Библиотека СОК

Б. С. Бабакин,
В. И. Стефанчук,
Е. Е. Ковтунов

Альтернативные хладагенты и сервис холодильных систем на их основе

СПРАВОЧНОЕ РУКОВОДСТВО

Рекомендуется научно-методическим советом по образованию в области оборудования по переработке сырья и продуктов животного происхождения УМО Министерства образования РФ в качестве учебного пособия для студентов вузов, обучающихся по специальности 230100 «Эксплуатация и обслуживание транспортных и технологических машин и оборудования (холодильные установки, оборудование и системы кондиционирования воздуха)»

МОСКВА «КОЛОС» 2000

УДК 621.564
ББК 31.392
Б12

Редактор *Г. А. Гусева*

Рецензенты: д-р техн. наук, проф. *О. Б. Цветков* (вице-президент МАХ), д-р техн. наук, проф. *Б. С. Тихонов* (кафедра энергетики и холодильной техники РЭА им. Г. В. Плеханова)

Бабакин Б. С., Стефанчук В. И., Ковтунов Е. Е.

Б12 Альтернативные хладагенты и сервис холодильных систем на их основе. — М.: Колос, 2000. — 160 с.: ил.

ISBN 5—10—003679—6.

Показана экологическая целесообразность применения альтернативных хладагентов в холодильных системах. Подробно рассмотрены альтернативные одно- и многокомпонентные хладагенты (смеси) для холодильных систем, в том числе систем кондиционирования воздуха и рефрижераторного транспорта. Даны рекомендации по применению различных типов холодильных масел с альтернативными хладагентами, показана их совместимость с холодильными маслами, пластмассами, эластомерами и металлами. Значительное внимание уделено сервису холодильных систем — ретрофиту холодильного оборудования с заменой хладагентов R12, R502, R500 и R22 на R134a, R401A, *R401B*, *R404A*, *R507*, *R409A*, *R408A*, *R402A*, *R402B*, R407C и др.

Подробно рассмотрены технические средства для сервиса холодильных систем, правила безопасности при работе с альтернативными хладагентами, их воздействие на организм человека.

В приложениях приведены физические характеристики традиционных и альтернативных хладагентов.

Для специалистов холодильной промышленности.

Рекомендуется в качестве учебного пособия для студентов вузов соответствующих специальностей.

УДК 621.564
ББК 31.392

© Бабакин Б. С., Стефанчук В. И., Ковтунов Е. Е., 2000
© Оформление, подготовка текста и иллюстраций к изданию. Издательство Колос, 2000

ISBN 5—10—003679—6

Перед вами удивительно своевременная книга, посвященная применению озонобезопасных хладагентов. В статьях и дискуссиях все еще продолжаются споры об экологической безопасности хладагентов, а специалистов, работающих в области холодильной и криогенной техники, систем кондиционирования, транспортных холодильных систем, уже ждут неотложные вопросы, скрытые под терминами «retrofit» и «drop-in», вопросы совместимости альтернативных рабочих веществ с маслами и водой, со «старыми» хладагентами, совместимости с материалами и эластомерами наравне с токсичностью, пожаро- и взрывобезопасностью. Специалисты действительно найдут в этой книге ответы на высокопрофессиональном уровне, до мельчайших подробностей касающиеся устройства и сервиса, которые известны, пожалуй, лишь узкому кругу посвященных.

Книга интересна композиционно и по содержанию, включая и приложения к ней. Студенты и аспиранты, инженерно-технические работники холодильных специальностей, на мой взгляд, — это именно та аудитория, которая ждет эту книгу.

Можно поздравить авторов, издательство «Колос» и многочисленных читателей с выходом этой без преувеличения востребованной временем книги.

Вице-президент МАХ
д-р техн. наук, профессор
О. Б. ЦВЕТКОВ

Предисловие

С середины XVIII и до начала XX в. в качестве хладагентов для холодильных систем применяли различные вещества: воду, диэтиловый и метиловый эфиры, аммиак, диоксид углерода, сернистый ангидрид, метилхлорид и др. Первым хладагентом стала вода — в 1755 г. ее использовали в этом качестве в лабораторной установке, которую создал Вильям Галлен. Позднее, в 1834 г., Якоб Перкинс изготовил компрессионную машину, работавшую на диэтиловом эфире, а в 1844 г. Джон Горри — машину со сжатием и расширением воздуха. В 1859 г. Фердинанд Карре создал абсорбционную холодильную машину, работавшую на аммиаке, а четыре года спустя Чарльз Теллер испытал компрессор, работающий на метиловом эфире.

В связи с активной организацией в США серийного производства бытовых холодильников в качестве хладагентов до конца 20-х годов XX в. широко использовали сернистый ангидрид и аммиак. После выпуска в 1930 г. компанией «Кинетик Кемикалз Инк» (США) первых партий дихлордифторметана, относящегося к группе хлорфторуглеродов (ХФУ), и организации его промышленного производства в 1932 г. многие рабочие вещества, кроме аммиака, почти полностью исчезли с рынка хладагентов. Эта же компания ввела в обращение торговое наименование фреон-12. Обозначение хладагента буквой R, так же как и наименование фреон, стало общепринятым.

В середине 30-х годов было налажено производство в промышленных масштабах хладагентов R11, R113 и R114. Хладагент R11 в дальнейшем начали широко применять в системах кондиционирования воздуха. С 1935 г. был организован выпуск хладагента R22, относящегося к группе гидрохлорфторуглеродов (ГХФУ). Применяли R22 в низкотемпературных холодильных установках. В 1952 г. был получен хладагент R502, заменивший R22 в низкотемпературных холодильных установках, что позволило снизить температуру нагнетания в компрессорах, характерную для R22. Для получения очень низких температур затем были разработаны хладагенты R13, R503 и R13B1.

Начиная с 60-х годов хладагенты R22 и R502 стали одними из основных хладагентов в промышленных и торговых средне- и низкотемпературных холодильных установках, кондиционерах и тепловых насосах.

До начала 80-х годов ХФУ и ГХФУ заняли доминирующее положение в холодильной промышленности (бытовое, торговое и промышленное холодильное оборудование). Их рассматривали как вещества, обладающие только преимуществами по сравнению с другими хладагентами.

Из всех ранее предложенных хладагентов только аммиак (R717), имеющий самые высокие термодинамические и технико-эксплуатационные показатели в широком интервале температур по сравнению с хладагентами групп ХФУ и ГХФУ, в настоящее время широко применяют в промышленных холодильных установках, охладителях, абсорбционных кондиционерах и бытовых абсорбционных холодильниках.

Однако к 80-м годам, когда специалисты ряда стран начали заниматься вопросами изучения влияния ХФУ и ГХФУ на окружающую среду, эти хладагенты стали предметом беспокойства в связи с возникшими глобальными проблемами: повышением парникового эффекта и возможным разрушением озонового слоя.

Парниковый эффект возникает вследствие того, что некоторые газы земной атмосферы задерживают инфракрасное излучение, которое испускает земная поверхность. Явление парникового эффекта позволяет поддерживать на поверхности Земли температуру, при которой возможно зарождение и развитие жизни. Если бы парниковый эффект отсутствовал, средняя температура поверхности земного шара была бы примерно на 20 К ниже, чем она есть.

Удержание инфракрасного излучения в природе происходит благодаря парам воды, содержащимся в воздухе и в облаках. Однако не дают рассеиваться данному излучению и другие газы, которые представляют собой продукты деятельности человечества, в частности диоксид углерода и хладагенты категории ХФУ. В связи с тем что наличие в атмосфере диоксида углерода и ХФУ (в том числе) увеличивает эффективность удержания земного инфракрасного излучения по сравнению с естественной природной эффективностью, средняя температура поверхности Земли повышается больше, чем нужно, обусловливая искусственный парниковый эффект, который добавляется к природному. Хотя концентрация всех вместе взятых ХФУ в атмосфере гораздо ниже, чем концентрация диоксида углерода, их эффективность по удержанию инфракрасного излучения во много тысяч раз выше эффективности диоксида углерода, в частности вследствие их очень длительного периода жизни (60 лет для R11, 120 лет для R12 и 250 лет для R115, который входит в состав R502).

Разрушение стратосферного озона представляет собой совсем другое явление, поскольку оно связано с ультрафиолетовым излучением Солнца. Наиболее удаленный от Земли слой атмосферы — стратосфера, которая представляет собой шаровой слой толщиной примерно 35 км, начинающийся на высоте 15 и заканчивающийся на высоте примерно 50 км от поверхности Земли. В этом слое находится озон, поглощающий 99 % ультрафиолетового излучения Солнца, падающего на Землю, выполняя роль защитного экрана для земной жизни.

Впервые механизм истощения защитного слоя Земли описали в 1974 г. американские ученые Калифорнийского университета

(США) Марио Молина и Шепвуд Роулэнд. Они показали, что молекула оксида хлора и атом хлора — сильнейшие катализаторы, способствующие разрушению озона. Путь молекул хлора в стратосферу занимает один-два года. Достигают стратосферы только химически стабильные молекулы, которые не разрушаются под действием солнечных лучей, химических реакций и не растворяются в воде. Именно такими качествами обладают молекулы ХФУ. Время их жизни — более ста лет. Молекулы ХФУ тяжелее воздуха, и число их в стратосфере крайне мало: три—пять молекул ХФУ на десять миллиардов молекул воздуха. Под действием ультрафиолетового излучения от молекул ХФУ отрывается атом хлора, а оставшийся радикал легко окисляется, создавая молекулу оксида хлора и новый радикал. Атом хлора и молекула оксида хлора активно включаются в каталитический цикл разрушения озона. Одна молекула хлора, достигающая атмосферы, способна разрушить (10...100) тыс. молекул озона.

К середине 70-х годов производство фреонов достигло значительных объемов. В частности, к 1976 г. объем производства R12 достиг почти 340 тыс. т, из которых около 27 тыс. т предназначались для холодильных систем. В 1986 г. суммарное производство фреонов составляло 1,123 млн т (на долю США приходилось 30 %, Европы — 20 %, России и Японии — по 10 %).

Проблема регулирования производства и потребления озоноразрушающих ХФУ и ГХФУ в международном масштабе была поднята Венской конвенцией по защите озонового слоя в 1985 г. Дальнейшим важным шагом в решении этой проблемы стало подписание всеми индустриальными странами Монреальского протокола в 1987 г.

Для замены R12 с начала 90-х годов основными мировыми производителями химической продукции были разработаны и выпускаются однокомпонентный озонобезопасный хладагент R134a и альтернативные сервисные (переходные) смеси (R401A и др.). Для замены R502 и R22 созданы сервисные смеси, относящиеся к группе ГХФУ (R402A и др.), и озонобезопасные смеси группы ГФУ (R407C и др.). Однако ни один из известных или недавно синтезированных индивидуальных хладагентов не обладает к настоящему времени в полной мере комплексом свойств, которые присущи запрещенным хладагентам.

Запрет на производство и применение R12 привел к увеличению мировой продажи R22: в частности, в 1994 г. она составила 207 515 т. И хотя ХФУ в значительной степени вытеснены из бытовой холодильной техники, транспортных холодильных установок, торгового холодильного оборудования, промышленных кондиционеров, в странах Евросоюза к настоящему времени в действующем холодильном оборудовании все еще используется до 110 тыс. т ХФУ. В последние годы холодильная промышленность активно ищет замену хладагентам группы ГХФУ. Особенно остро

этот вопрос стоит в США, где ГХФУ используются в большинстве систем централизованного кондиционирования и тепловых насосов, а также во многих холодильных системах. В США почти 80 % новых домов, рассчитанных на одну семью, оборудованы централизованной системой кондиционирования, работающей на ГХФУ.

Принятые в Киото (Япония) в 1997 г. решения Конвенции о сокращении эмиссии парниковых газов еще более осложнили выбор долгосрочной альтернативы R22.

Для исследования и разработки альтернативных хладагентов, способных заменить хладагент R22 (ГХФУ), сформирована Международная программа оценки альтернативных хладагентов — AREP (Alternative Refrigerants Evaluation Program). В программе принимают участие 40 крупнейших фирм со всего мира.

В разработку альтернативных хладагентов рядом государств вложены значительные финансовые средства, и они, по некоторым оценкам специалистов, за последние шесть лет составили свыше 2,4 млрд долл. Только затраты на изучение токсичности R134a, по данным Международного института холода, составили около 4,5 млн долл. при длительности исследований 7 лет.

Альтернативные зеотропные сервисные смеси среднего MP (middle pressure) и высокого HP (high pressure) давлений и смесевых хладагентов группы ГФУ имеют ряд особенностей, которые необходимо учитывать при проектировании и эксплуатации холодильного оборудования. Это наличие температурного «глайда» (разность температур фазового перехода при постоянном давлении); изменение состава смеси в случае утечки одного из компонентов. В частности, при медленной утечке хладагента более летучие компоненты вскипают и вытекают в первую очередь, а менее летучие остаются, что может изменить свойства хладагента первоначального состава. Еще одна проблема — несмешиваемость ряда хладагентов с минеральными маслами, которая приводит к необходимости замены их на полиэфирные дорогостоящие гигроскопичные масла.

В предлагаемом справочном руководстве авторами была предпринята попытка собрать необходимые сведения о традиционных и альтернативных хладагентах, применяемых в действующих холодильных установках в области умеренно низких температур. Подробно рассмотрены альтернативные однокомпонентные хладагенты и сервисные смеси групп ГХФУ, ГФУ для холодильных систем и систем кондиционирования воздуха, рефрижераторного транспорта; их совместимость с холодильными маслами, металлами, пластмассами и эластомерами. Даны рекомендации по применению различных типов холодильных масел с альтернативными хладагентами.

Рассмотрены емкости для хранения и транспортировки альтернативных хладагентов. Приведены необходимые сведения о мероприятиях по предотвращению утечек хладагента.

Значительное внимание уделено сервису холодильных систем, в частности подробно освещены операции по замене (ретрофиту) хладагента R12 на R134a, R401A, 409A, R401B; R500 на R401B; R502 на R404A, R507, R408A, R402B; R22 на R407C и другие хладагенты.

Подробно рассмотрены технические средства для сервиса холодильных систем, а также правила безопасности при работе с альтернативными хладагентами, показано их воздействие на организм человека.

В приложении приведены физические характеристики ряда традиционных и альтернативных хладагентов.

Справочное руководство поможет проектировщикам и специалистам по монтажу и сервисному обслуживанию холодильных систем и систем кондиционирования воздуха сделать правильный выбор альтернативных хладагентов с учетом их свойств и особенностей для различных условий работы холодильного оборудования, чтобы обеспечить его надежность в процессе эксплуатации и создание требуемой холодопроизводительности при минимальных энергозатратах.

1. Экологическая целесообразность применения альтернативных хладагентов в холодильных системах

Решения Монреальского протокола коренным образом изменили подход к традиционным озоноразрушающим хладагентам, и начиная с 90-х годов на одно из первых мест вышел вопрос об опасности изменения климата и сохранения эмиссии парниковых газов, вызванной применением таких хладагентов.

По степени озоноразрушающей активности озонового слоя Земли галоидопроизводные углеводороды разделены на три группы:

хладагенты с высокой озоноразрушающей активностью — это хлорфторуглероды (ХФУ) R11, R12, R13, R113, R114, R115, R502, R503, R12B1, R13B1 (или по международному обозначению CFC11, CFC12, CFC13 и т. д.) и др.;

хладагенты с низкой озоноразрушающей активностью — это гидрохлорфторуглероды (ГХФУ) R21, R22, R141b, R142b, R123, R124 (или по международному обозначению HCFC21, HCFC22, HCFC141b и т. д.) и др., в молекулах которых содержится водород. Для этих веществ характерно меньшее время существования в атмосфере по сравнению с ХФУ, и, как следствие, они оказывают меньшее влияние на разрушение озонового слоя. Ряд многокомпонентных рабочих тел, предлагаемых в качестве альтернативы ХФУ, содержат в своем составе ГХФУ, например R22;

хладагенты, не содержащие атомов хлора [фторуглероды ФУ (FC), гидрофторуглероды ГФУ (HFC), углеводороды (HC) и др.], считаются *полностью озонобезопасными*. Таковыми являются хладагенты R134, R134a, R152a, R143a, R125, R32, R23, R218, R116, RC318, R290, R600, R600a, R717 и др.

В качестве альтернативы запрещенным к производству хладагентам Монреальским протоколом рассматриваются следующие классы веществ:

гидрохлорфторуглероды (ГХФУ);

гидрофторуглероды (ГФУ);

природные хладагенты — аммиак, диоксид углерода, вода, углеводороды.

Протокол вступил в силу с 12 января 1989 г. К нему присоединились 150 государств (1995 г.). В июне 1990 г. на конференции в Лондоне было принято решение о прекращении использования всех видов фреонов промышленно развитыми странами к 2000 г.

Монреальский протокол установил жесткие экономические ограничения не только на производство и применение ХФУ, но и на

торговлю, экспорт и импорт любой холодильной техники, содержащей ХФУ. Мощным движущим фактором отказа от озоноразрушающих хладагентов служит также внутреннее государственное регулирование. Так, в странах ЕС производство ХФУ прекращено уже с 1 января 1995 г. В ряде стран, например в США, потребитель вынужден при покупке ХФУ заплатить государственный налог, превышающий стоимость самого хладагента.

Известно, что непрерывное применение ХФУ в течение года по воздействию на окружающую среду эквивалентно 10...50 годам применения таких альтернативных хладагентов, как ГХФУ.

На международном совещании в Копенгагене (ноябрь 1992 г.) участниками Монреальского протокола было принято решение о прекращении производства озоноопасных хладагентов R11, R12 и R502 с 1 января 1996 г. На 1 января 1994 г. выпуск соединений ХФУ составлял в соответствии с Монреальским протоколом только 25 % выпуска 1989 г. Бывший СССР подписал Монреальский протокол, и в 1991 г. Россия, Украина и Белоруссия подтвердили свою преемственность этого решения.

Действующие сроки ограничения применения веществ, принятые на Венской конференции в 1995 г., представлены в табл. 1.

1. График прекращения производства ХФУ

Группа ХФУ	Страны — участницы Монреальского протокола*	ЕС	Развивающиеся страны
CFC (полностью замещенные ХФУ)	1.01.1996	1.01.1995	1.01.2006
CCl_4	1.01.1996	—	1.01.2006
Метилхлороформ	1.01.1996	—	1.01.2006
HCFC (гидратированные ХФУ)	1.01.2030	—	—

* Страны — участницы Монреальского протокола произвели в 1987 г. 80 % мирового объема ХФУ.

