

УДК 621.565.7, 621.564, 631.243.5

## Выбор хладагентов для холодильных систем фрукто- и овощехранилищ

Канд. техн. наук А. П. ЦОЙ<sup>1</sup>, А. С. ГРАНОВСКИЙ, О. Д. ВОРОБЬЕВА

Алматинский технологический университет

<sup>1</sup>E-mail: teniz@bk.ru

*В связи с введением в действие Кигалийской поправки к Монреальскому протоколу в работе исследуются перспективы замены ГФУ-хладагентов R404a и R507 в холодильных машинах фрукто- и овощехранилищ. Для оптимального выбора экологически-безопасных синтетических и природных хладагентов проведен расчет холодильного коэффициента циклов одноступенчатых холодильных машин с непосредственной подачей хладагента в воздухоохладители. Расчеты произведены для условий резко-континентального климата при температуре атмосферного воздуха 20°C. Установлено, что в развивающихся странах в ближайшее время хладагенты R407a, R407c, R407f могут использоваться для замены хладагентов R404a и R507 в новых энергоэффективных холодильных системах с поршневыми и спиральными компрессорами. В долгосрочной перспективе после 2036 г. могут использоваться такие хладагенты как R290 (пропан), R450a, R455a, R513a. Применение хладагентов R450a, R455a, R513a приведет к увеличению капитальных затрат на создание холодильных машин в связи с необходимостью увеличения объемной производительности компрессоров. Также хладагенты R450a и R513a обладают сравнительно высоким потенциалом глобального потепления ( $GWP > 150$ ), что может привести к введению ограничений по их использованию в крупных холодильных установках. Так как хладагенты R290 и R455a горючи, для их безопасного использования требуется сокращать их заправляемую массу. Поэтому R290 и R455a можно будет использовать либо в холодильных агрегатах для индивидуальных холодильных камер, либо в системах с промежуточным охлаждением теплоносителя.*

**Ключевые слова:** холодильная система, фруктохранилище, овощехранилище, энергоэффективность, экология, холодильный агент, Кигалийская поправка.

### Информация о статье:

Поступила в редакцию 27.01.2022, одобрена после рецензирования 24.03.2022, принята к печати 25.04.2022

DOI: 10.17586/1606-4313-2022-21-2-35-41

Язык статьи — русский

### Для цитирования:

Цой А. П., Грановский А. С., Воробьева О. Д. Выбор хладагентов для холодильных систем фрукто- и овощехранилищ // Вестник Международной академии холода. 2022. № 2. С. 35–41. DOI: 10.17586/1606-4313-2022-21-2-35-41

## Selection of refrigerants for refrigeration systems of fruit and vegetable stores

Ph. D. A. P. TSOY<sup>1</sup>, A. S. GRANOVSKIY, O. D. VOROBYOVA

Almaty Technological University

<sup>1</sup>E-mail: teniz@bk.ru

*Due to the implementation of the Kigali Amendment to the Montreal Protocol, the paper explores the prospects for replacing HFC refrigerants R404a and R507 in refrigeration machines for fruit and vegetable storages. For the optimal choice of environmentally friendly synthetic and natural refrigerants, calculating the coefficient of performance for single-stage refrigeration machines with direct supply of refrigerant to air coolers was carried out. The calculations were made for the conditions of a sharply continental climate at an atmospheric air temperature of +20°C. It was found, that in the near future such refrigerants as R407a, R407c, and R407f can be used as a replacement for R404a and R507 refrigerants in the new energy efficient systems with reciprocating and scroll compressors in developing countries. In the long term, refrigerants such as R290 (propane), R450a, R455a, and R513a can be used after 2036. The use of refrigerants R450a, R455a, R513a will lead to an increase in capital costs for the creation of refrigeration machines due to the need to increase the volumetric performance of compressors. In addition, R450a and R513a refrigerants have a relatively high global warming potential  $GWP > 150$ , which may lead to restrictions on their use in large refrigeration systems. As refrigerants R290 and R455a are flammable, their safe use requires a reduction in their charge weight. Therefore, R290 and R455a can be used either in refrigeration systems for individual cold chambers, or in systems with an intermediate heat transfer liquid.*

**Keywords:** refrigeration system, fruit storage, vegetable storage, energy efficiency, ecology, refrigerant, Kigali Amendment.

