

УДК 621.56/59(063)  
ББК 31.392  
К 14

Сборник подготовлен под редакцией  
доктора технических наук, академика Кулажанова Т.К.

**Редакционная коллегия:**

Цой А.П., Шалбаев К.К., Галкин М.Л., Андреева В.И. (ответ. секретарь)

К 14 Казахстан-Холод 2019: Сб. докл.межд.науч.-техн.конф. (20-21 февраля 2019г.) = Kazakhstan-Refrigeration 2019: Proceedings of the Conference (February 20-21, 2019). – Алматы: АТУ, 2019. – 218 с., русский, английский

ISBN 978-601-263-484-6

В докладах представлены результаты научных исследований, посвященные холодильным компрессорам, теплообменным аппаратам, системам автоматизации, цифровизации, технологиям холодильного хранения и переработки плодов и овощей и практическим внедрениям, представленные из Казахстана, России, Украины, Германии, Австрии, Беларуси, Кыргызстана, Голландии, Швейцарии и Узбекистана. Сборник рассчитан на специалистов и ученых, работающих в областях холодильной техники, пищевой и химической промышленности, а также на специалистов систем кондиционирования воздуха и жизнеобеспечения жилых, коммерческих зданий и спортивных комплексов.

The proceedings present the results of scientific research on refrigeration compressors, heat exchangers, automation systems, digitalization, refrigeration storage technology and the processing of fruits and vegetables and practical implementations submitted from Kazakhstan, Russia, Ukraine, Germany, Austria, Belarus, Kyrgyzstan, Holland, Switzerland and Uzbekistan. The proceedings are devoted to professionals and scientists working in the fields of refrigeration, food and chemical industries, as well as to specialists in air conditioning systems and life support of residential, commercial buildings and sports complexes.

УДК 621.56/59(063)  
ББК 31.392

ISBN 978-601-263-484-6

© АТУ, 2019

3. VDI 2053 Air treatment systems for car parcs. January 2004.
4. Волков, А. П. Экология и расчет воздухообмена подземных автостоянок / А. П. Волков, А. В. Свердлов, С. В. Рыков // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия: Холодильная техника и кондиционирование. – 2014. – № 3 – С. 9-16.
5. СП 300.1325800.2017. Системы струйной вентиляции и дымоудаления подземных и крытых автостоянок. Правила проектирования.
6. ГОСТ 12.1.005–88. Система стандартов безопасности труда. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны.
7. Волков, А. П. Фактор энергоэффективности при выборе параметров системы вентиляции автостоянки закрытого типа / А. П. Волков, А. В. Свердлов, С. В. Рыков, М. А. Волков // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия: Холодильная техника и кондиционирование. – 2015. – № 3. – С. 28-36.
8. Свердлов, А. В. Расчетные методы проектирования продольных струйных систем вентиляции автостоянок закрытого типа / А. В. Свердлов, А. П. Волков, С. В. Рыков, М. В. Климович, М. А. Волков // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия: Холодильная техника и кондиционирование. – 2016. – № 4. – С. 23–32.
9. Вишневецкий, Е. П. Противодымная защита крытых и подземных автопарковок, оборудованные струйной (импульсной) вентиляцией / Е. П. Вишневецкий, А. П. Волков // Мир строительства и недвижимости. – 2012. – № 44. – С. 54-56 с.
10. Свердлов, А. В. Система реверсивной струйной вентиляции четырехэтажной подземной автостоянки в Казани / А. В. Свердлов, А. П. Волков. // Инженерные системы. – 2018. – № 4. – С. 20–22.
11. Волков, А. П. Реверс воздушного потока при продольной вентиляции и дымоудалении подземных и крытых автостоянок / А. В. Свердлов, А. П. Волков. // АВОК Вентиляция. Отопление. Кондиционирование. – 2015. – №1. – С. 34 – 38.
12. СТО НОСТРОЙ 2.15.194-2016. Инженерные сети зданий и сооружений внутренние. Системы струйной вентиляции и дымоудаления подземных и крытых автостоянок. Правила проектирования и монтажа, контроль выполнения, требования к результатам работ.