Ряд государств Европы опережают установленные сроки. Так, Швеция запретила применение ГХФУ в новом оборудовании с 1 января 1998 г. и обслуживание серийного оборудования — с 1 января 2002 г., Дания — с 1 января соответственно 2000 и 2002 гг. В Италии законодательно установлено, что с 31 декабря 1999 г. запрещается производство, импорт и экспорт ГХФУ, продукция с ГХФУ должна иметь четко различимую специальную метку и быть обязательно возвращена поставщику в конце срока эксплуатации. Германия намерена запретить применение ГХФУ в новом холодильном оборудовании с 2000 г., Швейцария — с 2005 г. США планируют отказаться от R141b с 2003 г., от R22 — с 2010 г., от R123 — с 2020 г.

В России в этом направлении действует ряд постановлений Правительства РФ, в частности постановление Правительства РФ от 24 мая 1995 г. № 526 «О первоочередных мерах по выполнению Венской конвенции об охране озонового слоя и Монреальского протокола по веществам, разрушающим озоновый слой», содержащее программу перехода промышленности на производство и применение озонобезопасных веществ, построенную на общепринятых в мире принципах. Однако оно не получило статуса государственной программы и поэтому не финансируется и не выполняется. Из всех положений постановления действует только одно — запретительное.

Постановлением Правительства РФ № 563 «О регулировании ввоза в Российскую Федерацию и вывоза из Российской Федерации озоноразрушающих веществ и содержащей их продукции» запрещается экспорт озоноразрушающих веществ (ОРВ) и содержащей их продукции в страны, не подписавшие Монреальского протокола. К ним, в частности, относятся многие страны СНГ (Казахстан, Азербайджан, Киргизия и др.), в которые традиционно экспортировали из России озоноразрушающие вещества, холодильное оборудование и другую продукцию, содержащую эти вещества.

Россия к моменту принятия Монреальского протокола находилась в числе крупнейших мировых производителей и потребителей озоноразрушающих веществ. Пик их производства в России пришелся на 1990 г. и составлял тогда 20 % мирового уровня. Выполняя принятые на себя обязательства по международным соглашениям, Россия неуклонно снижает объем производства ХФУ. Так, в 1996 г. объем производств ХФУ составил 17 122 т при их производстве в 1990 г., равном 110 140 т. Согласно решению специальной Межведомственной комиссии по охране озонового слоя в 1997 г. подготовлен график поэтапного отказа от ХФУ: в 1998 г. — 4500 т, в 1999 г. — 2800 т и в 2000 г. — с 01.07 полное прекращение производства ХФУ на территории России (постановление № 490 от 1999 г. Правительства РФ).

Для анализа экологической целесообразности применения хладагентов используют следующие параметры: потенциал разрушения озона ODP (Ozon Depletion Potential); потенциал глобального потепления (парникового эффекта) GWP (Global Warming Potential) или HGWP (Halocarlon Global Warming Potential).

Потенциал разрушения озона ODP определяется наличием атомов хлора в молекуле хладагента и принят за единицу для R11 и R12. Для хладагентов группы ХФУ потенциал разрушения озона $ODP \geq 1$, для ГХФУ $ODP < 0{,}1$, а для ГФУ $ODP = 0$.

Потенциал глобального потепления, GWP принят за единицу для диоксида углерода (CO_2) с временным горизонтом 100 лет, а потенциал HGWP подсчитывают относительно значения этого параметра для R11, также принятого за единицу.

Согласно международным прогнозам при существующих темпах роста парникового эффекта средняя температура атмосферы Земли к 2050 г. может увеличиться на 3...5 K, что может привести к увеличению уровня Мирового океана на 20 см и вызвать тем самым необратимые экологические последствия.

Известно, что галоидопроизводные углеводороды имеют значительно больший, чем диоксид углерода, потенциал глобального потепления GWP. Однако количество попадающего в атмосферу диоксида углерода существенно превышает объемы утечек галоидопроизводных углеводородов, и поэтому прямое влияние последних на возрастание парникового эффекта ранее считали незначительным. Остановимся на этом моменте более подробно.

Величина парникового эффекта пропорциональна количеству диоксида углерода, содержащегося в атмосфере Земли. На промышленных предприятиях мира ежегодно сжигается свыше $15 \cdot 10^9$ т условного топлива, что приводит к выбросу в атмосферу $26{,}5 \cdot 10^9$ т диоксида углерода. Значительная часть попадающего в атмосферу диоксида углерода выделяется на тепловых электрических станциях при сжигании мазута, газа и угля. Это количество по различным оценкам составляет $(2{,}2...7{,}2) \cdot 10^9$ т/год. Масса полихлорвинилов и хладагентов, ежегодно выбрасываемых химической промышленностью, составляет $2 \cdot 10^4$ т/год, что при пересчете через усредненный показатель GWP соответствует количеству диоксида углерода $4{,}3 \cdot 10^9$ т/год. Только 20...25 % эмиссии ежегодно производимых хладагентов эквивалентно вкладу диоксида углерода в парниковый эффект, равному $(5{,}1...5{,}5) \cdot 10^6$ т/год. Вклад различных газов в парниковый эффект (%) представлен ниже.

Диоксид углерода	55
Хладагент R12	17
Метан	15
Другие хладагенты группы ХФУ (CFC)	7
Оксид азота	6

Как видно из этих данных, наиболее существенна в атмосфере Земли доля диоксида углерода, которая согласно международным источникам информации может достигать 81 %. Если эмиссию CO_2 удастся стабилизировать на уровне 1994 г., то и тогда содержание диоксида углерода в атмосфере к 2100 г. может стать почти вдвое больше, чем перед началом эры промышленного развития (с 1750 г.).

Эмиссия диоксида углерода [кг/(кВт · ч)] при производстве электроэнергии в ряде промышленно развитых стран представлена ниже.

Франция	0,12
Швеция	0,14
Канада	0,26
Япония	0,42

Италия	0,60
Германия	0,66
США	0,72
Великобритания	0,84
Австралия	1,04

В свою очередь, эмиссия диоксида углерода [кг/(кВт · ч)] при производстве электроэнергии зависит от многих факторов, прежде всего от используемого сырья.

Уголь	1,12
Нефть	0,94
Газ	0,57
Ядерное топливо	0

Большое значение имеют и потери электроэнергии при ее передаче потребителю (рис. 1).

В последнее время для анализа общего потенциала парникового эффекта, учитывающего и энергетические, и экологические факторы, все больше используют параметр, называемый *суммарным эквивалентным тепловым воздействием* TEWI (Total Equivalent Warming Impact). Методика расчета TEWI была разработана Международным институтом холода. Параметр TEWI для конкретного вещества представляет собой сумму непосредственного потенциала парникового эффекта в результате эмиссии этого вещества в атмосферу и косвенного потенциала, обусловленного эмиссией диоксида углерода в процессе производства электроэнергии, которая необходима для эксплуатации холодильных установок:

$$\mathrm{TEWI} = \mathrm{GWP} \cdot M + \alpha BL,$$

где GWP — потенциал глобального потепления; M — масса эмиссии хладагента в атмосферу; α — коэффициент, характеризующий эмиссию диоксида углерода в атмосферу Земли при выработке 1 кВт · ч электроэнергии; B — количество электроэнергии, потребленной за все время эксплуатации конкретной холодильной установки; L — время эксплуатации оборудования.

При производстве электроэнергии гидростанциями, ветровыми двигателями и ядерными энергетическими установками выбросов диоксида углерода в атмосферу не происходит (коэффициент α равен нулю), а при выработке электроэнергии тепловыми электростанциями в атмосферу выбрасывается диоксид углерода. По данным Центра тепловых насосов Международного энергетического

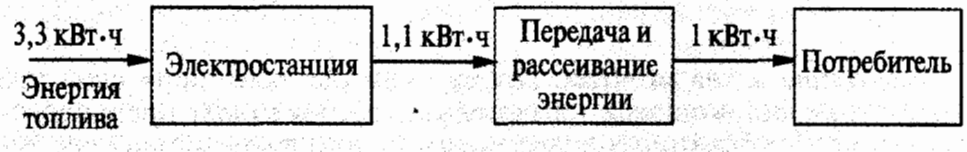


Рис. 1. Потери энергии при ее транспортировке потребителю

агентства за 1992 г., при выработке 1 кВт · ч электроэнергии в Европе выброс диоксида углерода составил в среднем 0,52 кг (а в ряде стран Европы вдвое больше среднего значения), в Северной Америке — 0,67 кг. Срок службы холодильного оборудования может достигать 15...20 лет, поэтому второе слагаемое, отражающее косвенное воздействие, становится преобладающим в общей оценке, достигая 0,95...0,98 TEWI.

В Норвегии, например, 99,6 % всей электроэнергии производится на гидроэлектростанциях, поэтому выброс диоксида углерода составляет в среднем 0,005 кг на 1 кВт · ч. В то же время в Дании 91 % электроэнергии вырабатывают при сжигании угля, что создает эмиссию, равную 1,1 кг диоксида углерода на 1 кВт · ч энергии.

По прогнозу Института проблем безопасного развития атомной энергетики РАН, возможное суммарное тепловое воздействие ХФУ и их заменителей на климат Земли не превысит 10 % значения полного радиационного форсинга. Понятие радиационного форсинга обозначает изменение плотности лучистого теплового потока на внешней границе тропосферы по сравнению с начальной (в доиндустриальную эпоху — до 1800 г.). По оценке итальянского отделения Гринписа, вклад в парниковый эффект только ГФУ составит в будущем более 13 %, а по другим данным вклад ХФУ превысит 20 %.

Конференция ООН по окружающей среде и развитию в Рио-де-Жанейро обнародовала Рамочную конвенцию по изменению климата. Конвенцию подписали более 160 государств, десятки государств уже ее ратифицировали. США в апреле 1994 г. объявили о национальном обязательстве сократить к 2000 г. выбросы парниковых газов до уровня 1990 г. Конвенция требует этого от всех промышленно развитых стран.

Положения Конвенции, принятые в 1997 г. в г. Киото (Япония), еще более ограничивают выбросы парниковых газов.

Норвегия ввела налог на выбросы диоксида углерода с 1991 г. В обозримом будущем то же должны сделать страны, чьи парламенты ратифицировали Рамочную конвенцию. Это касается и России.

По оценке зарубежных специалистов, уровень безопасной эмиссии диоксида углерода равен 1,1 т в год на душу населения. В настоящее время уровень выбросов диоксида углерода в Европе на душу населения составляет 7,3 т в год.

2. Общие сведения о хладагентах

Требования к хладагентам. Прежде чем рассматривать свойства хладагентов, остановимся на основных требованиях, предъявляемых к ним. Требования к хладагентам подразделяются на следующие группы:

экологические — озонобезопасность, низкий потенциал глобального потепления, негорючесть и нетоксичность;

термодинамические — большая объемная холодопроизводительность; низкая температура кипения при атмосферном давлении; невысокое давление конденсации; хорошая теплопроводность; малые плотность и вязкость хладагента, обеспечивающие сокращение гидравлических потерь на трение и местные сопротивления при его транспортировке; максимальная приближенность к заменяемым хладагентам (для альтернативных озонобезопасных хладагентов) по давлениям, температурам, удельной объемной холодопроизводительности и холодильному коэффициенту;

эксплуатационные — термохимическая стабильность, химическая совместимость с материалами и холодильными маслами, достаточная взаимная растворимость с маслом для обеспечения его циркуляции, технологичность применения; негорючесть и невзрывоопасность; способность растворять воду, незначительная текучесть; наличие запаха, цвет и т. д.;

экономические — наличие товарного производства, доступные (низкие) цены.

Хладагенты, отвечающие перечисленным требованиям, найти практически невозможно, поэтому в каждом отдельном случае выбирают хладагент с учетом конкретных условий работы холодильной машины, и предпочтение следует отдавать таким, которые удовлетворяют принципиальным и определяющим требованиям.

Альтернативными веществами могут быть чистые (простые) вещества и смеси. Предпочтение отдается прежде всего чистым веществам.

Особенности термодинамики смесей хладагентов. В молекулярной теории растворов различают зеотропные (неазеотропные) и азеотропные смеси.

Термодинамическое поведение смеси азеотропного состава подобно поведению чистого вещества, поскольку состав паровой и жидкой фаз у нее одинаков, а давления в точках росы и кипения совпадают.

Концентрации паровой и жидкой фаз зеотропной смеси в условиях термодинамического равновесия различаются, а изотерма под бинодалью в p—h-координатах имеет наклон, т. е. кипение при постоянном давлении происходит при увеличении температуры хладагента от t_{01} до t_{02}, а конденсация — при падении температуры от $t_{к1}$ до $t_{к2}$ (рис. 2). Это необходимо учитывать при определении степени перегрева пара на входе в компрессор, а также при оценке энергетических характеристик холодильной установки.

Таким образом, температуру кипения и температуру конденсации следует находить по-другому. Температуру кипения вычисляют как среднюю температуру t_0 между температурой точки росы t_{02} при постоянном давлении всасывания $p_{вс}$ и температурой, при которой хладагент поступает в испаритель t_{01}.

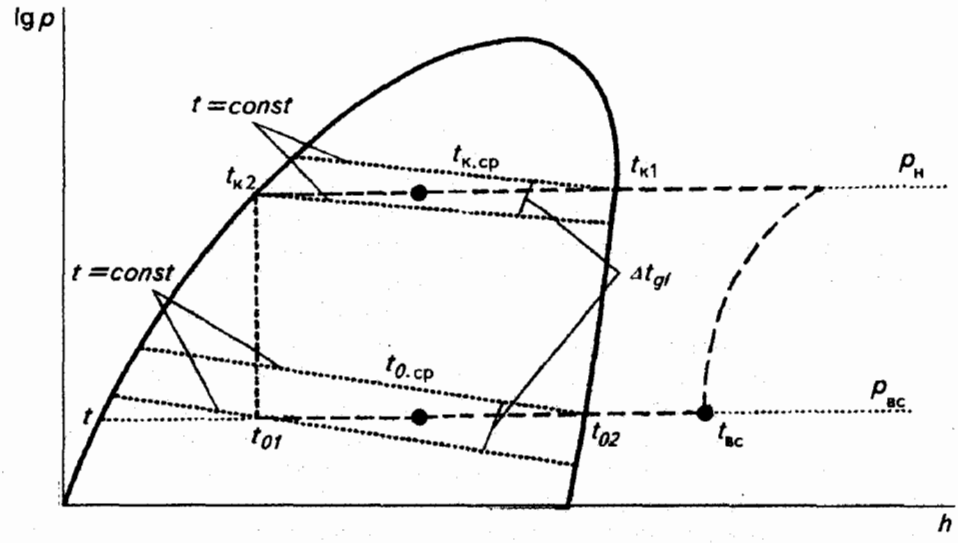


Рис. 2. Диаграмма lg *p*—h для зеотропных хладагентов

Температуру конденсации определяют как среднюю температуру $t_{к.ср}$ между температурой точки росы $t_{к1}$ (температура начала процесса конденсации при постоянном давлении нагнетания $p_н$) и температурой $t_{к2}$ жидкости на выходе из конденсатора. Разность температур фазового перехода при постоянном давлении (при кипении или конденсации) получила название Δt_{gl} или температурный глайд[1] (от англ. glide — скольжение). Значение Δt_{gl} зависит от состава рабочего тела и является важным технологическим параметром.

Перегрев всасываемого пара вычисляют как разность температуры $t_{вс}$ на входе в компрессор и температуры точки росы t_{02} хладагента при давлении всасывания $p_{вс}$. При регулировании холодопроизводительности холодильных установок с помощью регулирующих вентилей все изложенное выше необходимо учитывать.

Переохлаждение жидкости вычисляют как разность между действительной температурой жидкости и температурой точки конца конденсации $t_{к2}$ при давлении нагнетания $p_н$.

Особенно важно при регулировании давления учитывать температурный глайд смеси хладагентов, например хладагентов 407C, R410A и др. Кроме того, температурный глайд — решающий фактор при определении размеров теплообменных аппаратов.

---

[1] Приведенные определения базируются на терминологии, принятой Институтом кондиционирования воздуха и холодильной техники (ARI), являющейся частью программы разработки альтернативных фреонов (AREP).

Потери давления в системе существенно увеличивают температурный глайд. Пренебрежение данным явлением при составлении теплового баланса может привести к занижению размеров теплообменных аппаратов и других элементов холодильной системы. Влияние этого фактора особенно существенно, когда холодильная система эксплуатируется на пределе своих возможностей.

Таким образом, зеотропные смеси имеют свои преимущества и недостатки. С одной стороны, изменение состава рабочего тела при циркуляции его по контуру холодильной системы может привести к возрастанию холодопроизводительности и холодильного коэффициента по сравнению с этими характеристиками для чистых хладагентов. С другой стороны, применение зеотропных смесей приводит к снижению интенсивности теплообмена в испарителе и конденсаторе.

Еще один недостаток зеотропной смеси — потенциальная возможность изменения ее состава при появлении утечек в контуре холодильной системы, что влияет на пожаробезопасность и холодопроизводительность установки. Чтобы снизить вероятность изменения состава в области концентраций, где преобладает пожароопасный компонент, в смесь добавляют негорючий компонент, давление насыщенных паров которого близко к давлению паров пожароопасного компонента или выше него. Если смесь содержит хотя бы один горючий компонент, то необходимо при заправке избегать попадания воздуха в систему.

Основные механизмы изменения состава многокомпонентного хладагента в холодильной установке следующие:

парожидкостное разделение зеотропных смесей в компрессоре и теплообменных аппаратах;

различная растворимость компонентов смеси в холодильном масле;

селективная потеря какого-либо компонента из-за утечки компонента вследствие негерметичности системы; изменения массы многокомпонентного рабочего тела в отдельных элементах холодильной системы при различных тепловых нагрузках.

При практическом использовании зеотропных смесей рекомендуется:

заправлять холодильную систему из баллона, заполненного жидким хладагентом;

смеси с отчетливо выраженным температурным «глайдом» не следует рекомендовать для применения в холодильных установках с затопленным испарителем;

учитывать неодинаковую растворимость каждого компонента смесевого хладагента в холодильных маслах;

при расчете характеристик холодильной машины следует принимать во внимание изменение состава многокомпонентного хладагента.

Обозначения хладагентов. В России внедрен международный стандарт ИСО-817 «Органические хладагенты», согласно которому предусмотрены цифровые обозначения хладагентов в технической документации на хладагенты и масла.

Стандартом допускается несколько обозначений хладагентов: условное (символическое), торговое (марка), химическое и химическая формула. Обозначения основных хладагентов даны в приложении 19.

Условное обозначение хладагентов является предпочтительным и состоит из буквы «R» или слова Refrigerant (хладагент) и комбинации цифр. Например, хладон-12 имеет обозначение R12 (CF_2Cl_2). Цифры расшифровывают в зависимости от химической формулы хладагента. Первая цифра (1) указывает на метановый ряд, следующая цифра (2) соответствует числу атомов фтора в соединении. В том случае, когда в производных метана водород вытеснен не полностью, к первой цифре добавляют количество оставшихся в соединении атомов водорода, например R22.

