $\varepsilon_{0озамR22}$ – холодильный коэффициент соответственно циклов охлаждения, хранения и замораживания при использовании базового холодильного агента R22.

Значения температур в конце сжатия (t_{2a}, t_{6a}, t_{11a}, t_{2R22}, t_{6R22}, t_{11R22}) определяются путем построения общего цикла на *P-h* диаграмме соответствующего холодильного агента. Данные для расчета холодопроизводительностей ($q_{0охла}$, $q_{0охра}$, $q_{0озама}$, $q_{0охлR22}$, $q_{0охр22}$, $q_{0озамR22}$) и холодильных коэффициентов ($\varepsilon_{0охла}$, $\varepsilon_{0охра}$, $\varepsilon_{0озама}$, $\varepsilon_{охлR22}$, $\varepsilon_{0охр22}$, $\varepsilon_{0озамR22}$) также выбираются по угловым точкам цикла на *P-h* диаграмме, а сами величины рассчитываются по традиционной методике [2].

После определения отклонений трех выбранных критериев определяется общий параметр сходства по формуле

$$\Delta_{пс} = \sqrt{\Delta t^2 + \Delta q_0^{\,2} + \Delta \varepsilon^2}. \qquad (5)$$

Основные результаты. Все расчеты проведены в среде Microsoft Excel. Результаты вычислений представлены в виде гистограмм на рисунке 2.

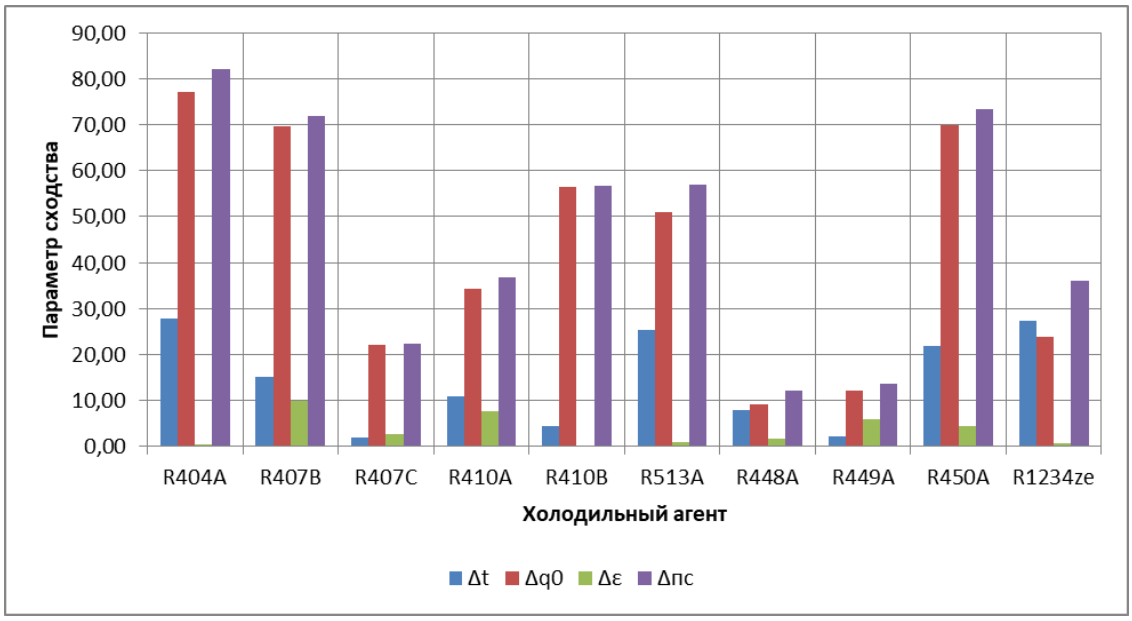


Рисунок 2 – **Параметры сходства альтернативных холодильных агентов по отношению к базовому холодильному агенту R22**

Figure 2 – **Parameters of similarity of alternative refrigerants in relation to the basic refrigerant R22**

Из всех рассмотренных холодильных агентов наиболее подходящим по термодинамическим свойствам будет тот, у которого параметр сходства по отношению к базовому холодильному агенту будет минимальным. Из рисунка 2 видно, что этому требованию удовлетворяют холодильные агенты группы ГФО R448A и R449A. Из группы ГФУ по термодинамическим свойствам к холодильному агенту наиболее близок хладагент R407C. Но так как в перспективе предусматривается отказ от рабочих веществ группы ГФУ [3], то рассматривать использование холодильного агента R407C в дальнейшем не имеет смысла.