УДК 621.564:621.577

## CHOICE OF ZEOTROPIC MIXTURES OF REFRIGERATORS FOR VAPOR-COMPRESSION HEAT PUMPS

### ВЫБОР ЗЕОТРОПНЫХ СМЕСЕЙ ХЛАДАГЕНТОВ ДЛЯ ПАРОКОМПРЕССИОННЫХ ТЕПЛОВЫХ НАСОСОВ

<b>Volchok V.A.,</b> Cand. Tech. Sc.	<b>Волчок В.А.,</b> канд. тех. наук
Odessa National Academy of Food Technologies, Ukraine, 65039, Odessa, Kanatnaya Str., 112	Одесская национальная академия пищевых технологий, Украина, 65039, Одесса, ул. Канатная, 112
<b>E-mail:</b> recvicv@gmail.com	

#### Abstract

The issues of the use of heat pumps are considered taking into account the features of operation. The working bodies are analyzed and the optimal composition of a zeotropic mixture of coolants of heat pump equipment is analyzed.

## Аннотация

Рассмотрены вопросы применения тепловых насосов с учётом особенностей эксплуатации. Проанализированы рабочие тела и проведен анализ оптимального состава зеотропной смеси хладагентов теплонасосной техники.

Применение тепловых насосов (ТН) даёт возможность преобразования низкопотенциальной теплоты в энергию более высокого потенциала, сэкономить невозобновляемые энергоресурсы, снизить до минимума загрязнение окружающей среды и удовлетворить нужды потребителей в высокопотенциальном тепле.

По различным оценкам низкое энергопотребление позволяет получить на 1 кВт фактически затраченной энергии 3-6 кВт тепловой энергии или до 2 кВт мощности по охлаждению. Такая высокая эффективность достигается тем, что ТН вовлекает в полезное использование низкопотенциальное тепло естественного происхождения (теплоту грунта, грунтовых вод, природных водоемов, солнечной энергии) и техногенного происхождения (теплоту промышленных стоков, технологических выбросов, очистных сооружений, вентиляции) с температурой от +3°C до +40°C, т.е. такое тепло, которое не может быть напрямую использовано для теплоснабжения [1].

Производство ТН в развитых странах мира, прежде всего, ориентировано на удовлетворение потребностей внутреннего рынка. ТН довольно интенсивно вытесняют традиционные способы теплоснабжения, основанные на сжигании органического топлива. Большую часть эксплуатируемого в мире теплонасосного оборудования составляют пароконденсационные ТН. В качестве рабочего тела в теплонасосных циклах используют хладагенты. В ТН имеется три основных агрегата (испаритель, конденсатор и компрессор) и три контура (хладоновый, водный низкопотенциального источника и водный отопления).

При проектировании теплонасосной техники на рабочих телах необходимо оценивать их преимущества и недостатки. К одним из достоинств ТН относится снижение капитальных затрат за счет отсутствия газовых взрывоопасных коммуникаций, увеличение безопасности жилища, возможность одновременного получения от одной установки отопления, горячего водоснабжения и кондиционирования.

Рабочие тела для холодильной и теплонасосной техники по-прежнему остаются в центре внимания, и обсуждение проблем, связанных с сопутствующими им озоновыми дырами и глобальным потеплением, не утихают. Озабоченность человечества глобальным потеплением климата на планете способствовала выработке рекомендаций и требований, предъявляемых к хладагентам четвертого поколения, отличительной особенностью которых является ограничение эмиссии парниковых газов. В эту группу вошли хладагенты с низким значением потенциала глобального потепления и природные хладагенты.

На сегодняшний день альтернативой природным хладагентам являются однокомпонентные вещества и смеси с низким значением потенциала глобального потепления (GWP).