**Article info:**

Received 27/01/2022, approved after reviewing 24/03/2022, accepted 25/04/2022

DOI: 10.17586/1606-4313-2022-21-2-35-41

Article in Russian

**For citation:**Tsoy A. P., Granovskiy A. S., Vorobyova O. D. Selection of refrigerants for refrigeration systems of fruit and vegetable stores. *Journal of International Academy of Refrigeration*. 2022. No 2. p. 35–41. DOI: 10.17586/1606-4313-2022-21-2-35-41**Введение**

В настоящее время в холодильной технике происходит переход к использованию экологически-безопасных хладагентов. В соответствии с Кигалийской поправкой к Монреальскому протоколу, применяемые хладагенты должны иметь нулевой озоноразрушающий потенциал (ODP) и низкий потенциал глобального потепления (GWP) [1, 2]. В развитых странах (группы II), к которым относится Беларусь, Россия, Казахстан, Таджикистан и Узбекистан к 2036 г. потребление гидрофторуглеродов (ГФУ), рассчитанное в эквиваленте CO<sub>2</sub>, должно быть снижено до 15% (или в 6,6 раз) от базового уровня [3, 4]. Наиболее распространенные в коммерческих и промышленных холодильных установках смесовые хладагенты R404a и R507a [5, 6] попадают под действие ограничений, так как в их состав входят ГФУ. Согласно данным работы [7], на компоненты указанных хладагентов, а именно на вещества R125 и R143a, в России в 2018 г. приходилось соответственно 34% и 27% от всех выбросов гидрофторуглеродов в системах кондиционирования воздуха и охлаждения. Следует полагать, что в Казахстане в промышленных холодильных системах, наиболее распространен хладагент R404a, и на него приходится около 60% ГФУ [16]. При этом количество используемых холодильных установок в ближайшие годы не будет сокращаться, и даже возможно будет увеличиваться. Поэтому сокращение использования ГФУ возможно лишь за счет использования альтернативных хладагентов в новых холодильных системах. Соответственно исследования, направленные на поиск наилучших заменителей R404a и R507a, являются актуальными.

В последние годы произведено множество исследований по применению новых хладагентов в тех или иных холодильных системах [8]–[14]. В качестве основных вариантов для замены указанных хладагентов рассматриваются соединения гидрофторолефинов (ГФО-хладагенты), а также такие природные хладагенты как пропан R290, аммиак R717 (NH<sub>3</sub>) и углекислый газ R744 (CO<sub>2</sub>).

При этом возможность использования конкретного хладагента определяется сочетанием его энергетических, экологических, эксплуатационных свойств. В связи с этим выбор конкретного хладагента для каждого типа холодильных установок зависит от особенностей их применения.

В данной работе проведено исследование вариантов замены хладагентов холодильных машин фрукто- и овощехранилищ. У этих машин имеется ряд особенностей эксплуатации. Чаще всего, в условиях континентального климата (например, в Казахстане) они используются начиная с периода уборки урожая (в сентябре) и работают в течение осени и зимы. Большую часть времени они эксплуатируются при температурах атмосферного воздуха ниже 20 °С. При этом температура конденсации хладагента в них имеет низкое значение (не более 35 °С).

Учитывая, что температуры воздуха более 30 °С при работе данных машин наблюдаются очень малый период времени (не более нескольких недель за год), их энергетическую эффективность следует рассчитывать при температурах конденсации 35...40 °С.

Также данные холодильные машины имеют относительно малую холодопроизводительность (не более 100 кВт). В условиях климата города Алматы в течение периода хранения требуется около 0,1 кВт холодопроизводительности на 1 тонну хранимого продукта. Учитывая также, что холодопроизводительность установок должна регулироваться в широких пределах для стабилизации температуры кипения хладагента, как правило для охлаждения используются многокомпрессорные централи с 3 или 4 компрессорами средней холодопроизводительности (от 5 до 40 кВт каждый).

Также хранилища для хранения овощей и фруктов обычно размещаются не далеко от фермерских хозяйств за пределами городов, так как многие продукты требуют быстрого охлаждения после уборки урожая.

Хладагенты R717 (NH<sub>3</sub>) и R744 (NH<sub>3</sub>) имеют высокую энергетическую эффективность и экологическую безопасность, а также для их использования на территории фрукто- и овощехранилищ нет принципиальных технических препятствий. Тем не менее в данном исследовании не будет рассматриваться возможность их использования, так как ни поставщики оборудования, ни сервисные фирмы, ни сельскохозяйственные предприятия в развивающихся странах (таких как Казахстан) на данный момент не готовы к использованию данных хладагентов. Переход же к массовому использованию R717 (NH<sub>3</sub>) и R744 (NH<sub>3</sub>) требует комплексных мер по формированию общественного мнения о необходимости использования данных хладагентов, подготовке специалистов, совершенствованию нормативных документов в области промышленной безопасности, развитию цепей поставки данного оборудования. Даже если все эти работы будут начаты в настоящий момент времени, маловероятно, что они в развивающихся странах смогут быть выполнены в необходимом объеме к началу 2030-х годов.