Для этанового ряда вначале записывают комбинацию цифр — индекс, равный 11, для пропанового — 21, для бутанового — 31. Для этих производных ко второй цифре добавляют число атомов водорода, если они есть, например трифтортрихлорэтан $C_2F_2Cl_3$ — R113.

В случае, если в составе соединения имеется бром, в его обозначении появляется буква «В», за которой следует число атомов брома, например R13B1 — трифторбромметан, химическая формула CF_3Br.

Изомеры производных этана имеют одну и ту же комбинацию цифр (цифровой индекс), и то, что данный изомер является полностью симметричным, отражается его цифровым индексом без каких-либо уточнений. По мере возрастания значительной асимметрии к цифровому индексу соответствующего изомера добавляют букву «а», при большей асимметрии ее заменяют буквой «b», затем «с», например R134a, R142b и т. д.

Способ цифрового обозначения непредельных углеводородов и их галогенопроизводных аналогичен рассмотренному выше, но к цифрам, расположенным после буквы «R», слева добавляют 1 для обозначения тысяч (например, R1150).

Для хладагентов на основе циклических углеводородов и их производных после буквы «R» перед цифровым индексом вставляют букву «С» (например, RC270).

Хладагенты неорганического происхождения имеют номера, соответствующие их относительной молекулярной массе, плюс 700. Например, аммиак, химическая формула которого NH_3, обозначают как R717, воду (H_2O) — как R718.

Хладагентам органического происхождения присвоена серия 600, а номер каждого хладагента внутри этой серии назначают произвольно (например, метиламин имеет номер 30, следовательно, его обозначение запишется как R630).

Зеотропным, или неазеотропным, смесям присвоена серия 400 с произвольным номером для каждого хладагента внутри этой серии, например R401A.

Хладагенты на основе предельных углеводородов, содержащих бром, имеют двойное обозначение. Это обозначение имеет в своем составе букву «B», например R13B1, или букву «H», за которой следуют цифры 1 и 3, но далее к ним добавляют еще две цифры, первая из которых указывает на число атомов хлора, вторая — на число атомов брома. Например, трифторбромметан (CF_3Br), у которого число атомов хлора равно 0, а атомов брома — 1, может обозначаться либо R13B1, либо H1301.

В настоящее время появилась тенденция при обозначении хладагентов предварять цифровой индекс не буквой «R» или «H», а аббревиатурой, указывающей непосредственно на группу, к которой относят хладагент в зависимости от степени воздействия его на окружающую среду. Например, предлагаются обозначения:

CFC12 для хладагента R12, принадлежащего к группе CFC (ХФУ), в которую входят хладагенты, вредные для окружающей среды;

HCFC125 для хладагента R125, относящегося к группе HCFC (ГХФУ), состоящей из хладагентов, менее вредных для окружающей среды;

HFC134a для хладагента R134a, входящего в группу HFC (ГФУ), состоящую из хладагентов, безвредных для окружающей среды.

Каждая фирма — производитель хладагентов выпускает в продажу свою продукцию под собственным наименованием, например:

Фирма	*Торговая марка*
«Du Pont de Nemour»	Фреон (Freon) или Сува (SUVA®)
«Elf Atochem»	Форан (FORANE®)
«Solvay»	Кальтрон (Kaltron)
«Montedison»	Альгофрен (Algofrene)
AZSO	Allied Signal
ICI	Клеа (Klea)
«Daikin Kogyo»	Дайфлон (Daiflon)

Поэтому, например, R407C может поступать на рынок под марками FORANE® 407C, SUVA® 9000 и т. д.

3. Традиционные хладагенты групп ХФУ и ГХФУ

Хладагент R12. Дифтордихлорметан относится к группе ХФУ (CFC). Характеризуется высоким потенциалом разрушения озона (ODP = 1) и большим потенциалом глобального потепления (GWP = 8500). Бесцветный газ со специфическим запахом, в

4,18 раза тяжелее воздуха. Характеристики на линии насыщения приведены в приложении 1. Один из наиболее распространенных и безопасных при эксплуатации хладагентов. При объемной доле его в воздухе более 30 % наступает удушье из-за недостатка кислорода. Предельно допустимая концентрация (ПДК) R12, в частности при длительности воздействия 2 ч, соответствует объемной доле его 38,5...30,4 %. Невзрывоопасен, но при $t > 330$ °С разлагается с образованием хлорида водорода, фтористого водорода и следов отравляющего газа — фосгена. Неограниченно растворяется в масле, не проводит электрический ток и слабо растворяется в воде. Объемная доля влаги в R12 для бытовых холодильников не должна превышать 0,0004 %. Обезвоженный R12 нейтрален ко всем металлам. Характеризуется повышенной текучестью, что способствует проникновению его через мельчайшие неплотности и даже через поры обычного чугуна. В то же время благодаря повышенной текучести R12 холодильные масла проникают во все трущиеся детали, снижая их износ. Поскольку R12 хороший растворитель многих органических веществ, при изготовлении прокладок применяют специальную резину — севанит или паронит. В холодильной технике R12 широко применяли для получения средних температур.

Хладагент R11. Фтортрихлорметан, тяжелый газ (в 4,74 раза тяжелее воздуха), относится к группе ХФУ (CFC). Характеризуется высокой озоноразрушающей активностью (ODP = 1). Согласно Монреальскому протоколу с 1 января 1996 г. прекращено производство R11 (Копенгаген, 1992 г.). Для организма человека R11 безвреден, он невзрывоопасен, неограниченно растворяется в минеральном масле. В воде R11 нерастворим, допустимая массовая доля влаги не более 0,0025 %. Обезвоженный хладагент нейтрален ко всем металлам, за исключением сплавов, содержащих более 20 % магния. Нормальная температура кипения 23,8 °С. Объемная холодопроизводительность R11 мала; применяют его в холодильных машинах при температуре кипения до −20 °С. Характеристики R11 на линии насыщения приведены в приложении 2. Хладагент R11 широко применяли в промышленных кондиционерах, турбокомпрессорах средних и больших мощностей.

Хладагент R502. Азеотропнаяя смесь хладагентов R22 и R115. Массовая доля R22 составляет 48,8 %, а R115 — 51,2 %. Относится к группе ХФУ (CFC), имеет следующие экологические характеристики: ODP = 0,33; GWP = 4300. Невзрывоопасен, малотоксичен и химически инертен к металлам. Растворимость R502 в маслах, коэффициент теплоотдачи при кипении и конденсации близки к соответствующим значениям для R22. Характерная особенность: R502 малорастворим в воде. Предельно допустимая концентрация R502 в воздухе составляет 3000 мг/м^3. Объемная холодопроизводительность его выше, а температура нагнетания ниже примерно на 20 °С, чем у R22, что положительно сказывает-

ся на температуре обмотки электродвигателя при эксплуатации герметичного холодильного компрессора. Хладагент R502 широко применяли в низкотемпературных компрессионных холодильных установках. Характеристики хладагента R502 на линии насыщения представлены в приложении 3.

Хладагент R22. Дифторхлорметан относится к группе ГХФУ (HCFC). Имеет низкий потенциал разрушения озона (ODP = = 0,05), невысокий потенциал парникового эффекта (GWP = = 1700), т. е. экологические свойства R22 значительно лучше, чем у R12 и R502. Это бесцветный газ со слабым запахом хлороформа, более ядовит, чем R12, невзрывоопасен и негорюч. Характеристики хладагента R22 на линии насыщения и его физические свойства приведены в приложениях 4, 18. По сравнению с R12 хладагент R22 хуже растворяется в масле, но легко проникает через неплотности и нейтрален к металлам. Для R22 холодильной промышленностью выпускаются холодильные масла хорошего качества. При температуре выше 330 °С в присутствии металлов R22 разлагается, образуя те же вещества, что и R12. Хладагент R22 слабо растворяется в воде, объемная доля влаги в нем не должна превышать 0,0025 %. Коэффициент теплоотдачи при кипении и конденсации на 25...30 % выше, чем у R12, однако R22 имеет более высокие давление конденсации и температуру нагнетания (в холодильных машинах). Предельно допустимая концентрация R22 в воздухе 3000 мг/м^3 при длительности воздействия 1 ч. Этот хладагент широко применяют для получения низких температур в холодильных компрессионных установках, в системах кондиционирования и тепловых насосах. В холодильных установках, работающих на R22, необходимо использовать минеральные или алкилбензольные масла. Нельзя смешивать R22 с R12 — образуется азеотропная смесь.

По энергетической эффективности R502 и R22 достаточно близки. Холодильную установку, использующую в качестве рабочего тела R502, можно адаптировать к применению R22. Однако, как отмечалось ранее, R22 имеет более высокое давление насыщенных паров и, как следствие, более высокую температуру нагнетания.

Диапазоны применения хладагента R22 в холодильных системах приведены на рис. 3.

Хладагент R123. Относится к группе ГХФУ (HCFC). Температура кипения при атмосферных условиях 27,9 °С. Потенциал разрушения озона ODP = 0,02, потенциал глобального потепления GWP = 90. Молекулярная масса 152,9. Характеристики хладагента R123 на линии насыщения и его физические свойства приведены в приложениях 5 и 17. Хладагент предназначен для ретрофита (замена хладагента на озонобезопасный) холодильных установок — водоохладителей, работающих на R11. Теоретическая холодопроизводительность цикла с R123 составляет 0,86 относительно холодопроизводительности цикла с R11, температура и давление конден-

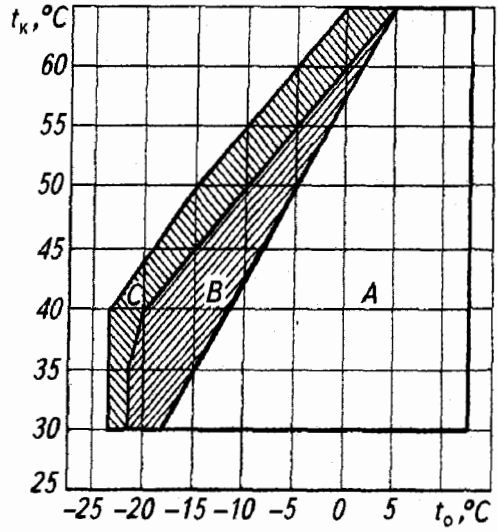


Рис. 3. Диапазоны применения хладагента R22:

A — температура всасывания 25 °C; *B* — перегрев всасываемого пара 20 K; *C* — перегрев всасываемого пара 11 K; t_0, $t_к$ — температуры соответственно кипения и конденсации

сации ниже на 10...15 % по сравнению с R11. В сочетании с R123 рекомендуется использовать алкилбензольное холодильное масло или смесь минерального и алкилбензольного.

4. Альтернативные однокомпонентные хладагенты

Хладагент R717. Химическая формула NH_3 (аммиак). Относится к группе ГФУ (HFC). Из «натуральных» хладагентов R717 стоит на одном из первых мест в качестве альтернативы R22 и R502. Производство аммиака в мире достигает 120 млн т, и лишь малая часть его (до 5 %) используется в холодильной технике.

Аммиак не разрушает озоновый слой (ODP = 0) и не вносит прямого вклада в увеличение парникового эффекта (GWP = 0). Газ с резким удушливым запахом, вредный для организма человека. Предельно допустимая концентрация в воздухе 0,02 мг/дм^3, что соответствует объемной доле его 0,0028 %. В соединении с воздухом при объемной доле 16...26,8 % и наличии открытого пламени аммиак взрывоопасен. Температура воспламенения с воздухом 651 °C.

Пары аммиака легче воздуха, он хорошо растворяется в воде (один объем воды может растворить 700 объемов аммиака, что исключает замерзание влаги в системе). Минеральные масла аммиак

почти не растворяет. На черные металлы, алюминий и фосфористую бронзу не действует, однако в присутствии влаги разрушает цветные металлы (цинк, медь и ее сплавы). Массовая доля влаги в аммиаке не должна превышать 0,2 %.

По термодинамическим свойствам аммиак — один из лучших хладагентов: по объемной холодопроизводительности он значительно превышает R12, R11, R22 и R502, имеет более высокий коэффициент теплоотдачи, что позволяет применять в теплообменных аппаратах трубы меньшего диаметра при заданной холодопроизводительности. Характеристики хладагента R717 на линии насыщения приведены в приложении 6. Из-за резкого запаха аммиака появление течи в холодильной системе легко обнаруживается обслуживающим персоналом. Именно по этим причинам R717 нашел широкое применение в крупных холодильных установках. Хладагент R717 имеет низкую стоимость.

Один из недостатков аммиака — более высокое значение показателя адиабаты (1,31) по сравнению с R22 (1,18) и R12 (1,14), что приводит к значительному увеличению температуры нагнетания. В связи с этим предъявляют жесткие требования к термической стабильности холодильных масел, используемых в сочетании с аммиаком в течение длительного времени при эксплуатации установки. Конденсатор должен иметь развитую поверхность теплообмена, в результате чего возрастает его металлоемкость.

Характеристики хладагента R717, относящегося к группе ГФУ, а также некоторых хладагентов групп ХФУ и ГХФУ на линии насыщения приведены в табл. 2.

Аммиак имеет чрезвычайно высокое значение теплоты парообразования, вследствие чего сравнительно мал массовый расход циркулирующего хладагента (13...15 % по сравнению с R22). Это благоприятное качество для крупных холодильных установок, но затрудняет регулировку подачи аммиака в испаритель при малых мощностях.

Дополнительные сложности при создании холодильного оборудования вызывает высокая активность аммиака по отношению к меди и медным сплавам, поэтому трубопроводы, теплообменники и арматуру выполняют из стали. Из-за высокой токсичности и горючести аммиака сварные соединения тщательно контролируют. Вследствие высокой электропроводности R717 затруднено создание полугерметичных и герметичных компрессоров. Вместе с тем для промышленных холодильных установок мощностью более 20 кВт аммиак — лучшая альтернатива.

На аммиаке работают многие тепловые насосы. Так, в Норвегии работает тепловой насос мощностью 200 кВт. В системе циркулирует около 30 кг аммиака, использованы полугерметичный компрессор и пластинчатые теплообменные аппараты. Предусмотрены система контроля утечки аммиака и эффективная вентиляция.

2. Соотношение между температурой и давлением насыщенных паров некоторых хладагентов групп ХФУ, ГХФУ и ГФУ

Температура, °С	Давление хладагента, 10^5 Па													
	R11	R12	R13	R13B1	R22	R23	R113	R114	R134a	R142b	R500	R502	R503	R717
−120			0,069										0,100	
−100			0,331			0,318							0,475	
−80			1,094	0,305	0,104	1,144			0,039			0,146	1,560	
−60		0,226	2,818	0,908	0,374	3,135			0,163	0,072	0,270	0,487	3,968	0,219
−50		0,391	4,215	1,445	0,643	4,810			0,299	0,135	0,464	0,814	5,898	0,408
−40		0,641	6,070	2,199	1,049	7,090		0,131	0,516	0,240	0,756	1,296	8,448	0,717
−30	0,092	1,004	8,464	3,222	1,635	10,100	0,027	0,226	0,847	0,402	1,179	1,979	11,730	1,195
−20	0,157	1,509	1,480	4,568	2,448	13,990	0,051	0,369	1,330	0,642	1,771	2,910	15,860	1,901
−10	0,257	2,191	5,200	6,292	3,543	18,910	0,089	0,579	2,007	0,983	2,572	4,143	20,970	2,908
0	0,401	3,086	19,730	8,454	4,976	25,050	0,148	0,875	2,928	1,452	3,626	5,731	27,230	4,294
10	0,605	4,233	25,180	11,120	6,807	32,640	0,236	1,278	4,145	2,079	4,981	7,730	34,810	6,150
20	0,883	5,673	31,710	14,350	9,099	41,930	0,362	1,811	5,716	2,896	6,686	10,200		8,574
30	1,254	7,449		18,220	11,290		0,538	2,500	7,701	3,938	8,794	13,190		11,670
40	1,735	9,607		22,830	15,340		0,778	3,372	10,164	5,244	11,360	16,770		15,550
50	2,346	12,190		28,280	19,420		1,094	4,454	13,176	6,856	14,430	21,010		20,330
60	3,111	15,260		34,690	24,270		1,501	5,775	16,813	8,819	18,080	26,010		
70	4,052						2,018	7,364	21,162	11,182				
80	5,192						2,659	9,254		13,999				
90							3,444	11,480		17,329				
100							4,390	14,080						
110							5,518	17,100						

Аммиачные водяные охладители-чиллеры с пластинчатыми аппаратами фирмы «Alfa-Laval», разработанные фирмой «York Refrigeration», характеризуются минимальным количеством заправленного хладагента. Так, в высокотемпературных охладителях HTLS заправка хладагента составляет 3,7...8,5 кг при холодопроизводительности соответственно 60...140 кВт и потребляемой мощности 14...35 кВт, в среднетемпературных MTLS — 3,1...6 кг при холодопроизводительности 32...63 кВт и потребляемой мощности 12...24 кВт, в низкотемпературных LTLS — 2,6...4,5 кг при холодопроизводительности 9...19 кВт и потребляемой мощности 7...17 кВт.

В тепловых насосах типа HPLS заправка хладагента равна 3...6,7 кг при холодопроизводительности соответственно 37...87 кВт и потребляемой мощности 12...31 кВт.

Рассмотренные охладители и тепловые насосы имеют небольшие габаритные размеры (длина 1170 мм, ширина 800 мм, высота 1550 мм).

Ожидается применение аммиака в малых холодильных машинах для коммерческих установок.

Используемые в настоящее время масла не растворяются в аммиаке, поэтому в схему холодильной машины приходится включать маслоотделители, что увеличивает ее стоимость. В последние годы ведутся интенсивные исследования по разработке растворимого в аммиаке масла и созданию холодильного оборудования с «сухим» испарителем. Растворимость масла в аммиаке исключает образование пленки масла на теплообменных поверхностях, что повышает коэффициент теплоотдачи с 2700 до 9100 Вт/(м^2 · К).

Достигнутый в последние годы прогресс в разработке растворимых в аммиаке R717 холодильных масел может кардинально изменить тенденции в развитии холодильного машиностроения.

Хладагент R744. Химическая формула CO_2 (диоксид углерода). Относится к группе ГФУ (HFC). Дешевое нетоксичное негорючее и экологически чистое (ODP = 0, GWP = 1) вещество. Стоимость диоксида углерода в 100...120 раз ниже, чем R134a.

Диоксид углерода имеет низкую критическую температуру (31 °С), сравнительно высокую температуру тройной точки (−56 °С), большие давления в тройной точке (более 0,5 МПа) и критическое (7,39 МПа). Может служить альтернативным хладагентом. Содержится в атмосфере и биосфере Земли, имеет следующие преимущества: низкая цена, простое обслуживание, совместимость с минеральными маслами, электроизоляционными и конструкционными материалами. Вместе с тем при использовании диоксида углерода требуется водяное охлаждение конденсатора холодильной машины, увеличивается металлоемкость холодильной установки (по сравнению с металлоемкостью установок, работающих на галоидопроизводных хладагентах). Высокое кри-

тическое давление имеет и положительный аспект, связанный с низкой степенью сжатия, вследствие чего эффективность компрессора становится значительной. Возможны перспективы применения диоксида углерода в низкотемпературных двухкаскадных установках и системах кондиционирования воздуха автомобилей и поездов. Его предлагают использовать также в бытовых холодильниках и тепловых насосах.