Смеси представляют собой хорошую альтернативу для замены озоноопасных хладагентов. Смесь состоит из двух или более чистых рабочих жидкостей, и может быть зеотропная, азеотропная или близкой к азеотропной. Переходные хладагенты содержат в своем составе небольшую часть R22 или другие хлорсодержащие рабочие жидкости.

В обзоре [2] опубликован исчерпывающий литературный анализ испытаний и необходимых изменений в действующем оборудовании, в частности, в конструкциях компрессоров, теплообменников, регулирующих устройств и смазки. Проведенные испытания показали, что R410A имеет одинаковую или лучшую энергоэффективность по сравнению с R22. Для систем охлаждения наблюдалось ее увеличение на 1 – 7 %, а для систем обогрева – от уменьшения эффективности на 3 % до повышения на 7 %. До 5 % роста эффективности можно получить, используя противоточные теплообменники, чтобы приблизиться к термодинамическому циклу Лоренца, который позволяет использовать температурный глайд для испарителей и конденсаторов противоточного типа.

Смесевые хладагенты R407C и R410A - наиболее распространенные хладагенты, ис-

пользуемые в долгосрочных перспективных объектах, призванные, в конечном итоге, заменить все хлорсодержащие рабочие жидкости. R407C состоит из смеси хладонов R32, R125 и R134a (20/40/40 масс. %) и имеет большой температурный глайд ( $\Delta T_{gl}=6,52$  K). R410A представляют собой смесь R32 и R125 (50/50 масс. %) и имеет минимальный температурный глайд ( $\Delta T_{gl}=0,05$  K). При замене хладонов в уже существующих установках необходимо учитывать множество особенностей, поэтому возникает необходимость замены некоторых компонентов теплонасосных систем или проводить существенную реконструкцию при замене хладонов в существующих установках.

Определение энергетической эффективности парокомпрессионных ТН, работающих на зеотропных смесевых хладагентах, удовлетворяющих требованиям, предъявляемым к хладагентам последнего поколения, является важной задачей.

Из анализируемой группы хладонов можно отобрать три хладагента, которые приемлемы по экологическим требованиям. Это хладагенты R32, R134a и R152a. Наиболее безопасным с экологической точки зрения является хладагент R152a. Теплофизические характеристики близки к характеристикам хладона R12 и R134a. Хотя хладон R152a является хорошим заменителем хладона R12, однако в чистом виде он не используется из-за его горючести. Применяется R152a преимущественно в негорючих смесях хладагентов. Хладагент R152a токсикологически безопасен, термически и химически стабилен.

По экологическим характеристикам представляет интерес хладон R32, не содержащий в себе атомов хлора. По своим холодильным свойствам он схож с хладагентом R502 (R22/R115 48,8/51,2 масс.%) и R22. Однако в чистом виде не может рассматриваться как заменитель этих двух хладагентов, так как давления паров при сжатии слишком высокие. Кроме того R32 имеет пределы взрывоопасности (12,7 – 33,4 объемного % в воздухе), по этой причине он классифицируется как «высоковоспламеняемый». И напротив, R32 отлично подходит в качестве компонента смеси для альтернативных хладагентов. Так он уже применяется в составе многокомпонентных смесей хладагентов R407A – R407D, R410A и R410B [3].

Наилучшим выходом из сложившейся ситуации является использование смесей хладагентов из отобранных по экологическим характеристикам однокомпонентных веществ. В отечественных и зарубежных источниках опубликовано большое количество материалов, касающихся физико-химических свойств зеотропных смесей хладагентов. Ряд авторов отмечают, что зеотропные хладагенты имеют неизотермичность фазового перехода или температурный глайд. Температурный глайд может быть использован для повышения производительности, но для этого требуется изменение конструкции оборудования.