Несмотря на наличие множества обзорных исследований перспективных экологически-безопасных хладагентов, вопрос выбора хладагентов для применения в фрукто- и овощехранилищах, применяемых в условиях континентального климата, ранее не был изучен, что показывает необходимость проведения данного исследования.

**Цели и задачи исследования**

Целью данного исследования является поиск экологически-безопасных хладагентов для замены R404a и R507a в новых холодильных системах фрукто- и ово-

шехранилищ, применяемых в условиях континентального климата в развивающихся странах.

Задачи исследования предполагают расчет энергетической эффективности циклов холодильных машин на различных хладагентах и сравнение их параметров.

### Объект и методы исследования

Рассмотрим работу холодильной машины со следующими параметрами. Тип холодильной машины: одноступенчатая с непосредственным кипением хладагента в воздухоохладителях. Параметры холодильного цикла: температура кипения  $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ; температура конденсации  $35\text{ }^{\circ}\text{C}$ ; полезный перегрев хладагента в воздухоохладителе  $8\text{ }^{\circ}\text{C}$ ; переохлаждение хладагента  $3\text{ }^{\circ}\text{C}$ . В качестве компрессоров рассмотрим полугерметичные поршневые (Frascold, Bitzer) и герметичные спиральные (Danfoss, Emerson) с холодопроизводительностью  $5\text{ кВт}$ . Хладагенты, рассматриваемые в качестве заменителей: R134a, R290, R407a, R407c, R407f, R410a, R448a, R449a, R450a, R452a, R454c, R455a, R513a, R600a, R1234yf. В представленном списке отсутствует современные смесовые хладагенты, предназначенных для замены R22, в связи с неопределенностью их теплофизических характеристик [15]. Список включает только те хладагенты, для которых на данный момент уже массово производятся компрессоры.

Для определения холодильного коэффициента компрессора и температуры паров использовалось программное обеспечение Frascold Selection Software, Bitzer Software (v6.17.6 rev2678), Danfoss Coolselector 2 (версия 4.6.0), Emerson Select 8 (8.5.3.3316). Использование программ от производителей компрессоров позволяет оценить уровень энергоэффективности, связанный с фактическим уровнем эффективности имеющихся моделей

компрессоров. Для определения других параметров хладагентов использовалась программа Danfoss ref Tools (версия 6.19.0 (702)).

### Результаты исследования

В табл. 1 представлены основные физические свойства рассмотренных хладагентов. Все хладагенты не разрушают озоновый слой (ODP=0). Все хладагенты имеют низкую токсичность (группа токсичности А). При этом многие хладагенты имеют сравнительно высокий потенциал глобального потепления.

В табл. 2 представлен результат расчета энергетической эффективности различных компрессоров при использовании рассматриваемых хладагентов.

При использовании таких распространенных хладагентов как R134a, R404a, R507a холодильный коэффициент существенно зависит от выбора конкретной модели компрессора и изменялся на  $15\%$ .

Использование таких хладагентов как R134a, R290, R407a, R407f, R450a, R513a, R1234yf с полугерметичными поршневыми компрессорами дало небольшое увеличение холодильного коэффициента систем по сравнению с R404a, R507. Однако учитывая изменения экологических требований, в долгосрочной перспективе (более 10 лет) из рассматриваемых хладагентов могут использоваться только R290a, R450a, R454c, R455a, R1234yf. Хладагенты R450a, R513a, R600a, R1234yf обладают сравнительно низкими давлениями насыщенных паров (примерно, как у хладагента R134a), что вызывает необходимость использования более дорого компрессора (на  $33\%$  дороже, чем для R404a или R507a). Из-за высоких давлений для работы с хладагентом R410a также требуются специальные компоненты, значительно увеличивающие стоимость холодильной машины. Плотность паров R600a