Выводы Использование представленного многокритериального сравнительного метода уже на начальной стадии исследований позволило отсеять неперспективные холодильные агенты. Использование хладагентов группы ГФХУ и двух хладагентов группы ГФО (R 450A, R1234ze) является нецелесообразным из-за того, что показатели работы холодильных установок на данных энергоносителях значительно отличаются от показателей при эксплуатации холодильных машин на базовом холодильном агенте R22.

Дальнейшие исследования работы холодильной установки многоступенчатого сжатия целесообразно проводить уже только для двух рабочих веществ, термодинамические свойства которых наиболее приближены к термодинамическим свойствам классического холодильного агента. Таким образом, из всего ряда рассматриваемых энергоносителей наиболее перспективными являются холодильные агенты R448A и R449A, относящиеся к неазеотропным смесям группы гидрофторлефинов.

Список литературы

1. Белякова, А.Ю. Прикладные аспекты применения математического моделирования в сельском хозяйстве региона / А.Ю. Белякова, Т.С. Бузина, Я.М. Иваньо // Актуальные вопросы аграрной науки. – 2024. – № 52. – С. 49-61.

2. Волынцев, А.В. Выбор хладагента для теплонасосных установок при утилизации теплоты на судах / А.В. Волынцев, А.Н. Соболенко // Морские интеллектуальные технологии. – 2018. – № 4-5(42). – С. 95-99.

3. Выбор холодильных агентов / О.Б. Цветков, Л.А. Забодалова, Ю.А. Лаптев [и др.] // Молочная промышленность. – 2018. – № 9. – С. 21-22.

4. Деменев, А.В. Оценка показателей качества холодильных агентов, используя инфографическое моделирование / А.В. Деменев, А.И. Данилов // Интернет-журнал "Науковедение" – 2013. – №1. – URL: https://naukovedenie.ru/PDF/53tvn113.pdf

5. Ильин, М.С. Тенденции развития мирового рынка и российского рынка мяса птицы и продуктов её переработки / М.С. Ильин, Л.А. Калинина // Актуальные вопросы аграрной науки. – 2012. – № 3. – С. 37-45.

6. Короткий, И.А. Холодильное производство - состояние и перспективы развития отрасли в России / И.А. Короткий, А.Н. Расщепкин // Молочная промышленность. – 2022. – № 8. – С. 6-8.

7. Мезенцева, Н.Н. Исследование эффективности термодинамических циклов со ступенчатым сжатием на неазеотропных хладагентах / Н.Н. Мезенцева, И.В. Мезенцев // Современная наука: идеи, исследования, результаты, технологии. – 2013. – № 2. – С. 56–59.

8. Персиянов, В.В. Анализ рискообразующих факторов при эксплуатации аммиачных холодильных установок / В.В. Персиянов // Мясная индустрия. – 2022. – № 1. – С. 37-40.

9. Подбор смесевых хладагентов для парокомпрессионных холодильных машин и тепловых насосов / В.А. Воронов, П.Ю. Журлова, Д.Ю. Заболотный, С.С. Шереметьев // Политехнический молодежный журнал. – 2016. – № 3(3). – С. 9.

10. Спасский, А.А. Высокоэффективные технологии для холодильной обработки мясной продукции / А.А. Спасский, И.А. Спасский // Мясная индустрия. – 2022. – № 6. – С. 17-19.