Хладагент R728. Химическая формула N_2. Относится к группе ГФУ (HFC). Жидкий азот применяют в качестве криогенного охлаждающего средства в некоторых странах (Англия, США и др.). При атмосферном давлении температура кипения азота составляет −196 °С, а удельная теплота парообразования 199 кДж/кг. Нетоксичный и экологически чистый (ODP = 0, GWP = 0) хладагент. Криогенный метод охлаждения жидким азотом предусматривает одноразовое его использование. Этот метод реализуется в безмашинной проточной системе, в которой рабочее вещество не совершает замкнутого кругового процесса.

В связи с открытием в России значительных запасов (около 340 млрд м^3) подземных газов с высоким содержанием азота себестоимость природного азота становится на порядок ниже, чем азота, полученного методом сжижения и разделения воздуха, что позволит применять в промышленных масштабах безмашинный способ охлаждения в аппаратах для быстрого замораживания пищевых продуктов. Для повышения степени использования низкотемпературного потенциала газообразного азота специалистами МГУПБ предложена система мобильного хладоснабжения.

Хладагент R290. Химическая формула C_3H_8 (пропан). Относится к группе ГФУ (HFC). Потенциал разрушения озона ODP = 0, потенциал глобального потепления GWP = 3. Характеризуется низкой стоимостью и нетоксичен. При использовании данного хладагента не возникает проблем с выбором конструкционных материалов деталей компрессора, конденсатора и испарителя. Пропан хорошо растворяется в минеральных маслах. Температура кипения при атмосферном давлении −42,1 °С. Преимуществом пропана является также низкая температура на выходе из компрессора. Однако пропан как хладагент имеет два принципиальных недостатка. Во-первых, он пожароопасен, во-вторых, размеры компрессора должны быть больше, чем при использовании в холодильной машине R22 заданной холодопроизводительности.

В промышленных холодильных установках пропан используют уже в течение многих лет. В последние годы все чаще предлагается применять пропан в холодильных транспортных установках.

В Германии в 1994 г. было произведено более 1000 бытовых холодильников на пропане, изобутане или их смесях. Подобные хо-

лодильники изготовляют в Китае, Бразилии, Аргентине, Индии, Турции и Чили. По оценкам создателей этой техники, холодильный коэффициент при использовании углеводородов практически такой же (±1 %), как при работе на R12. Требуются только небольшие изменения в конструкции компрессора. Применяются те же минеральные масла, та же электроизоляция, те же уплотняющие материалы, трубы того же диаметра, практически не изменяется процедура сервисного обслуживания. Температура нагнетания становится ниже, чем при работе на R22 или R502. Пропан можно сразу заправить в систему, где до этого был озоноопасный хладагент. Как показали исследования, в этом случае теряется до 10 % холодопроизводительности, если в системе ранее был R22, и 15 %, если R502. Ряд специалистов считают, что и этого снижения можно было бы избежать, добавив к пропану полипропилен.

В США же запрещено использовать углеводороды в бытовых холодильниках. Агентство США по охране окружающей среды прогнозирует в случае их применения до 30 000 пожаров в год.

В Новой Зеландии углеводороды разрешено использовать в торговом холодильном оборудовании.

При размещении торгового холодильного оборудования, работающего на пропане, в общедоступных помещениях необходимо соблюдать правила безопасности. В случае превышения указанных норм заправки (более 2,5 кг R290) холодильное оборудование следует устанавливать в отдельном, специально оборудованном помещении, что увеличивает капитальные затраты.

Пропан применяют и в тепловых насосах. В Лиллехаммере (Норвегия) работает тепловой насос на пропане мощностью 45 кВт с полугерметичным компрессором и пластинчатыми теплообменниками. В системе теплового насоса масса пропана чуть больше 1 кг, оборудование находится в отдельном здании. По мнению специалистов, контроль за пожароопасностью возможен.

Хладагент R600a. Химическая формула C_4H_{10} (изобутан). По сравнению с хладагентами R12 и R134a изобутан имеет значительные экологические преимущества. Этот природный газ не разрушает озоновый слой (ODP = 0) и не способствует появлению парникового эффекта (GWP = 0,001). Масса хладагента, циркулирующего в холодильном агрегате при использовании изобутана, значительно сокращается (примерно на 30 %). Удельная масса изобутана в 2 раза больше удельной массы воздуха — газообразный R600a стелется по земле. Изобутан хорошо растворяется в минеральном масле, имеет более высокий, чем R12, холодильный коэффициент, что уменьшает энергопотребление. Физические свойства R600a в сравнении с хладагентами R12 и R134a приведены в табл. 3.

3. Основные физические свойства R600a в сравнении с R12 и R134a

Параметр	R12	R134a	R600a
Нормальная температура кипения ($p = 0{,}1$ МПа), °С	−29,8	−26,5	−12
Температура замерзания, °С	−158	−101,1	−159
Критическая температура, °С	122	101,15	135
Критическое давление, МПа	4,11	4,06	3,65
Давление всасывания при −15 °С, МПа	0,182	0,164	0,089
Растворимость в масле		Не ограничена	
Растворимость воды в контуре (при 15,5 °С), мас. %	0,005	0,015	0,0057
Потенциал разрушения озона (ODP)	1	0	0

Изобутан горюч [хладагент 3-го класса (It/DIN 8975)], легко воспламенятся и взрывоопасен, но только при соединении с воздухом при объемной доле хладагента 1,3...8,5 %. Нижняя граница взрывоопасности (1,3 %) соответствует 31 г R600a на 1 м^3 воздуха; верхняя граница (8,5 %) — 205 г R600a на 1 м^3 воздуха. Температура возгорания равна 460 °С.

В настоящее время итальянские и немецкие фирмы применяют R600a в бытовой холодильной технике. В частности, фирмы «Necci compressori» и «Zanussi» международного концерна «Electrolux compressors» выпускают компрессоры, работающие на изобутане. Холодильные агрегаты с R600a характеризуются меньшим уровнем шума из-за низкого давления в рабочем контуре хладагента.

Использование изобутана в существующем холодильном оборудовании связано с необходимостью замены компрессоров на компрессоры большей производительности, так как по удельной объемной холодопроизводительности R600a значительно проигрывает хладагенту R12 (практически в два раза).

Хладагент R125. Химическая формула CHF_2CF_3 (пентафторэтан). Относится к группе ГФУ (HFC), не содержит хлора. Потенциал разрушения озона ODP = 0, потенциал глобального потепления GWP = 860. Температура кипения при атмосферном давлении −48,1 °С (приложения 7, 18). Хладагент рекомендуется применять в чистом виде либо в качестве компонента альтернативных смесей для замены R22, R502 и R12. Хладагент R125 непожароопасен. По энергетическим характеристикам и коэффициенту теплоотдачи он проигрывает хладагентам R22 и R502. По сравнению с R502 имеет более крутую кривую, характеризующую зависимость давления насыщенных паров от температуры, низкую критическую температуру и небольшую удельную теплоту парообразования, что приводит к необходимости повышения степени сжатия. В связи с этим возможности применения R125 в холодильном оборудовании, использующем конденсаторы с воздушным охлаждением, весьма ограничены.

Вместе с тем R125 имеет более низкую (по сравнению с R22 и R502) температуру нагнетания и высокий массовый расход при низких давлениях всасывания. Поршневые холодильные компрессоры, работающие на R125, характеризуются оптимальным наполнением цилиндра, а следовательно, имеют большой коэффициент подачи.

Хладагент R134. Химическая формула CF_3CFH_2 (тетрафторэтан). Молекула R134a имеет меньшие размеры, чем молекула R12, что делает более значительной опасность утечек. Относится к группе ГФУ (HFC). Потенциал разрушения озона ODP = 0, потенциал глобального потепления GWP = 1300. Физические свойства R134a приведены в табл. 9, а характеристики на линии насыщения — в приложении 8.

Хладагент R134a нетоксичен и не воспламеняется во всем диапазоне температур эксплуатации. Однако при попадании воздуха в систему и сжатии могут образовываться горючие смеси. Не следует смешивать R134a с R12, так как образуется азеотропная смесь высокого давления с массовыми долями компонентов 50 и 50 %. Давление насыщенного пара этого хладагента несколько выше, чем у R12 (соответственно 1,16 и 1,08 МПа при 45 °С). Пар R134a разлагается под влиянием пламени с образованием отравляющих и раздражающих соединений, таких, как фторводород.

По классификации ASHRAE этот продукт относится к классу A1. В среднетемпературном оборудовании (температура кипения −7 °С и выше) R134a имеет эксплуатационные характеристики, близкие к R12.

Для R134a характерны небольшая температура нагнетания (она в среднем на 8...10 °С ниже, чем для R12) и невысокие значения давления насыщенных паров.

В холодильных установках, работающих при температурах кипения ниже −15 °С, энергетические показатели R134a хуже, чем у R12 (на 6 % меньше удельная объемная холодопроизводительность при −18 °С), и холодильный коэффициент. В таких установках целесообразно применять хладагенты с более низкой нормальной температурой кипения либо компрессор с увеличенным часовым объемом, описываемым поршнями.

В среднетемпературных холодильных установках и системах кондиционирования воздуха холодильный коэффициент R134a равен коэффициенту для R12 или выше его.

В высокотемпературных холодильных установках удельная объемная холодопроизводительность при работе на R134a также несколько выше (на 6 % при $t_0 = 10$ °С), чем у R12. Диапазоны применения хладагента R134a приведены на рис. 4, а зависимость холодопроизводительности и холодильного коэффициента от температуры кипения показана далее на рис. 5.

Из-за значительного потенциала глобального потепления GWP рекомендуется применять R134a в герметичных холодильных сис-

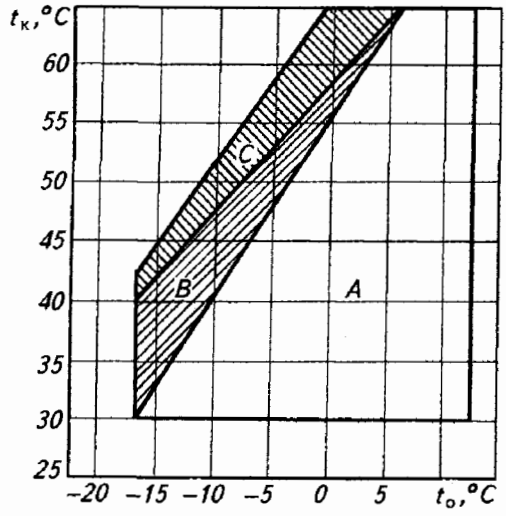


Рис. 4. Диапазоны применения хладагента R134a:

A — температура всасывания 25 °C; *B* — перегрев всасываемого пара 20 K; *C* — перегрев всасываемого пара 11 K; t_0, $t_к$ — температуры соответственно кипения и конденсации

темах. Влияние R134a на парниковый эффект в 1300 раз сильнее, чем у CO_2. Так, выброс в атмосферу одной заправки R134a из бытового холодильника (около 140 г) соответствует выбросу 170 кг CO_2. В Европе в среднем 448 г CO_2 образуется при производстве 1 кВт · ч энергии, т. е. этот выброс соответствует производству 350 кВт · ч энергии.

Для работы с хладагентом R134a рекомендуются только полиэфирные холодильные масла, которые характеризуются повышенной гигроскопичностью.

R134a широко используют во всем мире в качестве основной замены R12 для холодильного оборудования, работающего в среднетемпературном диапазоне. Его применяют в автомобильных кондиционерах, бытовых холодильниках, торговом холодильном среднетемпературном оборудовании, промышленных установках, системах кондиционирования воздуха в зданиях и промышленных помещениях, а также на холодильном транспорте. Хладагент можно использовать и для ретрофита оборудования, работающего при более низких температурах. Однако в этом случае, если не заменить компрессор, то холодильная система будет иметь пониженную холодопроизводительность.

R134a совместим с рядом уплотняющих материалов, в частности с прокладками, сделанными из таких материалов, как «Буна-Н», «Хайпалон 48», «Неопрен», «Нордел», а также со шлангами, футурованными нейлоном. Как показал анализ, проведенный фирмой «Du Pont», изменение массы и линейное набухание таких материалов, применяемых в отечественном холодильном оборудовании, как фенопластовые и полиамидные колодки, текстолит, паронит и полиэтилентерефталатовые пленки, при старении в смеси SUVA R134a с полиэфирным маслом «Castrol SW100» при 100°C в течение 2 недель были незначительными.

Анализ зарубежных публикаций и результаты исследований отечественных специалистов свидетельствуют о том, что замена

R12 на R134a, имеющий высокий потенциал глобального потепления GWP, в холодильных компрессорах сопряжена с решением ряда технических задач, основные из которых:

улучшение объемных и энергетических характеристик герметичных компрессоров;

увеличение химической стойкости эмаль-проводов электродвигателя герметичного компрессора;

повышение влагопоглощающей способности фильтров-осушителей из-за высокой гигроскопичности системы R134a — синтетическое масло.

Все это должно привести к значительному увеличению стоимости холодильного оборудования. Вместе с тем в водоохладительных установках с винтовыми и центробежными компрессорами применение R134a имеет определенные перспективы.

Хладагент R143a. Химическая формула $CF_3—CH_3$ (трифторэтан). Относится к группе ГФУ (HFC).

R143a имеет потенциал разрушения озона ODP = 0 и сравнительно высокий потенциал глобального потепления GWP = 1000, нетоксичен и пожароопасен, не взаимодействует с конструкционными и прокладочными материалами. Наличие трех атомов водорода в молекуле R143a способствует хорошей растворимости в минеральных маслах. Удельная теплота парообразования 19,88 кДж/моль при нормальной температуре кипения, что несколько выше, чем для R125 (18,82 кДж/моль). Температура нагнетания ниже, чем у R12, R22 и R502. Как показал эксергетический анализ, энергетическая эффективность двухступенчатого цикла с R143a близка к эффективности цикла с R502, ниже, чем у R22, и выше, чем у R125. Хладагент R143a входит в состав многокомпонентных альтернативных смесей, предлагаемых для замены R12, R22 и R502.

Хладагент R32. Химическая формула CF_2H_2 (дифторметан). Относится к группе ГФУ (HFC). Характеристики R32 приведены в приложении 9. R32 имеет потенциал разрушения озона ODP = 0 и низкий по сравнению с R125 и R143a потенциал парникового эффекта GWP = 220. Нетоксичен, пожароопасен. Имеет большую удельную теплоту парообразования 20,37 кДж/моль при нормальной температуре кипения и крутую зависимость давления насыщенных паров от температуры, вследствие чего для R32 характерна высокая температура нагнетания, самая высокая из всех альтернативных хладагентов, за исключением аммиака. R32 растворим в полиэфирных маслах.

Для R32 при использовании его в холодильных установках характерны высокие холодопроизводительность и энергетическая эффективность, но он несколько уступает R22 и R717. Высокая степень сжатия R32 вызывает необходимость в значительном изменении конструкции холодильной установки при ретрофите и, следовательно, приводит к увеличению ее металлоемкости и сто-

имости. Поэтому R32 рекомендуется использовать в основном в качестве компонента альтернативных рабочих смесей. Вследствие малых размеров молекулы R32 по сравнению с молекулами хладагентов этанового ряда возможна селективная утечка R32 через неплотности в холодильной системе, что может изменить состав многокомпонентной рабочей смеси.

5. Альтернативные многокомпонентные хладагенты на основе углеводородов

Хладагент С1. В результате комплексных исследований в НИИ тепловых процессов им. В. М. Келдыша (Россия) разработан ряд многокомпонентных озонобезопасных хладагентов взамен R134a в качестве альтернативы R12. Наиболее перспективный из них хладагент С1 (азеотропная смесь R152/R600a), представляющий собой смесь углеводородов и фторуглеродов. Результаты исследований свидетельствуют о высоких теплофизических и эксплуатационных свойствах хладагентов и низком энергопотреблении холодильников, где используют эти хладагенты.

Зависимость холодопроизводительности и холодильного коэффициента от температуры кипения для С1, а также для R12 и R134a приведена на рис. 5. Эксперименты показали, что холодопроизводительность и холодильный коэффициент компрессоров

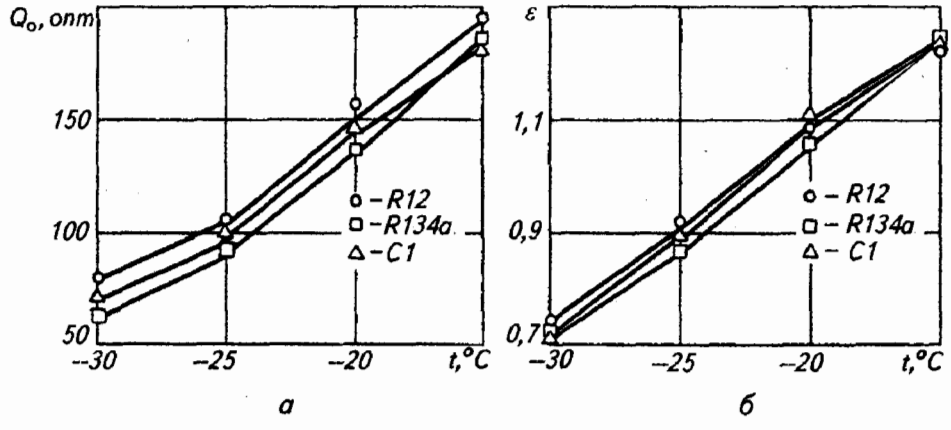


Рис. 5. Зависимость холодопроизводительности Q_0 (*а*) и холодильного коэффициента ε (*б*) от температуры кипения при работе компрессора V1040G на хладагентах R12, R134a и C1 при температуре конденсации 55 °C и всасывания 32 °C

XKB-6 и V1040G, заправленных смесью С1 в диапазоне температур кипения, характерных для бытовых холодильников и морозильников, соответствуют аналогичным параметрам для R12 и тем более для R134a.

Сравнительные испытания холодильников «Бирюса-22» и морозильников «Бирюса-14», работающих на разных хладагентах, показали, что переход на смесь С1 привел к падению потребляемой мощности на 2,5...8,7 %.

В табл. 4 представлены сравнительные энергетические и эксплуатационные характеристики морозильника «Бирюса-14» и холодильника «Бирюса-22», работающих на хладагентах С1 и R12, полученные при температуре наружного воздуха 25 °С.