Таблица 1

### Свойства рассматриваемых хладагентов

Table 1

### Characteristics of the refrigerants in question

№	Хладагент	Температурный глайд, $^{\circ}\text{C}$	Группа горючести	Потенциал глобального потепления (GWP)	Абсолютное давление паров при температуре кипения $-5^{\circ}\text{C}$ , бар	Абсолютное давление паров при температуре конденсации $35^{\circ}\text{C}$ , бар	Степень повышения давления
1	R134a	0	1	1430	2,43	8,87	3,65
2	R290	0	3	3	4,06	12,18	3,00
3	R404a	0,75	1	3922	5,14	16,08	3,13
4	R407a	6,41	1	2107	4,18	14,38	3,44
5	R407c	7	1	1774	3,86	13,47	3,49
6	R407f	6,4	1	1825	4,37	15,06	3,45
7	R410a	0,08	1	2088	6,83	21,31	3,12
8	R448a	6,17	1	1387	4,34	14,62	3,37
9	R449a	5,72	1	1397	4,33	14,6	3,37
10	R450a	0,61	1	605	2,1	7,73	3,68
11	R452a	3,79	1	2140	4,76	15,48	3,25
12	R454c	7,81	2L	148	3,82	12,82	3,36
13	R455a	12,9	2L	148	4,08	13,67	3,35
14	R507	0	1	3985	5,36	16,6	3,10
15	R513a	0	1	631	2,72	9,41	3,46
16	R600a	0	3	3	1,31	4,65	3,55
17	R1234yf	0	2L	4	1,64	8,94	5,45

Таблица 2

## Данные о компрессорах для хладагентов

Table 2

## Characteristics of the compressors for the refrigerants

№	Хладагент	Полугерметичный поршневой компрессор			Герметичный спиральный компрессор		
		Холодильный коэффициент (COP), Вт/Вт	Модель компрессора	Цена компрессора, USD	Холодильный коэффициент (COP), Вт/Вт	Модель компрессора	Цена компрессора, USD
1	R134a	3,1...3,55	D3-13.1Y, 2EES-2Y-40S	912	3,0...3,4	MLZ026T5A	780
2	R290	3,41	B1.5-9.1AXH	684	3,4...3,8	ZB17KCU, ZB20KCU	нд
3	R404a	3,02...3,37	A1.5-7Y, 2GES-2Y-40S	650	3,3...3,62	MLZ015T4A	632
4	R407a	3,39...3,48	A1.5-8Y, 2GES-2Y-40S	650	3,61	MLZ015T4A	632
5	R407 c	3,22...3,4	B2-10.1Y, 2GES-2Y-40S	741	3,4...3,52	HRP025T4	578
6	R407f	3,43...3,46	B1.5-9.1Y, 2GES-2Y-40S	684	3,65	MLZ015T4A	632
7	R410a	3,39	4FDC-5Y-40S	2480	3,26...3,5	HRH029U5	710
8	R448a	3,23...3,25	A1.5-8Y, 2GES-2Y-40S	650	3,2...3,4	MLZ015T2A	709
9	R449a	3,21...3,23	A1.5-8Y, 2GES-2Y-40S	650	3,13...3,4	MLZ015T2A	709
10	R450a	3,46...3,48	D3-15.1Y	867	3,56	ZR48KRE-TFD	нд
11	R452a	3,08	A1.5-8Y, 2EES-2Y-40S	650	3,4	MLZ015T5A	632
12	R454 c	3,26...3,3	D2-11.1AXY, 2GES-2Y-40S	855	3,17	YH04K1E-TFMN	нд
13	R455a	3,3...3,35	B2-10.1AXY, 2GES-2Y-40S	741	3,03	YB12K1E-TFMN	нд
14	R507	3,1...3,43	A1.5-8Y, 2GES-2Y-40S	650	нд	нд	нд
15	R513a	3,14...3,5	D2-11.1Y, 2EES-2Y-40S	855	3,5...3,6	MLZ026T2A, YH04K1E-TFMN	801
16	R600a	2,91	Q4-24.1AXH	нд*	нд	нд	нд
17	R1234yf	3,42	2EES-2Y-40S	1175	3,43	YB21K1E-TFMN	нд

\*нд — нет данных

настолько мала, что его вообще не следует рассматривать для применения в крупных холодильных установках. Хладагент R290 горюч. Хладагенты R454 c, R455a, R1234yf относятся к трудновоспламеняющимся (группа A2L). При этом хладагент R455a по сравнению с R454 c обеспечил больший холодильный коэффициент и позволил использовать более дешевый компрессор.

С учетом энергетической эффективности и наличия оборудования в ближайшее время в Казахстане наиболее доступным хладагентами для замены R404a, R507 являются хладагенты R407a, R407 c, R407f. Однако, если все холодильное оборудование, которое сейчас использует R404a и R507 будет переведено на данные хладагенты, это не обеспечит выполнение плана, обозначенного в Кигалийской поправке.

В долгосрочной перспективе (через 10 лет), при сохранении высокой энергетической эффективности систем, при выполнении экологических требований в развивающихся странах, а также с учетом стремления сокращения стоимости оборудования, остаются доступными горючие и трудновоспламеняющиеся хладагенты: R290 и R455a. Также, если допустить возможность увеличения стоимости компрессора на 30%, доступны для применения негорючие хладагенты R450a, R513a.