Преимуществом смесей является то, что они могут быть выполнены под каждую систему индивидуально, чтобы соответствовать конкретным потребностям. Температурный глайд для различных смесей является переменной величиной. Концентрации паровой и жидкой фаз зеотропной смеси в условиях термодинамического равновесия различаются, а изомеры под пограничной кривой в  $\lg P-i$  координатах (давление – энтальпия) имеют наклон.

Работа с зеотропными хладагентами требует выполнения определенных правил, игнорирование которых при эксплуатации установки может привести к ряду нежелательных последствий. Это связано в первую очередь с возможностью изменением концентрации входящих в смесь компонентов в процессе заправки, что в конечном итоге повлияет на его термодинамические свойства.

Хладагенты, имеющие незначительные коэффициенты теплоотдачи, не могут работать также эффективно, как те, у которых коэффициенты теплоотдачи выше, несмотря даже на их термодинамическое преимущество. Однако усовершенствование конструкции может нивелировать это различие. Аналогичным образом смеси с большим глайдом, например, R407E ( $\Delta T_{gl}=7,26$  K), могут не достигать производительности, указанной для конструкций теплообменников с поперечным потоком (например, для воздуха и, реже, для воды, движущейся перпендикулярно потоку хладагента), но могут превзойти ее в теплообменниках с противотоком [4, 5].

В качестве рабочих тел закрытого теплосилового контура ТН можно рассматривать озонобезопасные бинарные зеотропные смеси R32/R134a и R32/R152a. Особенностью при-

менения хладагента R32 заключается в высоком значении давления (до 4,9 МПа при температуре 70°C). Для поршневых компрессоров, используемых в теплонасосной и хладотехнике, максимальные рабочие давления до 2,8 МПа. Этот фактор учитывался при выборе состава зеотропной смеси хладагентов. Были проведены расчеты смесей хладагенов R32/R134a и R32/R152a с различной концентрацией компонентов. Определен состав смеси, для которой при достаточно высокой производительности (в сравнении с R12), рабочие давления находятся в допустимых пределах. Это возможно при содержании хладагента R32 в смеси до 30%. Так для хладагента R32/R134a (30/70) давление конденсации при температуре 63°C составляет 2,5 МПа, для смеси R32/R152a (30/70) – 2,1 МПа. Проведенный анализ показывает, что рассмотрение смесей с содержанием в смеси хладагента R32 более 30% нецелесообразно.

### Список литературы

1. Янтовский, Е. И., Левин, Л. А. Промышленные тепловые насосы. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 128 с.
2. Minor, В. Н. R410A and R407C design and performance – a literature review [Text] / В. Н. Minor // Proc. of the Earth Technologies Forum, Arlington, Va., Alliance for Responsible Atmospheric Policy, 2004.
3. Волчок, В. О. Термодинамічні властивості альтернативних холодоагентів серії R400: автореф. дис. ... канд. техн. наук: (спец. 05.14.06 – технічна теплофізика та промислова теплоенергетика: захист 03.07.2013) / Волчок Віктор Олександрович; наук. кер. М. І. Лапардін. – О., 2013. – 17 с.
4. Антаненкова, И. С. Термодинамическая эффективность теплонасосных установок / И. С. Антаненкова, А. А. Сухих // Вестник Международной академии холода. – 2013. – № 1. – С.43-47.
5. Zhao, L. Thermodynamic analysis of organic Rankine cycle using zeotropic mixtures / L. Zhao, J. Bao // Applied Energy. – Vol. 130. – 2014. – P. 748-756.