4. Энергетические и эксплуатационные характеристики морозильника «Бирюса-14» и холодильника «Бирюса-22» при испытании на смеси С1 и R12

Показатель	«Бирюса-14»		«Бирюса-22»	
	R12	С1	R12	С1
Расход электроэнергии, кВт · ч/сут	1,37	1,25	1,64	1,6
Температура, °С:				
в низкотемпературной камере	−18	−18	−18	−18
в холодильной камере	–	–	0...5	0...5
Коэффициент рабочего времени	0,53	0,47	0,56	0,55

Энергопотребление зарубежных холодильников при испытании их на смеси С1 показано на рис. 6. После замены R12 смесью С1 энергопотребление бытового холодильника AP807 снижалось на 16,9 %, а холодильника AP716 – на 5,16 %.

Полученные в лаборатории США экспериментальные данные при испытании зарубежного холодильника на смеси С1 показали, что при оптимальной дозе заправки его энергопотребление на 10 % меньше, чем при работе этого холодильника на R12 (рис. 6, *в*).

Исследования, проведенные в НИИ тепловых процессов им. В. М. Келдыша, позволили сделать следующие выводы:

бытовые холодильники, заправленные хладагентом С1, работают устойчиво, их энергетические характеристики не хуже, чем при работе на R12, даже несколько превосходят их;

совместимость С1 с минеральным маслом ХФ 12-16 и конструкционными материалами позволяет максимально упростить процесс перехода с R12 на многокомпонентные хладагенты;

компоненты, входящие в С1, нетоксичны, их потенциал глобального потепления GWP низок; они освоены промышленностью развитых стран;

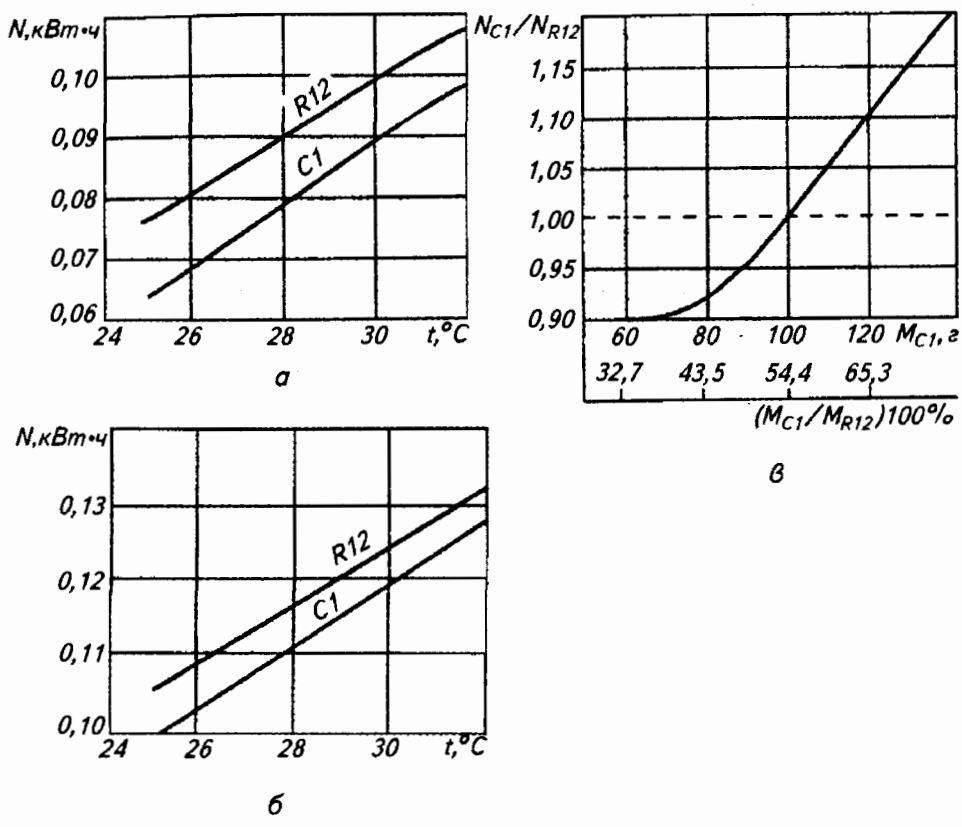


Рис. 6. Энергопотребление бытовых холодильников:

а, *б* — при работе зарубежных моделей бытовых холодильников на хладагентах С1 и R12 (*а* — АР 807; *б* — АР 716); *в* — зависимость отношения расхода электроэнергии N_{C1} при использовании хладагента С1 к расходу электроэнергии N_{R12} в этом же холодильнике при заправке его хладагентом R12 до дозы заправки С1

хладагент С1 горюч, но, как считают разработчики, необходимая доза для заправки бытовых холодильников и морозильников столь мала (28...56 г), что даже при полной утечке С1 из агрегата его концентрация (например, в кухне объемом 20 м^3) будет ниже порога горючести в десятки раз.

Однако пожаро- и взрывоопасность хладагента С1 делают проблематичным применение его для действующего парка холодильного оборудования.

Следует учитывать также то, что в рабочем интервале температур азеотропные смеси С1 изменяют свою концентрацию на 3...6 %, что затрудняет процедуру заправки, дозаправки и перезаправки хладагентом холодильного агрегата.

В России в 1995 г. на заводе холодильников «Бирюса» была изготовлена опытная партия из 100 холодильников с серийным герметичным компрессором на углеводородной смеси С1.

Смесь пропан—бутан. По результатам исследований предлагается также использовать в бытовых холодильниках в качестве хладагента смесь пропан—бутан: при этом изменений в конструкцию бытового холодильника не вносят, а в качестве масла используют обычные минеральные масла, работающие с R12.

За период эксплуатации бытовых холодильников в течение 5 лет не отмечено признаков изменения хладагента и масла. В табл. 5 приведены эксплуатационные характеристики бытовых холодильников TS135 и TS175 (Польша) объемом соответственно 135 и 175 дм^3.

5. Эксплуатационные характеристики бытовых холодильников, работающих на смеси пропан—бутан

Показатель	TS 135		TS 175	
	R12	Смесь пропан—бутан	R12	Смесь пропан—бутан
Расход электроэнергии, кВт · ч/сут	1,01	1,0	0,1	0,1
Давление, МПа:				
всасывания	0,1	0,1	0,1	0,1
нагнетания	0,82	0,80	0,80	0,80
Температура, °С:				
в низкотемпературной камере	−17...−19	−12...−20	−11...−12	−7...−16
в холодильной камере	+1...0	−1...0	−1...+1	+1...+3

По энергетическим характеристикам теоретического холодильного цикла смесь пропан—бутан при аналогичных условиях уступает R12. В Германии уже несколько лет выпускают небольшими партиями холодильники, работающие на данной смеси. Смесь пропан—бутана зеотропная.

Как было сказано ранее, такие смеси кипят при переменных температурах, но при постоянном давлении, т. е. это свойство может быть реализовано в холодильниках с двумя испарителями, когда кипение зеотропной смеси начинается в низкотемпературном отделении, а выкипание происходит в испарителе холодильной камеры при более высоких температурах.

Предлагаемая смесь пропан—изобутан (43 % R600a) горюча, но масса хладагента, находящегося в бытовом холодильнике, мала (20...40 г). Этой смесью заправляют бытовые холодильники в Германии, широко внедряют ее в Китае и Индии. Вместе с тем американское агентство по охране окружающей среды (EPA) ввело правило, запрещающее использование смеси пропан—изобутан (HC-12a) в качестве альтернативы R12.

Хладагент СМ1. Этот хладагент разработан в МЭИ (состав R134/R218/R600), представляет собой зеотропную, пожаро- и взрывобезопасную смесь, по термодинамическим характеристикам близкую к R12 и растворимую в минеральных маслах. Не требуется изменения конструкций холодильных машин, применения новых смазочных масел и переоснащения производства.

В табл. 6 приведены сравнительные результаты испытаний бытовых холодильников «ЗИЛ», «Мир-101», «Ока-6М» и морозильника «Свияга-106» (МЭИ).

6. Сравнительные результаты испытаний бытовых холодильников и морозильников на хладагентах R12 и СМ1

Марка холодильника, морозильника	R12		СМ1	
	Масса заправки, г	Расход энергии, кВт · ч/сут	Масса заправки, г	Расход энергии, кВт · ч/сут
ЗИЛ	110	1,3	81...100	1,25...1,6
Мир-101	112	1,79	86,5...130	1,62...1,85
Ока-6М	116	1,37	85...116	1,51...2,41
Свияга-106	100	1,4	70...85	1,45...1,6

Как показали испытания, хладагент СМ1 можно использовать в бытовых холодильниках вместо R12.

Суточный расход электроэнергии в бытовых холодильниках, заправленных СМ1, выше на 4...9 %, чем в холодильниках, работающих на R12.

Для повышения энергетической эффективности рекомендуется обеспечивать полноценный регенеративный теплообмен в холодильных агрегатах (между жидкостным и всасываемым потоками хладагента).

Хладагент СМ1 предлагается также использовать в торговом и промышленном холодильном оборудовании, выпускаемом в настоящее время для работы на R12, а также для ретрофита части действующего парка холодильных машин.

Примерная потребность хладагента СМ1 (в новом производстве и при ретрофите) в 2000 г.:

в бытовой холодильной технике 900 т;

в торговых холодильных машинах с воздушным охлаждением конденсаторов 600 т;

в промышленных холодильных машинах с воздушным охлаждением конденсатора 500 т.

Вместе с тем при имеющейся сырьевой базе промышленное производство хладагента СМ1 пока не организовано.

6. Альтернативные многокомпонентные хладагенты группы ГХФУ

6.1. Хладагенты среднего давления

Для замены R12 и R500 фирмой «Du Pont» разработан ряд сервисных переходных смесей среднего давления SUVA® MP, SUVA® MP39 (R401A), SUVA® MP52 (R401C) и SUVA® MP66 (R401B). Такие смеси могут быть использованы в системах кондиционирования воздуха зданий и на транспорте, в высоко- (выше 0 °С) и среднетемпературном торговом оборудовании, бытовых холодильниках и морозильниках, крупногабаритных охладителях, торговых автоматах продажи пива и безалкагольных напитков.

Сервисные смеси SUVA® MP имеют следующий состав (табл. 7).

7. Состав многокомпонентных хладагентов R401A, R401B и R401C

Хладагент	Массовая доля компонента, %		
	R22	R152	R124
R401A	53	13	34
R401B	61	11	28
R401C	33	15	52

Хладагент R401A. Это зеотропная смесь среднего давления с температурным глайдом $\Delta t_{gl} = 4...5$ K. Физические свойства этой смеси приведены в табл. 10 и 12, а характеристики хладагента R124 на линии насыщения – в приложении 11. Давление насыщенного пара R401A несколько выше, чем у R12 (соответственно 1,27 и 1,08 МПа при 45 °С).

В зависимости от условий эксплуатации холодопроизводительность холодильной системы, в которой ранее был R12, увеличивается на 5...8 %. Хладагент R401A несовместим с минеральными маслами, поэтому во время ретрофита необходимо заправлять холодильный агрегат алкилбензольным маслом. Требуется также замена фильтра-осушителя.

Хладагент рекомендуется применять для ретрофита в высоко- (выше 0 °С) и среднетемпературных торговых холодильных установках (герметичные, бессальниковые компрессоры и компрессоры с открытым приводом), бытовых холодильниках и стационарных кондиционерах воздуха для замены R12.

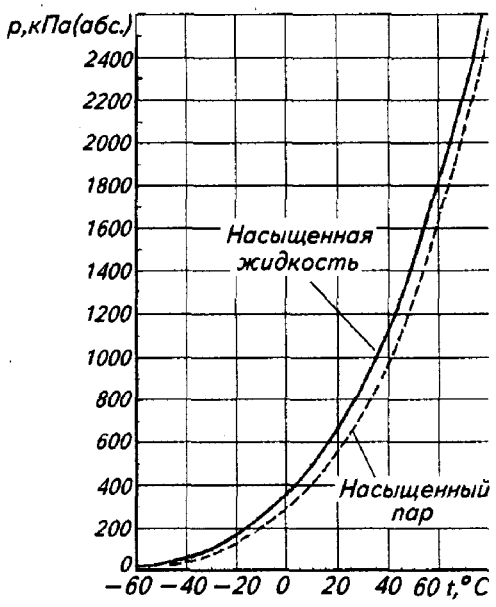


Рис. 7. Зависимость давления насыщения от температуры для R401A

Холодопроизводительность холодильной системы, работающей на R401A, сопоставима с холодопроизводительностью систем на R12 при температурах кипения выше −25 °С. Зависимость давления насыщения от температуры представлена на рис. 7. В табл. 8 приведены результаты сравнения теоретических холодильных циклов при работе на R12 и R401A.

При эксплуатации холодильной системы любая утечка хладагента должна быть быстро устранена, чтобы поддержать рабочие характеристики холодильного агрегата. Теоретические исследования позволили смоделировать реальный процесс, при котором в холодильной системе при неработающем компрессоре происходит ряд утечек пара (пять) с последующей дозаправкой хладагентом R401A. Каждая утечка составляла 20 % первоначальной заправки, а каждую заправку проводили хладагентом в жидкой фазе. В табл. 9 пред-

8. Сравнительные результаты теоретических холодильных циклов R12, R401A и R401B (по данным фирмы «Du Pont»)

Параметр	Хладагент		
	R12	R401A	R401B
Относительная холодопроизводительность (в сравнении с R12)	1,00	1,08	1,16
Холодильный коэффициент	1,46	1,48	1,47
Степень сжатия	10,20	11,73	11,48
Температура нагнетания, °С	156	169	174
Давление нагнетания, кПа (абс.)	1340	1530	1620
Температурный глайд Δt_{gl}, К:			
кипения	0	5,2	4,9
конденсации	0	4,5	4,2

Примечание. Температура кипения −23 °С, температура конденсации 54 °С.

ставлены характеристики холодильной системы после каждой заправки, и хотя состав хладагента изменялся, холодильная система по характеристикам оставалась сопоставимой с системой, работающей на R12. Испытание проводили на непрерывно работающем среднетемпературном торговом холодильном оборудовании, что позволяло осуществлять хорошее смешивание смеси.

9. Влияние утечек хладагента R401A на работу холодильной системы («Du Pont»)

Номер утечки хладагента	Температурный глайд		Давление нагнетания, кПа	Температура нагнетания, °С	Холодильный коэффициент	Холодопроизводительность, Вт
	кипения	конденсации				
			Хладагент R401A			
0	4,9	4,6	990	95,3	3,29	2619
1	4,9	4,6	967	94,9	3,28	2537
2	4,9	4,6	944	93,9	3,30	2491
3	4,8	4,5	929	93,5	3,30	2445
4	4,8	4,5	916	93,5	3,30	2409
5	4,8	4,5	905	92,9	3,30	2372
			Хладагент R12			
0	0	0	908	85,8	3,25	2391

Примечание. Режим работы холодильной системы: температура кипения −6,7 °С; температура конденсации 37,8 °С; температура всасываемого пара 18,3 °С; температура переохлаждения 5,6 °С.

Хладагент R401B. Это зеотропная смесь среднего давления с температурным глайдом $\Delta t_{gl} \approx 5$ К. Физические свойства этой смеси приведены в табл. 10. Давление насыщенного пара R401B (рис. 8) несколько выше, чем у R12 (соответственно 1,36 и 1,08 МПа при 45 °С).

Хладагент разработан для ретрофита низкотемпературного оборудования холодильных транспортных систем (например, охлаждаемых контейнеров), работающего на R12 (температура кипения −20...−30 °С), а также среднетемпературного торгового оборудования и бытовых холодильников.

При ретрофите действующего холодильного оборудования следует заменить фильтр-осушитель, а холодильную систему охлаждения заправить алкилбензольным маслом. Холодопроизводительность систем, работающих на хладагенте R401B, сопоставима с холодопроизводительностью на R12 при температурах кипения ниже −23 °С.

Хладагент R401B можно также использовать для замены R500 в действующем оборудовании.

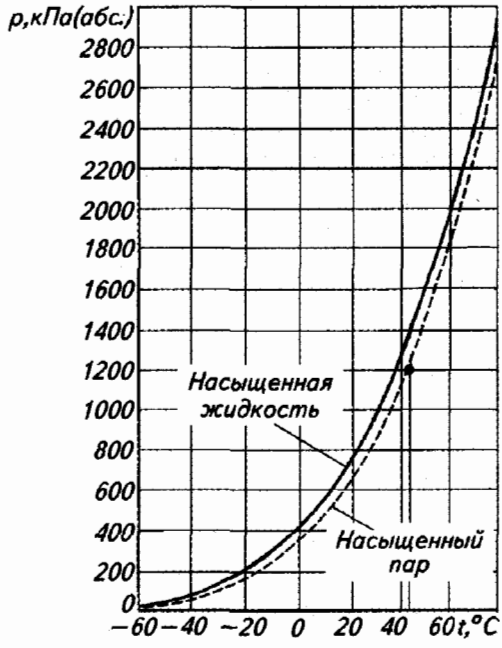


Рис. 8. Зависимость давления насыщения от температуры для R401B

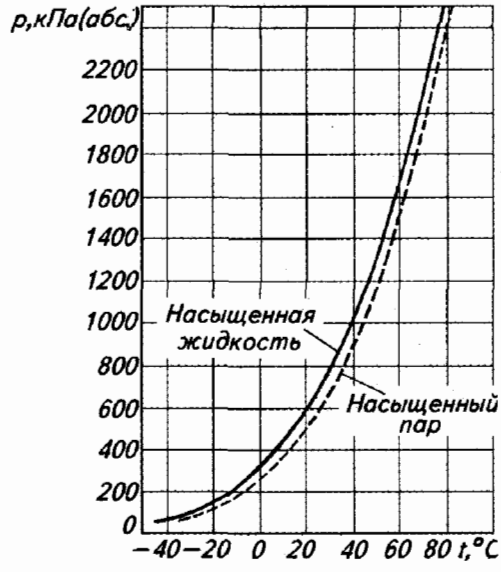


Рис. 9. Зависимость давления от температуры для R401C

В табл. 8 приведены сравнительные теоретические характеристики холодильных систем, работающих на хладагентах R401B и R12. Как видно из табл. 8, холодопроизводительность холодильных систем, работающих на R401B, выше, чем на R12.

Хладагент R401C. Это зеотропная смесь среднего давления с температурным глайдом $\Delta t_{gl} = 4{,}5...5$ K. Физические свойства этой смеси приведены в табл. 10. Зависимость давления насыщения от температуры представлена на рис. 9. Хладагент предназначен для ретрофита действующих холодильных авторефрижераторов, работающих на R12. Термодинамические и физические свойства хладагента позволяют осуществлять эффективную и безопасную замену R12. При ретрофите установок, работающих на R12, перед переходом к хладагенту R401C заменяют фильтр-осушитель и минеральное масло на алкилбензольное.

Сравнение теоретического цикла для холодильных систем, работающих на R401C и R12, дано в табл. 11.