При выборе хладагента стоит также учитывать, что в соответствии с правилами в странах Европы (постановление (EU) No 517/2014 о фторированных парниковых газах) уже с 1 января 2022 г. в крупных холодильных центрах с холодопроизводительностью более 40 кВт недопустимо использовать хладагенты с GWP > 150. Поэтому хладагенты R450a, R513a в перспективе в некото-

рых случаях могут попасть под ограничения и в развивающихся странах.

При выборе герметичного спирального компрессора использование хладагентов R134a, R407 c, R410a, R448a, R449, R452a, R454 c, R455a не вызывает повышения энергетической эффективности по сравнению с R404a. При выборе любого хладагента спиральные компрессоры в заданном температурном режиме оказались более эффективны, чем поршневые полугерметичные компрессоры. Использование хладагента R410a в заданных условиях не оправдано, так как не обеспечивает существенного роста холодильного коэффициента, но требует использования более дорогих компонентов. С учетом экологических требований в настоящий момент наиболее доступным вариантом для замены R404a в системах со спиральными компрессорами являются хладагенты R407a, R407 c, R407f. При совместном учете энергетической эффективности и экологических свойств в долгосрочной перспективе (более 10 лет) среди доступных хладагентов наилучшими характеристиками обладают хладагенты R290, R450a, R513a.

Рассмотрев риски, связанные с использованием горючих хладагентов в фрукто- и овощехранилищах, можно сделать следующие выводы. Доступ в их холодильные камеры и машинные отделения может быть строго ограничен. Поэтому в соответствии со стандартом ГОСТ EN378-1-2014 при использовании хладагентов группы A2, A3 в зависимости от ситуации максимальная заправка системы может быть ограничена 10...25 кг хладагента. По данным исследования [3] в системах фрукто- и овощехранилищ с непосредственной подачей хладагента

в воздухоохлаждатели как правило требуется 2 кг хладагента на 10 тонн хранимой продукции. Поэтому при сохранении существующих стандартов промышленной безопасности будет недопустимо использовать крупные холодильные централи, охлаждающие множество холодильных камер, с непосредственной подачей горючих хладагентов групп А2 или А3 в воздухоохлаждатели. Тем не менее для охлаждения будет допустимо использовать индивидуальные холодильные установки с хладагентами групп А2 и А3 для камер ёмкостью до 50...100 тонн, либо схемы с промежуточным теплоносителем.

Вопрос переоборудования старых систем с хладагентами R404a и R507a (ретрофит) в данной работе не был изучен и должен быть рассмотрен отдельно. Также следует отметить, что в дальнейшем следует провести более подробные исследования рисков использования хладагентов групп А2L, А2 и А3 в фрукто- и овощехранилищах.

### Заключение

Проведенный расчет холодильных коэффициентов циклов холодильных машин для фрукто- и овощехранилищ показал, что при использовании поршневых и спиральных компрессоров в ближайшее время доступной заменой для хладагентов R404a и R507 являются R407a, R407 с, R407f. При этом их использование позволит повысить холодильный коэффициент систем без увеличения стоимости компрессоров, но не обеспечит выполнение плана сокращения использования парниковых газов, принятого в Кигалийской поправке к Монреальскому протоколу.

### Литература

1. Целиков В. Н. Кигалийская поправка к монреальскому протоколу по веществам, разрушающим озоновый слой: перспективы и последствия. // Холодильная техника. 2017. № 4. С. 4–6.
2. Цветков О. Б., Лантев Ю. А., Митропов В. В., Просторова А. О., Зайнуллина Э. Р. Кигалийская поправка в контексте глобальных климатических императивов. // Холодильная техника. 2019. № 4. С. 24–30.
3. Имшенник Е. В., Наутин А. И. О влиянии Кигалийской поправки к Монреальскому протоколу на будущие выбросы гидрофторуглеродов в России. // Фундаментальная и прикладная климатология. 2021. № 1 (7). С. 101–116. DOI: <https://dx.doi.org/10.21513/2410-8758-2021-1-101-116>.
4. Целиков В. Н. Вступление в силу Кигалийской поправки к Монреальскому протоколу и возможные действия России. // Холодильная техника. 2019. № 2. С. 32–36.
5. Martinez C. I. P., Poveda A. C., Barreto D. R. T. Diagnosis and baseline refrigerant use in the Colombian meat, dairy, and fruit and vegetable industries. // International Journal of Refrigeration. 2021. Vol. 131. P. 448–458. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijrefrig.2021.08.017>.
6. Cardoso B. J., Lamas F. B., Gaspar A. R., Ribeiro J. B. Refrigerants used in the Portuguese Food Industry: Current Status. // International Journal of Refrigeration. 2017. Vol. 83. P. 60–74. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijrefrig.2017.07.013>.
7. Волосатова М. П., Горшков Е. В. Кигалийская поправка к Монреальскому протоколу как «триггер» для принятия