11. Токарева, А.Н. Выбор холодильного агента группы гидрофторлефинов для теплонасосной установки теплицы / А.Н. Токарева, М.С. Демченко, А.П. Мартынов // Инженерное обеспечение сельского хозяйства: проблемы, достижения, перспективы: матер. I Междунар. научно-практ. конф., посвящ. 70-летию освоения целинных и залежных земель в Алтайском крае. 22-23 октября. – Барнаул: РИО Алтайского ГАУ, 2024. – С.104-107.

12. Усов, А.В. Разработка низкотемпературной холодильной установки, работающей на смеси холодильных агентов / А.В. Усов, О.В. Иваненко // Техника и технология пищевых производств. – 2016. – № 2(41). – С. 113-118.

13. Цветков, О.Б. Холодильные агенты в эпицентре трех климатических соглашений / О.Б. Цветков, Ю.А. Лаптев // Молочная промышленность. – 2016. – № 12. – С. 25-26.

References

1. Belyakova, A.Yu. et all. Prikladnye aspekty primeneniya matematicheskogo modelirovaniya v sel'skom khozyajstve regiona [Applied aspects of the use of mathematical modeling in regional agriculture]. Aktual'nye voprosy agrarnoj nauki, 2024, no. 52, pp. 49-61.

2. Volyncev, A.V., Sobolenko, A.N. Vybor khladagenta dlya teplonasososonykh ustanovok pri utilizacii teploty na sudakh [Selecting a refrigerant for heat pump systems for heat recovery on ships]. Morskie intellektual'nye tekhnologii, 2018, no. 4-5(42), pp. 95-99.

3. Cvetkov, O.B. et all. Vybor kholodil'nykh agentov [Selection of refrigerants]. Molochnaya promyshlennost', 2018, no. 9, pp. 21-22.

4. Demenev, A.V., Danilov, A.I. Ocenka pokazatelej kachestva kholodil'nykh agentov, ispol'zuya infograficheskoe modelirovanie [Evaluation of refrigerant quality indicators using infographic modeling]. "NaukovedeniE", 2013, no. 1, URL: https://naukovedenie.ru/PDF/53tvn113.pdf

5. Il'in, M.S., Kalinina, L.A. Tendencii razvitiya mirovogo rynka i rossijskogo rynka myasa pticy i produktov eyo pererabotki [Trends in the development of the global and Russian poultry meat and processed products markets]. Aktual'nye voprosy agrarnoj nauki, 2012, no. 3, pp. 37-45.

6. Korotkij, I.A., Rasshchepkin A.N. Kholodil'noe proizvodstvo – sostoyanie i perspektivy razvitiya otrasli v Rossii [Refrigeration production: the state and development prospects of the industry in Russia]. Molochnaya promyshlennost', 2022, no. 8, pp. 6-8.

7. Mezenceva, N.N., Mezencev, I.V. Issledovanie ehffektivnosti termodinamicheskikh ciklov so stupenchatym szhatiem na neazeotropnykh khladagentakh [Study of the efficiency of thermodynamic cycles with staged compression on non-azeotropic refrigerants]. Sovremennaya nauka: idei, issledovaniya, rezul'taty, tekhnologii, 2013, no. 2, pp. 56-59.

8. Persiyanov, V.V. Analiz riskoobrazuyushchikh faktorov pri ehkspluatacii ammiachnykh kholodil'nykh ustanovok [Analysis of risk-forming factors during the operation of ammonia refrigeration units]. Myasnaya industriya, 2022, no. 1, pp. 37-40.

9. Voronov, V.A. et all. Podbor smesevykh khladagentov dlya parokompressionnykh kholodil'nykh mashin i teplovykh nasosov [Selection of mixed refrigerants for vapor-compression refrigeration machines and heat pumps]. Politekhnicheskij molodezhnyj zhurnal, 2016, no. 3(3), 9 p.

10. Spasskij, A.A., Spasskij, I.A. Vysokoehffektivnye tekhnologii dlya kholodil'noj obrabotki myasnoj produkcii [Highly efficient technologies for refrigeration processing of meat products]. Myasnaya industriya, 2022, no. 6, pp. 17-19.