10. Основные физические свойства хладагентов R401A, R401B и R401C в сравнении с R134a

Параметр	R401A	R401B	R401C	R134a
Молекулярная масса, г/моль	94,4	92,8	101	102,0
Температура кипения при атмосферном давлении, °C	−33,1	−34,7	−28,4	−26,1
Критическая температура, °C	108	106	113	101,1
Критическое давление, кПа (абс.)	4604	4682	4366	4060
Критическая плотность, кг/м^3	510,6	512,7	512,3	515,3
Плотность при 25 °C, кг/м^3:				
жидкости	1194	1193	1211	1206
насыщенных паров	29,0	30,7	25,9	32,5
Удельная теплоемкость жидкости при 25 °C, кДж/(кг · K)	1,3	1,3	1,28	1,44
Удельная теплоемкость паров при 25 °C и атмосферном давлении, кДж/(кг · K)	0,734	0,724	0,745	0,852
Давление паров насыщенной жидкости при 25 °C, кПа (абс.)	772,9	819,2	655,7	666,1
Удельная теплота парообразования при нормальной температуре кипения, кДж/кг	227,4	229,4	216	217,1
Коэффициент теплопроводности жидкости при 25 °C, Вт/(м · K)	8,4–9,0 × × 10^{-2}	8,85–9,0 × × 10^{-2}	8,68 × × 10^{-2}	8,2 · 10^{-2}
Коэффициент теплопроводности паров при 25 °C и атмосферном давлении, Вт/(м · K)	0,0119	0,0119	0,0121	0,0145
Динамическая вязкость жидкости при 25 °C, МПа · с	0,194	0,191	0,212	0,202
Растворимость воды в хладагенте при 25 °C, мас. %	0,10	0,10	0,10	0,11
Предел воспламеняемости в воздухе при атмосферном давлении, об. %	Нет	Нет	Нет	Нет
Потенциал разрушения озона ODP (для R12 ODP = 1)	0,03	0,04	0,03	0,0
Потенциал глобального потепления HGWP	0,22	0,24	0,17	0,28
Предельно допустимая концентрация при вдыхании (ПДК), млн$^{-1}$	800	840	720	1000

11. Результаты сравнения теоретических холодильных циклов для R401C и R12 (по данным фирмы «Du Pont»)

Параметр	Хладагент	
	R12	R401C
Относительная холодопроизводительность (в сравнении с R12)	1,00	0,96
Холодильный коэффициент	1,46	2,43
Степень сжатия	10,20	5,33
Температура нагнетания, °С	156	92
Давление нагнетания, кПа (абс.)	1340	1500
Температурный глайд Δt_{gl}:		
при кипении	0	4,7
при конденсации	0	4,5

Примечание. Температура кипения −2 °С; температура конденсации 60 °С, перегрев на всасывании и переохлаждение 2,8 °С.

Хладагент R409A. Представляет собой смесь на основе ГХФУ: R22, R124 и R142. Массовые доли компонентов составляют соответственно 60; 25 и 15. Температура кипения при атмосферных условиях −34 °С. Характеристики хладагента R409A на линии насыщения приведены в приложении 10. Молекулярная масса 97,4 г/моль. Потенциал разрушения озона ODP = 0,05. Хладагент негорюч и неядовит, совместим с минеральными, а также с алкилбензольными маслами. Предназначен для ретрофита холодильных систем мобильного торгового транспортного оборудования, бытовых холодильников, промышленных холодильных установок с поршневыми и винтовыми компрессорами.

Хладагент С10М1. Хладагент С10М1(ТУ 2412-003-32837395—98), разработанный компанией «АСТОР» и производимый под зарегистрированной маркой АСТРОН™ 12, – это трехкомпонентная смесь на основе гидрохлорфторуглеродов R22/R21/R142b, имеющих ограниченный срок применения. Предназначена смесь С10М1 для ретрофита холодильных систем, работающих на R12.

Выпускают смеси двух марок (А и Б), различающихся массовыми долями компонентов: в смеси С10М1 марки А — R22, R21 и R142b массовые доли компонентов соответственно 65; 5 и 30%; в смеси С10М1 марки Б – 65; 15 и 20%.

Состав смеси подобран таким образом, чтобы эксплуатационные характеристики оборудования с этими хладагентами минимально отличались от показателей, достигаемых при работе с заменяемым хладагентом R12.

Хладагенты С10М1 нетоксичны, негорючи и по основным физико-химическим, термодинамическим и эксплуатационным свойствам сходны с хладагентом R12.

В качестве заменителя R12 хладагенты прошли трехлетние испытания в отечественном торговом холодильном оборудовании, в том числе в бытовых холодильниках производства заводов «Атлант», ЗИЛ и др.:

С10М1 марки А – в рефрижераторах железнодорожного транспорта (5-вагонные рефрижераторные секции ЦБ-5 производства завода «Дессау» и РС-4, выпускаемые на БМЗ), кондиционерах железнодорожного транспорта (установки типа МАБ-II);

С10М1 марки Б – в торговом холодильном оборудовании (холодильные агрегаты $ВС_Р400$, ВС500, $ВС_З800$, ФАК-1,65М3, ФАК1,5М3, АК-4,5, АКФМ-4М и др.); в бытовых холодильниках (ЗИЛ-64, ЗИЛ-227, МХМ152, КШД270/280 и др.).

Хладагенты группы С10М1 по теплофизическим свойствам близки к R401A (табл. 12).

12. Основные физические свойства и эксплуатационные показатели хладагентов С10М1 и R401A

Показатель	С10М1 марки А	С10М1 марки Б	R401A
Молекулярная масса, г/моль	91,0	91,2	94,4
Температура кипения, °С	–32,8	–31,5	–33,1
Температурный глайд при давлении 0,1 МПа, °С	7,2	8,5	6,4
Критическая температура, °С	110,9	114,5	108
Критическое давление, МПа	4,8	4,6	4,6
Критическая плотность, кг/м^3	496,0	503,0	510,6
Коэффициент сжимаемости	0,271	0,272	–
Плотность при давлении 0,1 МПа, кг/м^3:			
насыщенных паров	4,1	4,1	4,2
жидкости	1390,2	1390,1	1376
Удельная теплота парообразования при 0,1 МПа, кДж/кг	231,8	232,8	225,7
Предельно допустимая концентрация ПДК, мг/м^3	3000	3000	–
Потенциал разрушения озона ODP	0,05	0,05	0,04
Применяемое холодильное масло	Минеральное ХФ12-16	Минеральное ХФ12-16	Алкилбензольное
Наличие промышленного производства в РФ	Имеется	Имеется	Нет
Пожаробезопасность	Негорюч		
Апробация в холодильной технике РФ	Более 2 лет	Более 2 лет	Нет
Технология замены хладагента	Простая замена (от англ. *drop in*)		Ретрофит (от англ. *retrofit*)

Преимущества хладагента С10М1 (АСТРОН^{TM} 12) по отношению к зарубежным аналогам следующие:

относительная дешевизна – хладагент состоит из компонентов, выпускаемых заводами России, а его производство организовано компанией «АСТОР» также на территории России;

транспортировать хладагент можно в контейнерах и баллонах, предназначенных для перевозки R12;

перевод холодильного оборудования с R12 на смеси C10M1 осуществляют исключительно путем замены самого хладагента без какой-либо модернизации холодильного оборудования, без внесения изменений в конструкцию холодильной машины и без замены компрессорного масла (в холодильном оборудовании, работающем на R12, используют минеральное масло ХФ12-16);

переход на хладагент C10M1 не предусматривает дополнительной подготовки холодильной системы к работе, переобучения персонала, применения специального оборудования или инструмента для сервисного обслуживания холодильной техники – согласно международной классификации, технология перехода на этот хладагент классифицируется как «drop in», т. е. простая замена.

Технология перевода действующей холодильной техники с хладагента R12 на смеси C10M1 отработана и оптимизирована в процессе опытной эксплуатации соответствующего оборудования. Обязательное условие применения смесей – заправка оборудования хладагентом в жидкой фазе. В случае утечки до 30...35 % хладагента C10M1 из системы в процессе эксплуатации проводят дозаправку смесью того же состава.

Основные этапы перевода холодильной техники на C10M1 по технологии простой замены выполняют в такой последовательности:

оценка показателей оборудования, в котором предполагается заменить R12 на альтернативный хладагент – измерение давлений нагнетания и всасывания в компрессор, а также температур в испарителе и конденсаторе;

останов машины, удаление R12, определение массы (взвешивание) извлеченного хладагента;

отбор пробы масла и контроль его качества (кислотность, влажность, наличие механических примесей); в случае отрицательных результатов замена масла на свежее;

герметизация установки, вакуумирование системы для удаления остатков R12;

заправка системы хладагентом C10M1 в жидкой фазе – 80...90 % массы R12;

включение компрессора, вывод его на рабочие параметры;

оценка характеристик оборудования при работе на смеси C10M1.

Смесь R22/R142b. Хладагент представляет собой негорючую зеотропную смесь, компоненты которой имеют ограниченный Монреальским протоколом срок применения. Характеристики R142b на линии насыщения приведены в приложении 12.

Результаты испытаний бытовых холодильников, заправленных смесью R22 и R142b с массовыми долями соответственно 0,6 и 0,4,

проведенные в Астраханском государственном технологическом университете и Московском энергетическом институте, показали, что энергопотребление осталось практически на том же уровне, что и при использовании R12. Применение этой смеси целесообразно при ретрофите действующего холодильного оборудования; при этом не требуется замены масел, фильтров-осушителей, а также внесения изменений в конструкцию холодильного агрегата. Смесь R22 и R142b может служить переходным хладагентом не только в бытовой технике, но и в другом холодильном оборудовании.

Взаимодействие хладагентов среднего давления с металлами. Тепловые испытания на устойчивость хладагентов при контакте с металлами выполняют, как правило, в присутствии холодильных масел. Результаты тепловых испытаний хладагентов на устойчивость в контакте с материалом труб, используемых для R12, в присутствии минеральных масел свидетельствуют о стабильности смесей хладагентов SUVA® MP с маслами в контакте с медью и алюминием в действующих холодильных системах (табл. 13).

Отмечено, что во всех случаях лучше использовать алкилбензольные и полиэфирные масла с хладагентами SUVA® MP, чем минеральные масла с R12.

Температурный диапазон, в котором хладагент и масло смешиваются, образуя единую жидкую фазу, это −50...+93 °С. Свойства смесей хладагентов и масел в контакте с металлами, изученные при определенной комбинации хладагентов SUVA® MP + + масло (например, R401A с ZEROL 150DL), относятся ко всем хладагентам SUVA® среднего давления, так как они представляют собой различные сочетания тех же самых трех компонентов (R22, R152A и R124).

Совместимость хладагентов среднего давления с материалами электродвигателей. При работе холодильного оборудования большое значение имеет совместимость материалов, используемых для изготовления изоляции в электродвигателях герметичных компрессоров, со смесью хладагента и холодильного масла. В связи с этим фирмой «Du Pont» проведены испытания на совместимость смеси хладагента SUVA® MP и нафтенового алкилбензольного масла с полиэфирными материалами изоляции электродвигателя. Материал испытывали на изгиб и проверяли на наличие трещин и разрывов, чтобы оценить уровень его хрупкости. Образцы оценивали по сравнительной шкале. При этом наилучшая оценка принималась за ноль (если не отмечалось никаких изменений характеристик). Как показали результаты испытаний, проведенных при температуре 121 °С в течение 30 сут, комбинация из хладагента R401A и алкилбензольного масла совместима с материалом изоляции. Как правило, большинство электродвигателей современных компрессоров (10–15-летней давности), работающих на R12, совместимы и с R22. По предположениям, сделанным специалиста-

13. Стабильность хладагентов группы ГХФУ и хладагента R12 в смеси с металлами и холодильными маслами (по данным фирмы «Du Pont»)

Парамстр	Холодильные масла кинематической вязкостью при 40 °С ν, 10^{-6} м²/с (сСт)						
	31	125	35	ND	94	22	32
	Минеральное масло		ZEROL 150DL	ZEROL 300	ZEROL 500T	Castrol Isematik SW22	Castrol Isematik SW22
	Хладагенты						
	R12	R12	R401A	Модельная смесь R22/R152a/R124(36/24/80)		R401C	
Диапазон температур, °С	−50...+93	−50...+93	−50...+93	Не определяли	−50...+93	−50...+93	−50...+93
Оценка стабильности*:							
чистого масла	Не определяли		2,P	0	0	0	0
смеси** хладагента и масла	4	4	2,P	0	0	0	0
в контакте с медью	2	2	2,T	0	0	0	1
» со сталью	3	3	0,T	0	0	3	3
» с алюминием	2	2	0	0	0	0	2
Изменение вязкости чистого масла, %	Не определяли					2,3	5,0
Массовая доля компонентов после разложения масла, $млн^{-1}$:							
фтора	Не определяли	420	Не определяли	10	10	80	60
хлора	Не определяли			< 10	10	286	286

Продолжение по горизонтали

Параметр	Холодильные масла кинематической вязкостью при 40 °С ν, 10^{-6} м²/с (сСт)					
	68	100	62	10	100	140
	Castrol Isematik SW22	Castrol Isematik SW22	Mobil EAL Artic 68	EMERY 15010	EMERY 15100	Lubrizol ISO 150
	Хладагенты					
	R401C					
Диапазон температур, °С	–50...+93	–50...+93	–50...+93	Не определяли	–50...+93	–50...+93
Оценка стабильности*:						
чистого масла	0	0	0	0	0	0
смеси** хладагента и масла	0	0	0	0	0	1,D
в контакте с медью	0	0	0	0	0	1,P
» со сталью	0	0	2,T,CP	3,T,CP	1,T	1,P,CP
» с алюминием	0	0	0	0	0	0
Изменение вязкости чистого масла, %	0,8	4,4	–2,0	1,3	0,1	Не определяли
Массовая доля компонентов после разложения масла, $млн^{-1}$:						
фтора	< 7	< 7	113	Не определяли	13	57
хлора	<< 7	< 7	340	То же	7	57

* Оценка стабильности: 0 — хорошее; 3 — частично разлагается (потеря рабочих качеств); 5 — окисленное (окисленный осадок); Р — осадок; СР — медное напыление (отложение); Т — помутнение; D — темная жидкость.

** Эксперименты по исследованию растворимости проводили, помещая смесь в запаянную стеклянную трубку.

ми фирмы «Du Pont», хладагенты SUVA® MP не окажут существенного влияния на материал изоляции электродвигателей современных компрессоров, работающих на R12.

Результаты испытаний (по данным фирмы «Du Pont») на совместимость хладагентов с полимерными материалами-эластомерами, применяемыми в новом и действующем холодильном оборудовании, представлены в табл. 14 (испытания проводили в течение четырех недель, помещая хладагент с эластомером в запаянную трубку при температуре +80 °С). На фактическую совместимость хладагента с полимерным материалом могут повлиять рабочие условия конкретного режима, поэтому применяемый материал в каждом конкретном случае необходимо проверять. По совместимости с эластомерами хладагенты R401A, R401B и R401C аналогичны смеси, рассмотренной в качестве примера в табл. 14, так как в эту смесь входят те же составные компоненты.

14. Совместимость хладагентов R401A, R401B и R401C с некоторыми эластомерами

Эластомер	Хладагент + масло (50% + 50%)		Хладагент		Алкилбензольное масло ZEROL 500T	
	Оценка	Линейное набухание, %	Оценка	Линейное набухание, %	Оценка	Линейное набухание, %
Натуральный каучук	2	+48	0(2)	+5	2	+56
Бутил каучук	2	+20	0(0)	+1	2	+30
Неоприн W	0	+7	1(0)	< +1	0	+70
SBK	2	+22	1(1)	+2	2	+26
NBR нитрил	1	+9	2(0)	+16	0	< –1
HPALON*48	0	+3	0(0)	< +1	0	+3
VITON	2	+12	2(1)	+17	0	–1
Силикон	2	+48	2(2)	+31	2	+27
Уретан	1	+11	2(2)	+29	0	< +1
Thiokol FA	2	+12	0(0)	+2	2	+13
NORDEL** EPDM	2	+19	0(0)	< –1	2	+31

* Алкилбензольное масло ZEROL 500T.

** Зарегистрированная торговая марка «Du Pont».

Примечания: 1. Состав хладагента, %: R22/R152a/R124(36/24/40). 2. Оценки: 0 – совместимый; 1 – совместимый на грани допустимого; 2 – несовместимый. Оценка в скобках приведена для R12 в целях сравнения.

6.2. Хладагенты высокого давления

Хладагенты SUVA® HP80 (R402A) и SUVA® HP81 (R402B) были специально разработаны для действующих установок, спроектированных в расчете на применение R502, с тем чтобы их можно было продолжать эксплуатировать и после вывода из обращения

R502. Термодинамические свойства смесей R402A и R402B сходны со свойствами R502. Выбор той или иной сервисной смеси диктуется конкретной областью применения и характерными условиями эксплуатации.

Состав сервисных смесей приведен в табл. 15.

15. Состав многокомпонентных хладагентов R402A и R402B

Хладагент	Массовая доля компонента, %		
	R22	R125	R290
R402A	38	60	2
R402B	60	38	2

Область применения хладагентов для ретрофита и заправки нового оборудования представлена в табл. 16.

16. Область применения хладагентов R402A и R402B

Вид холодильной установки	Ретрофит	Заменяемый хладагент
Холодильные установки для хранения замороженных продуктов при температуре ниже −18 °C	R402A, R402B	R502
Низкотемпературный холодильный транспорт	R402A	R502

Хладагент R402A. Это близкозеотропная смесь с температурным глайдом менее 1,6 K. Основные физические свойства приведены в табл. 17. Хладагент разработан для ретрофита оборудования, заправленного R502 и работающего при низкой температуре кипения (−40 °C), где необходимо достичь температуры нагнетания, свойственной R502. В зависимости от условий эксплуатации холодопроизводительность оборудования, работающего на этом хладагенте, как правило, выше, чем у оборудования на R502, примерно на 11 %. Энергопотребление также несколько больше. Хладагент R402A по сравнению с R502 при одних и тех же условиях имеет повышенное давление на 13...15 %.

R402A совместим с минеральными маслами, со смесями минерального и алкилбензольного масел, а также с алкилбензольными и полиэфирными маслами. Рекомендуется применение R402A в сочетании с алкилбензольным маслом. Во время ретрофита фильтр необходимо заменять.

Неазеотропность смеси может привести к изменению ее состава и соответственно к ухудшению характеристики холодильной системы в процессе длительной работы.

Хладагент R402B. Это близкозеотропная смесь с температурным глайдом менее 1 K. Основные физические свойства хладагента R402B приведены в табл. 17.