Если вводимые в эксплуатацию холодильные системы предполагается эксплуатировать более 10 лет, с учетом тенденции к сокращению использования хладагентов с высоким потенциалом глобального потепления, в новых малых холодильных установках, обслуживающих индивидуальные холодильные камеры, возможно использование горючих (R290) и трудновоспламеняющихся хладагентов (R455a). В малых холодильных установках, а также в крупных холодильных центрах с непосредственной подачей хладагента в воздухоохлаждатели, возможно использование негорючих хладагентов R450a и R513a. При этом хладагенты R455a, R450, R513a на данный момент обладают крайне высокой стоимостью, что ограничивает их распространение в странах с развивающейся экономикой. Также использование R455a, R450, R513a приводит к увеличению требуемой объемной производительности компрессоров, что увеличивает их стоимость примерно на 30%. Машины со спиральными компрессорами на хладагенте R455a будут иметь низкую энергетическую эффективность. В связи с этим существует значительная вероятность того, что в развивающихся странах в холодильных машинах для фрукто- и овощехранилищ распространение получит хладагент R290.

### Благодарности

Исследование финансируется Комитетом науки Министерства образования и науки Республики Казахстан (грант № AP09258901).

### References

1. Tselikov V. N. Kigali amendment to the Montreal Protocol on Substances that Deplete the Ozone Layer: prospects and consequences. *Refrigeration Technology*. 2017. No. 4. pp. 4–6. (in Russian)
2. Tsvetkov O. B., Laptev Yu. A., Mitropov V. V., Prostrova A. O., Zainullina E. R. The Kigali amendment in the context of global climate imperatives. *Refrigeration Technology*. 2019. No. 4. pp. 24–30. (in Russian)
3. Imshennik E. V., Nakhutin A. I. On the impact of the Kigali Amendment to the Montreal Protocol on future hydrofluorocarbon emissions in Russia. *Fundamental and Applied Climatology*. 2021. No. 1 (7). pp. 101–116. DOI: <https://dx.doi.org/10.21513/2410-8758-2021-1-101-116>. (in Russian)
4. Tselikov V. N. Entry into force of the Kigali Amendment to the Montreal Protocol and possible actions of Russia. *Refrigeration Technology*. 2019. No. 2. pp. 32–36. (in Russian)
5. Martinez C. I. P., Poveda A. C., Barreto D. R. T. Diagnosis and baseline refrigerant use in the Colombian meat, dairy, and fruit and vegetable industries. *International Journal of Refrigeration*. 2021. Vol. 131. P. 448–458. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijrefrig.2021.08.017>.
6. Cardoso B. J., Thomas F. B., Gaspar A. R., Ribeiro J. B. Refrigerants used in the Portuguese Food Industry: Current Status. *International Journal of Refrigeration*. 2017. Vol. 83. P. 60–74. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijrefrig.2017.07.013>.
7. Volosatova M. P., Gorshkov E. V. The Kigali Amendment to the Montreal Protocol as a «trigger» for the Russian Federation