УДК 536.242

## COOLING OF ELEMENTS OF REFRIGERATION SYSTEMS AND FOOD PRODUCTS USING ELECTROPHYSICAL METHODS

## ОХЛАЖДЕНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ ХОЛОДИЛЬНЫХ СИСТЕМ И ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИХ МЕТОДОВ

<p><b>Babakin B.S.<sup>a</sup></b>, Doct. Tech. Sc., professor  <b>Voronin M.I.<sup>b</sup></b>, Cand. Tech. Sc., associate professor  <b>Malev R.Y.<sup>c</sup></b>  <b>Mejevov A.V.<sup>d</sup></b></p>	<p><b>Бабакин Б.С.<sup>a</sup></b>, док.тех. наук, профессор  <b>Воронин М.И.<sup>b</sup></b>, канд.тех.наук, доцент  <b>Малёв Р.Ю.<sup>c</sup></b>  <b>Межевов А.В.<sup>d</sup></b></p>
<p>Federal state budgetary educational institution of higher education "Moscow state University of food production",  Russia, 125080, Moscow,  Volokolamsk highway, 11</p>	<p>Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный университет пищевых производств»,  Россия, 125080, Москва,  Волоколамское шоссе, 11</p>
<p><b>E-mail:</b> a – holod@mgupp.ru; b – aspirantpp@yandex.ru; c – fairytown@rambler.ru; d – andrey_mejevov@mail.ru</p>	

<b>Буданов В.А.</b> Обзор конструкций холодильных спиральных компрессоров <b>Budanov V.A.</b> Overview of refrigeration scroll compressor designs	50
<b>Свердлов А.В., Волков А.П., Рыков С.В., Волков М.А.</b> Экология и энергоэффективность при проектировании струйных систем вентиляции подземных автостоянок <b>Sverdlov A.V., Volkov A.P., Rykov S.V., Volkov M.A.</b> Ecology and energy efficiency in the design of jet ventilation systems of underground parking	56
<b>Волчок В.А.</b> Выбор зеотропных смесей хладагентов для парокомпрессионных тепловых насосов <b>Volchok V.A.</b> Choice of zeotropic mixtures of refrigerators for vapor-compression heat pumps	63
<b>Бабакин Б.С., Воронин М.И., Малёв Р.Ю., Межевов А.В.</b> Охлаждение элементов холодильных систем и пищевых продуктов с использованием электрофизических методов <b>Babakin B.S., Voronin M.I., Malev R.Y., Mejevov A.V.</b> Cooling of elements of refrigeration systems and food products using electrophysical methods	66
<b>Георгиев Е.В.</b> Выбор оптимальных параметров температуры при микроволновом экстрагировании <b>Georgiiev E.V.</b> Selection of optimal temperature parameters during microwave extraction	69
<b>Данько В.П.</b> Исследование гидродинамики теплообменных аппаратов систем жизнеобеспечения от свойств абсорбента <b>Danko V.P.</b> Study of hydrodynamics of heat and mass transfer devices of life support systems from the properties of the absorbent	73
<b>Евдокимов В.С., Максименко В.А., Кузьменков А.А., Рожков Н.С.</b> Компрессорный холодильный агрегат для термостабилизаторов грунта <b>Evdokimov V.S., Maksimenko V.A., Kuzmenkov A.A., Rozhkov N.S.</b> Refrigeration unit for soil thermostabilizer	78
<b>Жихарева Н. В., Хмельнюк М.Г.</b> Оптимизация многозональных VRF систем кондиционирования воздуха <b>Zhykharieva N.V., Khmelniuk M.G.</b> Optimization of multi-zone VRF air-conditioning systems	82
<b>Акимов А., Кабулов Б.Б., Мустафаева А.К., Бакиева А.Б., Ташыбаева М.М.</b> Способ измельчения замороженного мясного сырья <b>Akimov A., Kabulov B.B., Mustafaeva A.K., Bakieva A.B., Tashybaeva M.M.</b> The method of grinding frozen raw meat	87
<b>Какимов А.К., Суйчинов А.К., Есимбеков Ж.С., Байкадамова А.М., Кабдылжар Б.К.</b> Низкотемпературная обработка сырья при получении мясокостной пасты <b>Kakimov A.K., Suychinov A.K., Yessimbekov Zh.S., Baikadamova A.M., Kabdylzhar B.K.</b> Low-temperature processing of raw materials in the production of meat-bone paste	89