17. Основные физические свойства хладагентов R402A, R402B и R404A

Параметр	R402A	R402B	R404A
Молекулярная масса, г/моль	101,55	94,71	97,6
Температура кипения при атмосферном давлении, °С	–49,2	–47,4	–46,7
Критическая температура, °С	75,5	82,6	72,7
Критическое давление, кПа (абс.)	4135	4445	3735
Критическая плотность жидкости, кг/м^3	541,7	530,7	485,1
Плотность при 25 °С, кг/м^3:			
жидкости	1132	1143	1048
насыщенных паров	19,93	16,90	18,04
Удельная теплоемкость жидкости при 25 °С, кДж/(кг · К)	1,313	1,273	1,502
Удельная теплоемкость паров при 25 °С и атмосферном давлении, кДж/(кг · К)	0,757	0,726	0,871
Давление паров насыщенной жидкости при 25 °С, кПа (абс.)	1353	1267	1257
Теплота парообразования при нормальной температуре кипения, кДж/кг	194	210,7	198,7
Коэффициент теплопроводности жидкости при 25 °С, Вт/(м · К)	(4,48...9,0) × × 10^{-2}	(8,13...9,0) × × 10^{-2}	7,46 × × 10^{-2}
Коэффициент теплопроводности паров при 25 °С и атмосферном давлении, Вт/(м · К)	$1{,}21 \cdot 10^{-2}$	$1{,}1 \cdot 10^{-2}$	$1{,}2 \cdot 10^{-2}$
Растворимость воды в хладагенте при 25 °С, мас.%	–	–	–
Предел воспламеняемости в воздухе (0,1 МПа), об.%	Нет	Нет	Нет
Потенциал разрушения озона ODP	0,02	0,03	0,0
Потенциал глобального потепления HGWP	0,63	0,52	0,94
Предельно допустимая концентрация при вдыхании (ПДК), млн$^{-1}$	1000	1000	1000

Хладагент разработан как заменитель R502 для ретрофита холодильного оборудования, в котором необходимо оптимизировать холодильный коэффициент. В тех случаях, когда соображения энергетической эффективности являются определяющими, предпочтение отдается хладагенту R402B, который превосходит R502 по энергетическим характеристикам (табл. 18). Хладагент перспективен для применения в торговом холодильном оборудовании, в охлаждаемом объеме которого температура кипения не опускается ниже –30 °С. Важно, что если температура кипения достигает –40 °С, то температура нагнетания может быть на 15 °С выше, чем у R502. Такое повышение температуры может отрицательно повлиять на систему смазки и сократить срок службы компрессора.

18. Энергетические и эксплуатационные характеристики хладагентов R402A и R402B в сравнении с R502 и R404A

Показатель	R502	R402A	R402B	R404A
Удельная холодопроизводительность, кДж/кг	85,37	91,12	110,51	89,43
Холодильный коэффициент	1,19	1,14	1,25	1,09
Степень сжатия	10,61	10,41	10,62	10,61
Температура нагнетания, °С	128,1	128,6	142,2	118,9
Давление нагнетания, МПа	1,677	1,936	1,806	1,824

Примечание. Температура кипения $t_0 = -34{,}4$ °С, температура конденсации $t_К = -40{,}0$ °С, температура всасывания $t_{вс} = -18{,}3$ °С, переохлаждения $\Delta t_{по} = 2$ К.

Хладагент совместим с минеральными маслами, со смесями минерального и алкилбензольного масел, а также с алкилбензольными и полиэфирными маслами. Во время ретрофита фильтр-осушитель необходимо заменять.

Вследствие того что состав хладагента многокомпонентный, могут произойти селективная потеря какого-либо компонента из-за утечки, вызванной негерметичностью холодильной системы, или изменение массы в отдельных ее элементах, что вызовет ухудшение энергетических характеристик оборудования.

Сравнительные теоретические и эксплуатационные характеристики хладагентов R402A, R402B и R404A представлены в табл. 18.

Теплофизические характеристики хладагентов SUVA® HP выше, чем у R502, поэтому любая незначительная потеря КПД на сжатие может быть возмещена за счет более интенсивного теплообмена.

Совместимость хладагентов высокого давления и R502. Хладагенты R502 и SUVA® HP химически совместимы, т. е. они не реагируют один с другим и не образуют других соединений. Однако если различные хладагенты смешать случайно или намеренно, то такая смесь может быть труднорастворимой и ее можно будет разделить только при сжатии. К тому же эксплуатационные свойства смеси R502 и хладагентов SUVA® HP отличаются от тех, которые характерны для каждого отдельно взятого хладагента. Поэтому не рекомендуется смешивать R502 и хладагенты SUVA® HP в любых системах. Сначала нужно в соответствии с установленной технологией удалить R502, а затем заправить систему новым хладагентом.

Растворимость хладагентов высокого давления с холодильными маслами. В большинстве компрессоров надлежащая работа движущихся частей обеспечивается с помощью смазки. В рекомендациях завода—изготовителя компрессора обычно содержатся тип масла и его вязкость. Рекомендации основаны на совокупности таких необходимых свойств масла, как растворимость в смеси с хладагентом, совместимость с материалами конструкций, термоустойчивость и устойчивость по отношению к другим видам масел.

Важно иметь в виду следующие рекомендации фирм — производителей холодильных масел. Такие хладагенты, как R402A и R402B, содержат в себе немного хлора и могут в меньшей степени растворять обычные масла, используемые в сочетании с R502.

Хотя растворимость и минерального, и алкилбензольного масел в хладагентах R402A и 402B понижена, рекомендуется все же использовать алкилбензольные масла, когда действующее оборудование переведено с R502 на R402A или R402B. При низких температурах вязкость алкилбензольного масла, насыщенного R402A или R402B, значительно ниже, чем минерального в смеси с R402A или R402B, что будет способствовать возврату масла в компрессор.

В новом оборудовании, рассчитанном на применение хладагента R402A, требуется использование полиэфирного масла.

В табл. 19 представлены суммарные данные тестов на растворимость хладагентов с холодильными маслами, проведенных в широком диапазоне температур при соотношении объемов жидкого хладагента и масла 50:50.

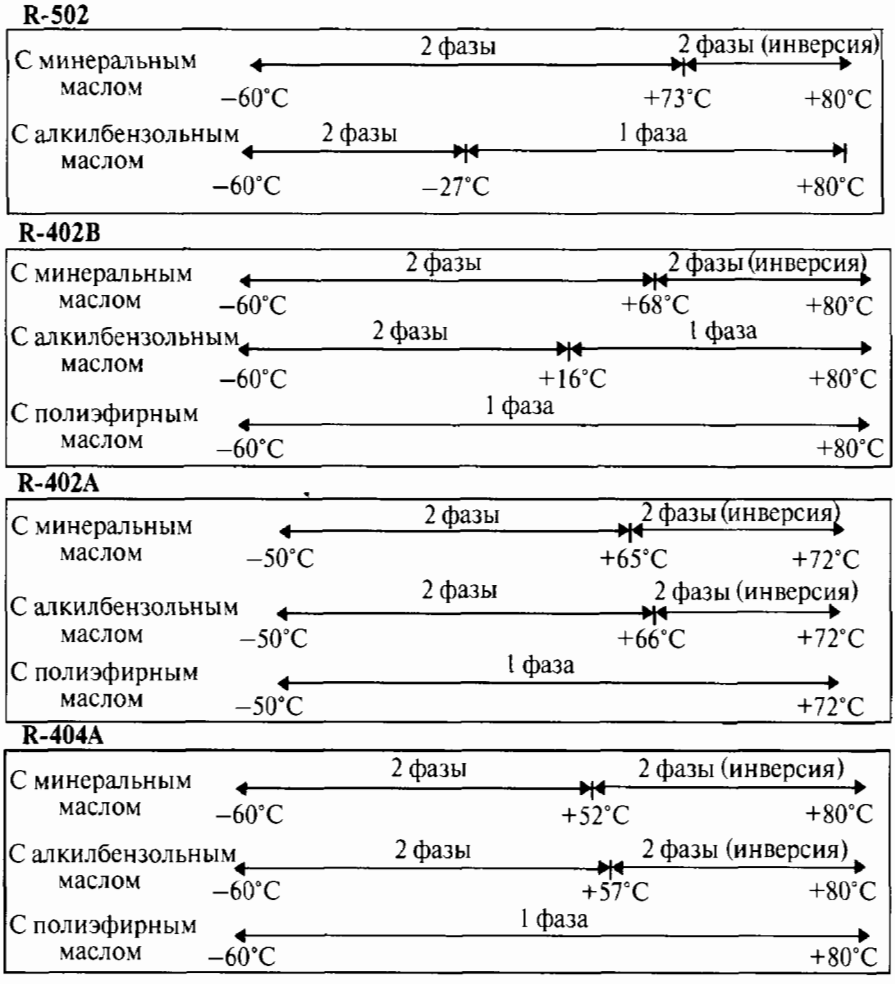
Горючесть хладагентов высокого давления. Все рассмотренные выше хладагенты высокого давления определены как невоспламеняющиеся при атмосферном давлении и температуре выше 80 °С. Однако тесты показывают, что хладагент R22 может стать горючим при давлении $5{,}15 \cdot 10^5$ Па и окружающей температуре, когда он находится в смеси с воздухом при объемной доле хладагента 65 % или более. Поэтому нельзя допускать, чтобы хладагенты R402B и R402A при определении утечек смешивались с воздухом, особенно в высоких концентрациях при давлении выше атмосферного.

Хладагент R408A. Торговая марка FORANE FX10. Разработан концерном «Elf. Atochem» в качестве альтернативы R502 при ретрофите в действующих холодильных системах. Близкоазеотропная смесь, состоит из компонентов R22, R143a и R125. Состав по массе (%) соответственно 44; 4 и 52. Предназначен для применения в мобильных транспортных холодильных системах, а также в промышленных холодильных установках с поршневыми и винтовыми компрессорами. Характеристики R408A на линии насыщения приведены в приложении 14.

У R408A и R502 при одной и той же температуре давления близки, температура конденсации выше на 10 К. Холодопроизводительность цикла примерно на 1...10 % выше, чем при работе на R502.

Плотность жидкости R408A ниже, чем у хладагента R502 (табл. 20), а, следовательно, требуемая масса заправки, т. е. имеющиеся в установке ресиверы, трубопроводы и насосы, предназначенные для R502, можно использовать для R408A.

19. Растворимость хладагентов с холодильными маслами



Кроме того, уменьшение массы заправки важно учитывать в малых установках, чтобы не допустить перезаправки во избежание превышения давления и потребляемой мощности. В малых установках снижение заправки может достигать 25 %, а в больших – 15 %.

20. Основные физические свойства R408A в сравнении с R502

Физические свойства	R502	R408A
Молекулярная масса, г/моль	111,6	87
Температура замерзания, °C	−160	–
Температура кипения при атмосферном давлении, °C	−45,4	−44,4
Температурный глайд при атмосферном давлении, K	0	0,6

Продолжение

Физические свойства	R502	R408A
Плотность насыщенной жидкости при 25 °С, кг/дм^3	1,217	1,062
Плотность насыщенного пара при температуре кипения, кг/м^3	6,22	4,77
Давление пара, МПа:		
при 25 °С	1,16	1,16
при 50 °С	2,10	2,15
Критическая температура, °С	82,1	23,5
Критическое давление, МПа	4,07	4,34
Критическая плотность, кг/дм^3	0,566	0,403
Удельная теплота парообразования при температуре кипения, кДж/кг	172,5	227
Теплопроводность при 25 °С, Вт/(м · К):		
жидкости	0,065	0,077
пара при 0,1013 МПа	0,012	0,012
Поверхностное натяжение при 25 °С, мН · м$^{-1}$	5,9	6,5
Растворимость (при 0,1013 МПа) воды в хладагенте при 25 °С, мас. %	0,058	0,070
Удельная теплоемкость при 25 °С, кДж/(кг · К):		
жидкости	1,25	1,53
пара	0,70	0,80
Отношение теплоемкостей при постоянном давлении и постоянном объеме c_p/c_v при 25 °С	1,129	1,146
Воспламеняемость паров в воздухе	Нет	Нет
Температура вспышки	Нет	Нет
Потенциал разрушения озона ODP	0,34	0,026
Потенциал глобального потепления HGWP	4,01	0,025

Как видно из табл. 20, R408A более гигроскопичен, чем R502, что связано с необходимостью тщательного соблюдения правил перекачки этого хладагента, заправки систем и т. п. Теплоемкость жидкости при постоянном давлении больше у R408A, что приводит к значительным потерям при дросселировании. Этого можно избежать, увеличив переохлаждение жидкости в конденсаторе. Теплопроводность насыщенной жидкости также больше у R408A. Это повышает эффективность теплообмена, а следовательно, улучшает термодинамические характеристики установки, что и подтвердили испытания.

Потребляемая мощность при отрицательных температурах ниже на 7 %, что важно при ретрофите, так как уменьшает опасность замыкания или сгорания электродвигателя. Поэтому для применения R408A даже в малых герметичных компрессорах нет ограничений.

Из-за высокой полярности молекул одного из компонентов (R143a) хладагент R408A взаимно растворим и с алкилбензольными, и с минеральными маслами. В компактных холодильных сис-

темах при стандартных условиях этого достаточно, чтобы обеспечить возврат масла в компрессор. Хладагент R408A можно использовать также в сочетании с полиэфирными маслами.

По отношению к уплотнительным материалам R408A менее агрессивен, чем R502.

В качестве фильтров-осушителей используют молекулярные сита, применяемые для R502 и R22.

7. Альтернативные многокомпонентные хладагенты группы ГФУ

Хладагент R404A. Это близкозеотропная смесь R125/R143a/R134a с соотношением массовых долей компонентов 44/52/4. Температурный глайд менее 0,5 К. Основные физические свойства R404A приведены в табл. 17, а характеристики на линии насыщения – в приложении 13.

В зависимости от условий эксплуатации обеспечиваются повышение холодопроизводительности на 4...5 % и снижение температуры нагнетания в компрессоре до 8 % по сравнению с аналогичными характеристиками R502.

После поступления в продажу с конца 1993 г. R404A первоначально использовали в новом оборудовании, рассчитанном на низкие и средние температуры кипения. В настоящее время R404A применяют в качестве заменителя R502 при ретрофите систем. При этом необходима замена минерального масла на полиэфирное и фильтра-осушителя.

Изменение состава смеси (R404A), циркулирующей в холодильной системе, может привести к ухудшению ее энергетических характеристик, особенно в схемах с ресивером или при значительной длине коммуникационных линий.

Компонентом R404A служит R143a, который в чистом виде становится горючим при давлении $1 \cdot 10^5$ Па и температуре 177 °С, а в смеси с воздухом – при объемной доле 60 %. При низких температурах для возникновения горючести требуются высокие давления. Поэтому R404A также не следует смешивать с воздухом или пользоваться и допускать присутствия высоких концентраций воздуха с давлением выше атмосферного или при высоких температурах.

Хладагент R407C. Торговая марка SUVA® 9000. В качестве альтернативы хладагенту R22 фирма «Du Pont» для использования в системах кондиционирования воздуха разработала хладагент

R407C, у которого значения давлений кипения и конденсации близки соответствующим значениям для R22. Основные характеристики R407C приведены в приложении 18, а характеристики на линии насыщения – в приложении 15.

Хладагент R407C – зеатропная смесь R32/R125/R134a (массовые доли компонентов соответственно 23/25/52 %). Вначале был создан хладагент следующего состава: 30/10/60 %. Позднее с целью уменьшения пожароопасности массовые доли компонентов были изменены: 23/25/52 % (R407C); 20/40/40 % (R407A); 10/70/20 % (R407B); 10/45/45 % (FX40).

Основное преимущество заключается в том, что при переходе с R22 на R407C не требуется значительного изменения холодильной системы. В настоящее время R407C рассматривают как оптимальную альтернативу R22 по холодопроизводительности и давлению насыщенных паров.

На рынке хладагентов R407C широко представлен и покупают его в тех случаях, когда необходимо либо заменить R22 в действующем оборудовании (при незначительных изменениях), либо подобрать хладагент вместо R22 для нового оборудования.

Вместе с тем большинство компаний озабочены большим температурным глайдом Δt_{gl} = 5...7 K, характерным для R407C, поэтому массовые доли компонентов предлагаемых смесей варьируют в широких пределах. Данный недостаток значительно затрудняет обслуживание холодильных систем. Так, в системах с несколькими испарителями возможно нарушение исходной концентрации рабочего вещества, заправленного в систему. Аналогичные трудности возникают и в холодильных системах с затопленным испарителем.

При использовании R407C не требуется вносить существенные изменения в конструкцию холодильной установки – приходится лишь заменить холодильное масло на полиэфирное, а также эластомеры, адсорбенты фильтров-осушителей и предохранительные клапаны. Совместимые с R407C полиэфирные масла чрезвычайно гигроскопичны. Это предъявляет жесткие требования к технологии сборки холодильной машины. Кроме того, для R407C характерны очень низкие (на 25...30 % ниже, чем для R22) значения коэффициента теплопередачи, поэтому теплообменные аппараты холодильных систем, работающих на R407C, оказываются более металлоемкими.

Утечки из холодильной системы будут приводить к изменению состава хладагента и его растворимости в холодильном масле, что отразится на энергетической эффективности и условиях теплообмена в испарителе и конденсаторе. Изменение состава хладагента в процессе эксплуатации затруднит регулирование и усложнит процедуру дозаправки. Отсутствие контроля за концентрацией масла в испарителе может отразиться на эффективности протекающих в нем процессов теплообмена. Так, присутствие в рабочем

веществе 0,2 % полиэфирного масла снижает коэффициент теплопередачи R407C на 2 %. При содержании 2 % масла в хладагенте коэффициент теплопередачи уменьшается на 14 %.

Характеристики R407C в сравнении с R22 представлены в табл. 21.

21. Основные физические свойства и эксплуатационные характеристики R407C в сравнении с R22

Показатель	R407C	R22
Средняя температура кипения при атмосферном давлении, °С	−43,56	−40,80
Давление насыщенной жидкости при 25 °С	1174	1043
Плотность жидкости при 25 °С, кг/м^3	41,98	44,21
Потенциал разрушения озона ODP	0	0,05
Относительная холодопроизводительность $Q_{0\,R407C}/Q_{0\,R22}$	1,00	1,00
Потенциал глобального потепления GWP	1600	1700
Холодильный коэффициент	6,27	6,43

Примечания: 1. Температура кипения 7,2 °С, температура конденсации 43,3 °С, температура перегрева на всасывании в компрессор 15,5 °С, температура переохлаждения перед регулирующим вентилем 40,6 °С. 2. $Q_{0\,R407C}$, $Q_{0\,R22}$ – холодопроизводительность при работе соответственно на R407C и R22.

Как видно из табл. 21, по сравнению с R22 хладагент R407C оказывает значительно менее вредное воздействие на окружающую среду (значение потенциала глобального потепления GWP у R407 почти такое же, как и у R22, потенциал разрушения озона ODP равен нулю).