- Российской Федерацией мер в связи с изменением климата. // Охрана окружающей среды и заповедное дело. 2020. № 1. С. 46–55.
8. Пронин В. А., Кованов А. В., Калашникова Е. А., Цветков В. А. Перспектива использования озонобезопасных хладагентов с низким потенциалом глобального потребления в спиральных компрессорах. Часть 1. // Омский научный вестник. Серия авиационно-ракетное и энергетическое машиностроение. 2021. № 4 (5). С. 9–16. DOI: <https://dx.doi.org/10.25206/2588-0373-2021-5-4-9-16>.
  9. Цветков О. Б., Клецкий А. В., Лантев Ю. А., Ефременкова А. К. Скрининг глобальных климатических приоритетов выбора рабочих веществ низкотемпературных установок. // Вести газовой науки. 2018. № 5 (37). С. 187–191.
  10. Татаренко Ю. В., Рачковский Н. О. К вопросу применения рабочих веществ в пароконпрессорных тепловых насосах. // Техника и технология нефтехимического и нефтегазового производства. Материалы 9-ой международной научно-технической конференции, Омск, 26–28 февраля 2019 года. 2019. С. 111–112.
  11. Цветков О. Б., Митропов В. В., Лантев Ю. А. Теплопроводность жидких гидрофторхлорпроизводных олефинов. Корреляции и априорные оценки // Вестник Международной академии холода. 2021. № 3. С. 75–80. DOI: [10.17586/1606-4313-2021-20-3-75-80](https://doi.org/10.17586/1606-4313-2021-20-3-75-80)
  12. Мазурин И. М., Науменко С. Н. Применение европейского опыта при замене гидрофторуглеродов в климатических установках на отечественном железнодорожном транспорте. // Вестник Научно-исследовательского института железнодорожного транспорта. 2021. № 2 (80). С. 118–123. DOI: <https://dx.doi.org/10.21780/2223-9731-2021-80-2-118-123>.
  13. Тюрюкова Е. П., Кустикова М. А., Быковская Е. А. Метод спектроскопии комбинационного рассеяния в анализе хладагентов, классифицированных как озоноразрушающие вещества // Вестник Международной академии холода. 2021. № 4. С. 59–65.
  14. Heredia-Aricapa Y., Belman-Flores J. M., Mota-Babiloni A., Serrano-Arellano J., García-Pabón Juan J. Overview of low GWP mixtures for the replacement of HFC refrigerants: R134a, R404A and R410A. // International Journal of Refrigeration. 2020. Vol. 111. P. 113–123. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijrefrig.2019.11.012>.
  15. Бабакин Б. С. Перспективы применения ряда хладагентов группы ГФУ для замены хладагента R22. // Холодильная техника. 2019. № 7. С. 22–25.
  16. Чередниченко А. В., Чередниченко В. С., Цой А. П., Комлева В. С., Токпаев З. Р. Оценка эмиссии от фторзаменителей ОРВ в Казахстане в рамках проведения национальной инвентаризации парниковых газов. // Гидрометеорология и экология. 2021. № 1. С. 130–145.
  8. Pronin V. A., Kovanov A. V., Kalashnikova E. A., Tsvetkov V. A. The prospect of using ozone-safe refrigerants with low global consumption potential in scroll compressors. Part 1. *Omsk Scientific Bulletin. A series of aviation-rocket and power engineering*. 2021. No. 4 (5). pp. 9–16. DOI: <https://dx.doi.org/10.25206/2588-0373-2021-5-4-9-16>. (in Russian)
  9. Tsvetkov O. B., Kletsy A. V., Laptev Yu. A., Efrementkova A. K. Screening of global climatic priorities for the selection of working substances of low-temperature installations. *News of gas science*. 2018. No. 5 (37). pp. 187–191. (in Russian)
  10. Tatarenko Yu. V., Rachkovsky N. O. On the issue of the use of working substances in steam compressor heat pumps. *Equipment and technology of petrochemical and oil and gas production. Proceedings of the 9th International Scientific and Technical Conference, Omsk, February 26–28, 2019*. 2019. pp. 111–112. (in Russian)
  11. Tsvetkov O. B., Mitropov V. V., Laptev Yu. A. Thermal conductivity of liquid hydrofluorochloroderivatives of olefins. Correlations and a priori estimates. *Journal of International Academy of Refrigeration*. 2021. No 3. p. 75–80. DOI: [10.17586/1606-4313-2021-20-3-75-80](https://doi.org/10.17586/1606-4313-2021-20-3-75-80). (in Russian)
  12. Mazurin I. M., Naumenko S. N. Application of the European experience in the replacement of hydrofluorocarbons in climatic installations on domestic railway transport. *Bulletin of the Research Institute of Railway Transport*. 2021. No. 2 (80). pp. 118–123. DOI: <https://dx.doi.org/10.21780/2223-9731-2021-80-2-118-123>. (in Russian)
  13. Tyurikova E. P., Kustikova M. A., Bykovskaia E. A. Raman spectroscopy for the analysis of refrigerants classified as ozone depleting substances. *Journal of International Academy of Refrigeration*. 2021. No 4. p. 59–65. DOI: [10.17586/1606-4313-2021-20-4-59-65](https://doi.org/10.17586/1606-4313-2021-20-4-59-65). (in Russian)
  14. Heredia-Aricapa Y., Belman-Flores J. M., Mota-Babiloni A., Serrano-Arellano J., García-Pabón Juan J. Overview of low GWP mixtures for the replacement of HFC refrigerants: R134a, R404A and R410A. *International Journal of Refrigeration*. 2020. Vol. 111. P. 113–123. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijrefrig.2019.11.012>.
  15. Babakin B. S. Prospects for the use of a number of refrigerants of the HFC group to replace the refrigerant R22. *Refrigerating Technology*. 2019. No. 7. pp. 22–25. (in Russian)
  16. Cherednichenko A. V., Cherednichenko V. S., Tsoi A. P., Komleva V. S., Tokpaev Z. R. Assessment of emissions from fluorine substitutes for ODS in Kazakhstan within the framework of the national greenhouse gas inventory. *Hydrometeorology and ecology*. 2021. No. 1. pp. 130–145. (in Russian)

## Сведения об авторах

**Цой Александр Петрович**

К. т. н., ассоциированный профессор кафедры «Машины и аппараты производственных процессов», Алматинский технологический университет, Казахстан, A05H0E2, г. Алматы, ул. Толе би, 100, teniz@bk.ru. ORCID: 0000-0002-3073-6698. Scopus ID: 57195570143. РИНЦ ID: 792063.