11. Tokareva, A.N. et all. Vybor kholodil'nogo agenta gruppy gidroftorlefinov dlya teplonasosnoj ustanovki teplicy [Selecting a hydrofluorocarbon refrigerant for a greenhouse heat pump system]. Barnaul, 2024, pp.104-107.

12. Usov, A.V., Ivanenko, O.V. Razrabotka nizkotemperaturnoj kholodil'noj ustanovki, rabotayushchej na smesi kholodil'nykh agentov [Development of a low-temperature refrigeration unit operating on a mixture of refrigerants]. Tekhnika i tekhnologiya pishchevykh proizvodstv, 2016, no. 2(41), pp. 113-118.

13. Cvetkov, O.B., Laptev, Yu.A. Kholodil'nye agenty v ehpicentre trekh klimaticheskikh soglashenij [Refrigerators at the heart of three climate agreements]. Molochnaya promyshlennost', 2016, no. 12, pp. 25-26.

Авторский вклад. Все авторы настоящего исследования принимали непосредственное участие впланировании, выполнении и анализе полученных данных. Все авторы настоящей статьи ознакомились и одобрили окончательный вариант.
Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие конфликта интересов.
Author'scontribution. All authors of this study were directly involved in the planning, execution and analysis of this study. All authors of the article reviewed and approved the final version of the manuscript.
Conflict of interests. The authors declare no conflict of interest.

История статьи / Article history
Дата поступления в редакцию / Received: 10.10.2025
Поступила после рецензирования и доработки / Received: 18.10.2025
Дата принятия к печати / Accepted: 20.10.2025

Сведения об авторах

Грачева Наталья Николаевна – кандидат технических наук, доцент зав. кафедрой "Математика и биоинформатика". Азово-Черноморский инженерный институт ФГБОУ ВО Донской ГАУ.
Контактная информация: Азово-Черноморский инженерный институт ФГБОУ ВО Донской ГАУ, 347740, Россия, Ростовская область, Зерноградский район, г. Зерноград, тел. 89286051374, e-mail: grann72@mail.ru, ORCID ID: https://orcid.org/0000-0003-3699-7255.

Токарева Анна Николаевна – кандидат технических наук, доцент кафедры "Эксплуатация энергетического оборудования и электрических машин" Азово-Черноморский инженерный институт ФГБОУ ВО Донской ГАУ.
Контактная информация: Азово-Черноморский инженерный институт ФГБОУ ВО Донской ГАУ, 347740, Россия, Ростовская область, Зерноградский район, г. Зерноград, тел. 89045079811, e-mail: tanna_ing@mail.ru, ORCID ID: https://orcid.org/0000-0002-0383-7039.

Дашковский Никита Сергеевич – инженер-проектировщик систем электроснабжения. ООО "ИДЕА".
Контактная информация: ООО "ИДЕА", 344091, Россия, Ростовская область, г. Ростов-на-Дону, тел. 89066740526, e-mail: dashik-2018@mail.ru.

Information about the authors:
Natalia N. Gracheva – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Mathematics and Bioinformatics. Azov-Black Sea Engineering Institute, FSBEI HE Donskoy SAU.
Contact information: Azov-Black Sea Engineering Institute of the FSBEI HE Donskoy SAU, 347740, Russia, Rostov Region, Zernograd, Lenin Street, 21, tel. 89286051374, e-mail: grann72@mail.ru, ORCID ID: https://orcid.org/0000-0003-3699-7255.

Anna N. Tokareva – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Operation of Power Equipment and Electrical Machines at the Azov-Black Sea Engineering Institute of the FSBEI HE Donskoy SAU.
Contact information: Azov-Black Sea Engineering Institute of the FSBEI HE Donskoy SAU, 347740, Russia, Rostov Region, Zernograd, Lenin Street, 21, tel. 89045079811, e-mail: tanna_ing@mail.ru, ORCID ID: https://orcid.org/0000-0002-0383-7039

Nikita S. Dashkovsky – Power Supply Systems Design Engineer. LLC "IDEA".
Contact information: LLC "IDEA", 344091, Russia, Rostov Region, Rostov-on-Don, tel. 89066740526, e-mail: dashik-2018@mail.ru.