**Грановский Александр Сергеевич**

Старший научный сотрудник кафедры «Машины и аппараты производственных процессов», Алматинский технологический университет, Казахстан, A05H0E2, г. Алматы, ул. Толе би, 100, granovskiy.a@rambler.ru. ORCID: 0000-0002-1191-038X. Scopus ID: 57195570324. РИНЦ ID: 1073647

**Воробьева Ольга Дмитриевна**

Младший научный сотрудник кафедры «Машины и аппараты производственных процессов», Алматинский технологический университет, Казахстан, A05H0E2, г. Алматы, ул. Толе би, 100, olga.vorobyova842@gmail.com. ORCID: 0000-0001-7942-6562.

## Information about authors

**Tsoy Aleksandr P.**

Ph. D., Associate professor of Department of Machines and Apparatus for Production Processes, Almaty Technological University, Tole bi str., 100, Almaty, Kazakhstan, A05H0E2, teniz@bk.ru. ORCID: 0000-0002-3073-6698. Scopus ID: 57195570143. РИНЦ ID: 792063.

**Granovskiy Aleksandr S.**

Senior researcher of Department of Machines and Apparatus for Production Processes, Almaty Technological University, Tole bi str., 100, Almaty, Kazakhstan, A05H0E2, granovskiy.a@rambler.ru. ORCID: 0000-0002-1191-038X. Scopus ID: 57195570324. РИНЦ ID: 1073647

**Vorobyova Olga D.**

Junior researcher of Department of Machines and Apparatus for Production Processes, Almaty Technological University, Tole bi str., 100, Almaty, Kazakhstan, A05H0E2, olga.vorobyova842@gmail.com. ORCID: 0000-0001-7942-6562.



Статья доступна по лицензии

Creative Commons «Attribution-NonCommercial»

## Требования к рукописям, представляемым в журнал «Вестник МАХ»

- В начале статьи, слева – УДК;
- После названия статьи – авторы с указанием места работы и контактной информации (e-mail);
- Аннотация должна быть полноценной и информативной, не содержать общих слов, отражать содержание статьи и результаты исследований, строго следовать структуре статьи. Рекомендуемый объем 150 – 200 слов на русском и английском языках. Ключевые слова – 5-7.
- **Статья должна быть структурирована:**  
**Во введении** необходимо представить содержательную постановку рассматриваемого вопроса, провести краткий анализ известных из научной литературы решений (со ссылками на источники), дать критику их недостатков, показать научную новизну и преимущество (особенности) предлагаемого подхода.  
**В основном тексте** статьи должна быть представлена строгая постановка решаемой задачи, изложены и обстоятельно разъяснены (доказаны) полученные утверждения и выводы, приведены результаты экспериментальных исследований или математического моделирования, иллюстрирующие сделанные утверждения. Основной текст статьи должен быть разбит на содержательные разделы.
- **В заключении (Выводы)** необходимо кратко сформулировать основные результаты, прокомментировать их и, если возможно, указать направления дальнейших исследований и области применения.
- объем статьи 15–20 страниц (формат А4, вертикальный, 210x297 мм, размер шрифта 14, интервал 1,5), включая аннотацию, рисунки, литературу; поля: левое – 2 см, правое – 2 см, верхнее – 2 см, нижнее – 2 см;
- Список литературных источников должен быть оформлен по ГОСТу и содержать ссылки только на опубликованные работы. Самоцитирование не более 25%, список литературы должен содержать источники не старше 5 лет и включать в себя зарубежные публикации по данной тематике. Количество пристатейных ссылок не менее 15-20.

*Статьи, оформленные с нарушением правил, редакцией не принимаются и возвращаются авторам без рассмотрения по существу. Автор гарантирует отсутствие плагиата и иных форм неправомерного заимствования результатов других произведений.*

### Данные об аффилировании авторов (author affiliation).

На отдельной странице предоставляются сведения об авторах на русском и английском языках: фамилия, имя, отчество полностью, ученая степень, должности основного места работы (учебы); наименование и почтовые адреса учреждений, в которых работают авторы, e-mail, ORCID; Scopus ID; РИНЦ ID

Плата за публикации не взимается

Дополнительная информация для авторов на сайте <http://vestnikmax.ifmo.ru>