При более низкой температуре нагнетания и немного более высоком давлении нагнетания энергетическая эффективность R407C близка к энергетической эффективности R22.

В табл. 22 приведены действительные сравнительные характеристики различного оборудования, изготовленного для работы на R22, при эксплуатации на R407C как в режиме холодильной машины, так и в режиме теплового насоса (оборудование не претерпело никаких изменений при переводе на R407C).

22. Сравнительные показатели термодинамической эффективности работы кондиционеров воздуха «Мульти-сплит» на R407C и R22 («Du Pont»)

Параметр	R407C
*Работа в режиме охлаждения**	
Относительная холодопроизводительность, %	98...106
Относительный электрический холодильный коэффициент, %	93...97
Изменение температуры нагнетания, °С	−8,3...4,4
Изменение давления нагнетания, кПа	103...276

Продолжение

Параметр	R407C
*Работа в режиме нагрева***	
Относительная производительность, %	93...106
Относительный электрический холодильный коэффициент, %	94...97
Изменение температуры нагнетания, °С	−1...0
Изменение давления нагнетания, кПа	62...234

* Условия испытаний (А и В) при работе в режиме охлаждения установлены Министерством энергетики США.

** Условия испытаний (Е и Н) при работе в режиме нагрева — тем же ведомством.

Примечание. За 100 % приняты показатели при работе на R22.

Из табл. 22 следует, что холодопроизводительность этой зеотропной смеси примерно на 2...5 % меньше, чем у R22.

Важно, что R407C не предназначен для работы в смеси с другими хладагентами. Добавление R407C к любому другому хладагенту может вызвать существенные изменения в показателях эффективности работы холодильной системы. Диапазоны применения хладагента R407C представлены на рис. 10.

Перед проведением операций по замене смеси традиционный хладагент + минеральное масло на смесь R407C + полиэфирное масло обращают внимание на химическую совместимость последней с пластиками и эластомерами. Как показали исследования, не существует ни одной группы эластомеров или пластиков, которая бы подходила ко всем альтернативным хладагентам. Рекомендуется перед заменой хладагента и внесением конструктивных изменений в холодильную систему по отношению к таким ее элементам, как прокладки, уплотнения и поршневые кольца, проконсультироваться с производителем оборудования.

Холодильное масло подбирают с учетом трех факторов: возврата масла в компрессор; смазывающей способности и совместимос-

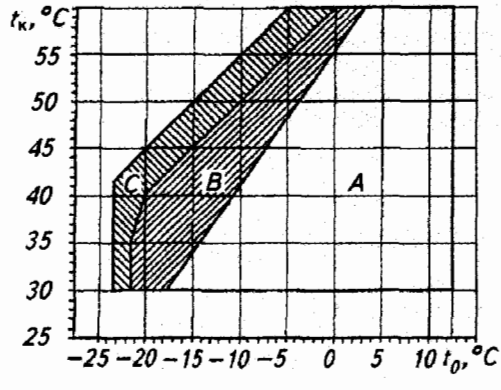


Рис. 10. Диапазоны применения R407C:

A — температура всасывания 25 °С; *B* — перегрев всасываемого пара 20 К; *C* — перегрев всасываемого пара 11 К; $t_К$, t_0 — температуры соответственно конденсации и кипения

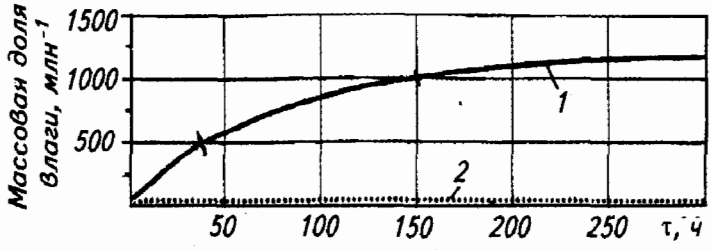


Рис. 11. Поглощение влаги полиэфирным маслом (*1*) по сравнению с минеральным (*2*) в частях на миллион по массе при температуре 25 °С и относительной влажности 50 % (по данным фирмы «Copeland»)

ти с материалами элементов холодильной установки. Для использования в сочетании с R407C рекомендуются полиэфирные масла. Производителей полиэфирных масел много, поэтому перед выбором масла необходимо проконсультироваться с представителем фирмы—изготовителя компрессора, а также другого оборудования, входящего в холодильную систему. Так, фирма «Copeland» рекомендует масла «Mobil EAL Arctic 22 CC» и «ICI Emkarate RL 32 CF».

Недостаток полиэфирных холодильных масел – бóльшая гигроскопичность по сравнению с минеральными (рис. 11). Для поглощения влаги маслом достаточен лишь кратковременный контакт его с окружающей средой, что делает масло непригодным для использования в холодильной системе. Поскольку полиэфирное масло более предрасположено к удерживанию влаги, чем минеральное, ее гораздо труднее удалить, применяя вакуум. Поэтому рекомендуется заправлять систему полиэфирным маслом, массовая доля влаги в котором не более 50 млн$^{-1}$. При помощи фильтра-осушителя соответствующего размера можно поддержать массовую долю влаги в системе на уровне менее 50 млн$^{-1}$. Если содержание влаги в масле, заправленном в холодильную систему, достигает недопустимо высокого уровня, то это может привести к появлению коррозии и осаждению меди на сопряженных деталях.

Хорошее вакуумирование снижает остаточные следы влаги до 10 млн$^{-1}$. Систему вакуумируют до давления $0{,}3 \cdot 10^2$ Па или ниже. Если неизвестно, какое количество влаги присутствует в системе, следует взять пробу масла и проверить его на наличие влаги.

Обычно смотровое стекло (индикатор влаги), которое есть в действующей установке, можно использовать с новыми хладагентами и маслами. Однако индикатор влаги может давать неправильные показания. Действительный уровень влаги в масле будет выше, чем видно в смотровом стекле. Это происходит в результате высокой гигроскопичности полиэфирного масла.

Так как полиэфирные смазочные масла обладают гигроскопичностью и абсорбируют воду, особое внимание следует уделять их транспортированию и хранению. Контакт этих масел с воздухом должен быть сведен к минимуму, хранить их следует в герметичных металлических емкостях. При замене во время ретрофита смеси R22 + минеральное масло на смесь R407C + полиэфирное масло для достижения эквивалентной растворимости хладагента и масла остаточное количество минерального масла в системе не должно превышать 5 % общего количества масла в системе. Допустимое остаточное количество минерального масла в холодильной системе зависит от ее конфигурации и от рабочих условий. Если в холодильном контуре появляются признаки падения интенсивности теплообмена в испарителе или наблюдается ухудшение возврата масла в компрессор, то, возможно, требуется дальнейшее снижение количества остаточного минерального масла. После проведения ряда смен масла с использованием полиэфирного масла остаточная концентрация минерального масла обычно снижается до минимального уровня. В настоящее время производителями масла разработана методика определения в «полевых» условиях содержания минерального масла в полиэфирном.

Как уже было сказано, снижение эффективности работы холодильной системы может происходить из-за утечек хладагента.

Если в работающей холодильной системе происходит утечка и жидкости, и пара R407C из той части, где находится парожидкостная смесь (теплообменники или ТРВ), состав оставшейся части хладагента практически остается таким же, каким он был первоначально. После дозаправки до первоначального количества хладагента в системе ее производительность восстанавливается. Однако если происходит утечка пара из парожидкостной зоны неработающей системы, состав оставшейся части хладагента изменяется. В оставшейся части повышается концентрация высококипящего компонента (R134a), концентрация низкокипящих компонентов (R32 и R125) понижается. Следствием изменения концентраций компонентов, составляющих хладагент, является изменение состава смеси R407C и зависящих от него параметров работы холодильной системы (табл. 23). Данные, приведенные в табл. 23, относятся к работе холодильной компрессионной машины, где хладагентом служил R407C, по теоретическому циклу, причем после 50%-ной (по массе) утечки из паровой фазы были проведены многократные дозаправки.

На основании исследования процессов утечки и дозаправки R407C, проведенного фирмой «Du Pont», сделаны три важнейших вывода:

при утечке из паровой фазы уменьшается концентрация R32 (воспламеняемого компонента смеси), поэтому смесь остается негорючей;

в процессах утечки и дозаправки энергетическая эффективность системы остается неизменной, а температура и давление нагнетания уменьшаются;

23. Теоретическая производительность холодильной машины после 50%-ной утечки из паровой фазы и дозаправки (по даиным фирмы «Du Pont»)

Номер дозаправки	Относительный холодильный коэффициент*,%	Относительная холодопроизводительность**, %	Температура нагнетания, °С	Давление нагнетания, кПа
0	100	100	81,1	1903
1	101	95	80,6	1800
2	101	93	80,6	1751
3	101	92	80,6	1731
4	101	91	80,6	1724
5	101	91	80,6	1724

* Относительный холодильный коэффициент при первоначальной заправке R407C принят за 100 %.
** Относительная холодопроизводительность при первоначальной заправке принята за 100 %.

после четырех циклов 50%-ной утечки и дозаправки производительность снижается на 9 %.

Данные, приведенные в табл. 23, относятся к теоретическому исследованию работы холодильной системы в наихудших условиях. На практике же происходящие с хладагентом изменения, как правило, менее значительны. Есть экспериментальные данные о том, что для теплового насоса после второй дозаправки производительность стабилизировалась на значении, на 4 % меньшем, чем при первоначальной заправке.

Хладагент R507. Торговая марка «Genetron AZ50» («Allied Signal»). Состав смеси: R125 и R143a соответственно по массе 50 и 50 %. Температура кипения –46,7 °С (приложение 16). Молекулярная масса 98,86 г/моль. Потенциал разрушения озона ODP = 0, потенциал глобального потенциала GWP = 3900. Хладагент разработан для ретрофита низкотемпературных холодильных систем, работающих на R502, и для заправки нового оборудования в сочетании с применением полиэфирных масел. Характеристики хладагента R507 приведены ниже:

Молекулярная масса, г/моль	98,86
Температура пара при давлении 0,1013 МПа, °С	–47,1
Давление пара при 25 °С, МПа	1,29
Плотность жидкости при 25 °С, кг/дм^3	1,04
Критическая температура, °С	71
Критическое давление, МПа	3,72
Удельная теплота парообразования при давлении 0,1013 МПа, кДж/кг	196
Потенциал разрушения озонового слоя ODP	0
Потенциал глобального потепления HGWP	1

По характеристикам азеотропный хладагент R507 близок к R502. При использовании R507 холодильный коэффициент цикла меньше на 8...11 %, а холодопроизводительность — на 1...3 %, чем в холодильных системах, работающих на R502. Однако более низкие

(на 6...9 °С) значения температуры нагнетания позволяют применять этот хладагент в тех низкотемпературных системах, где использование R502 встречает ограничения. Близкие к R502 значения плотности альтернативного хладагента R507 на входе в компрессор и степени сжатия указывают на необходимость самых минимальных изменений в конструкции действующих компрессоров.

Хладагент R410A. Торговая марка SUVA® 9100. Представляет собой двойную азеотропную смесь гидрофторуглеродов R32 и R125 при равных массовых долях компонентов (50 и 50 %). Потенциал разрушения озона ODP = 0. Потенциал глобального потепления HGWP = 0,45. Он служит хладагентом, альтернативным R22, и предназначен для заправки новых систем кондиционирования воздуха высокого давления. Удельная холодопроизводительность R410A примерно на 50 % больше, чем у R22 (при температуре конденсации 54 °С), а рабочее давление в цикле на 35...45 % выше, чем у R22, что приводит к необходимости внесения конструктивных изменений в компрессор и теплообменники, а следовательно, к возрастанию капитальных затрат. Характеристики хладагента R410A на линии насыщения и его физические свойства приведены в приложениях 17, 18.

Поскольку плотность R410A выше, чем R22, компрессоры, коммуникационные линии и теплобменники должны иметь меньшие размеры.

В холодильных системах, работающих на R410A, рекомендуется использовать полиэфирные масла.

Хладагент R508B. Торговая марка SUVA® 95. Представляет собой азеотропную смесь R23 и R116 при соотношении массовых долей компонентов 46 и 54 %. Температура кипения –88,3 °С. Потенциал разрушения озона ODP = 0. Предназначен для замены R503, R13 и R23 в низкотемпературном оборудовании. В качестве холодильного масла рекомендуется полиэфирное. Физические свойства R508B приведены в приложении 18.

8. Совместимость хладагентов с пластмассами, эластомерами и металлами

Совместимость с пластмассами. Данные о совместимости хладагентов SUVA® R11, R12, R22 и R502 с пластмассами приведены в табл. 24, однако для каждого конкретного случая применения необходимо проводить испытания на совместимость, поскольку пластмассы одного и того же типа могут иметь разную молекулярную массу, структуру полимеров, разные пластификаторы, а температура и другие факторы способны снизить стойкость пластмассы к воздействию хладагентов.

24. Совместимость хладагентов SUVA®, а также R11, R12, R22 и R502 с пластмассами и эластомерами

Пластмассы и эластомеры (торговая марка)	R11	R123	R12	R134a	R401A, R401B, R401C	R22	R407C	R410A	R502	R402A, R402B	R404A	R124
ПЭНД (ALATHON®)	1	1	1	0	1	1	0	0	1	—	0	0
Полипропилен	2	1	1	0	1	1	1	1	1	1	0	1
Полистирол (Sryrol)	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1
Хлорированный ПВХ	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0
ПТФЭ (Teflon®)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
ЭТФЭ (Tefzel®)	1	—	1	1	2	1	1	1	1	1	1	2
ПВДФ	0	—	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0
Иономерная смола (Surlyn®)	2	—	1	0	1	1	0	0	1	1	0	1
Актиловая смола (Lucite®)	0	2	0	2	2	2	2	2	2	2	2	2
ABS (Kralfstic®)	0	2	0	0	2	2	—	2	2	2	0	2
Целлюлозный материал (Ethocel®)	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Эпоксидные смолы	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Полиацетамин (Delrin®)	0	1	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0
Поликарбонат (Tuffak®)	0	2	0	0	2	2	—	1	2	2	0	0
Полибутилентерефталат (Crastin®)	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	—
Полиарилат (Arylon®)	0	—	0	0	2	2	1	1	2	2	0	—
Полиамид (Zytel®)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Полиамид (Vespel®)	—	—	0	—	0	—	0	0	0	0	0	0
PEB (Ultem®)	0	—	0	0	1	1	—	—	1	—	0	0
Полисульфид	0	—	0	0	2	2	1	1	1	2	0	0

Обозначения: 0 — хорошая совместимость; 1 — совместимость на грани допустимого; 2 — несовместимость.

Совместимость с эластомерами. Как показали лабораторные исследования, проведенные фирмой «Du Pont» (см. табл. 24), у эластомеров, которые успешно работали в сочетании с R12, как правило, хорошая совместимость и с сервисными смесями среднего давления (R401A, R401B и R401C) — см. табл. 14.

Однако степень воздействия хладагентов на эластомеры может изменяться в достаточно широком диапазоне в зависимости от того, какие пластификаторы, наполнители и другие ингредиенты были использованы в рецептуре резиновой смеси, поэтому для каждого конкретного случая необходимо проводить испытания. Особенно внимательно нужно проверять совместимость с хладагентами материалов кольцевых уплотнений круглого сечения. Проверку обычно проводят в лабораторных условиях, погружая образцы эластомера в жидкий хладагент при комнатной температуре и выдерживая его там до достижения максимального набухания. Изделия с высокой степенью набухания не рекомендуются для использования в холодильных системах, заправленных хладагентами SUVA®.

Совместимость с металлами. Большинство из применяемых конструкционных металлов, таких, как сталь, чугун, бронза, медь, олово, свинец и алюминий, хорошо работают с хладагентами SUVA® при нормальных условиях эксплуатации, как показали исследования, проведенные фирмой «Du Pont».

При очень высоких температурах (например, при лужении) некоторые металлы могут действовать как катализаторы, ускоряющие разложение фторсоединений. Сплавы магния и алюминия, содержащие более 2 % магния, не следует использовать в системах, заправленных хладагентами SUVA®, особенно если возможно появление влаги.

Большинство хладагентов групп ГХФУ и ГФУ могут бурно реагировать с высокоактивными металлами, например со щелочными и щелочно-земельными (натрий, калий, барий и др.), находящимися в свободном состоянии. Металлы становятся еще более активными в мелкозернистом или порошкообразном виде. Алюминий и магний при этом могут реагировать со фторсодержащими соединениями, особенно при повышенной температуре. Такие высокоактивные материалы нельзя приводить в соприкосновение с хладагентами групп ГХФУ или ГФУ, пока их реакция не будет тщательно изучена и не будут приняты соответствующие меры предосторожности.

9. Альтернативные хладагенты для холодильного транспорта

Основные сведения. Рефрижераторный транспорт обеспечивает перевозку грузов от места их производства до места розничной продажи. Развитие надежных видов рефрижераторного транспор-

та привело к расширению сферы его применения. В мире сегодня осуществляется перевозка широкого ассортимента пищевых и непищевых продуктов. Так, по оценке специалистов, только контейнерных рефрижераторов находится в эксплуатации около 400 тыс. Появление специализированных автомобилей-рефрижераторов значительно упростило как межконтинентальную, так и международную транспортировку грузов.

Грузовые суда, имеющие рефрижераторные трюмы, составляют значительную часть рефрижераторного флота, предназначенного для перевозки грузов на дальние расстояния. Аммиак был первым хладагентом, который использовали для этой цели. Однако к 80-м годам он оказался в большей степени заменен R22 в основном из-за того, что работа с аммиаком повышает риск возникновения аварийных ситуаций.

В 70-х годах все новые крупнотоннажные рефрижераторные суда были оборудованы холодильными системами, использовавшими в качестве хладагента R22. В рефрижераторных контейнерах к этому времени уже широко применяли R12. В системах наземных трейлерных перевозок в более поздние годы широкое распространение получил также R502. Поэтапное сокращение производства ХФУ в соответствии с Монреальским протоколом оказало серьезное влияние на промышленность, выпускающую рефрижераторные контейнеры, трейлерные авторефрижераторы и рефрижераторные суда. В настоящее время в качестве хладагента в рефрижераторных контейнерах широко используют R134a.

В последнее время появились сообщения о создании двух новых хладагентов (R413A и R407D), основанных на ГФУ, у которых нет недостатков, характерных для R134a в сравнении с R12. Новый хладагент R407D совместим с полиэфирными холодильными маслами и имеет значительно более высокое давление конденсации, чем R12 или R401B.

Хладагенты, альтернативные R502 и R22. Когда запрет на ХФУ официально вступил в силу, разработка веществ, альтернативных R502, пошла по двум направлениям:

возврат к R22. Это разработка новых типов компрессоров (включая двухступенчатые). Системы с этими компрессорами дороже и характеризуются меньшей энергетической эффективностью, чем одноступенчатые системы;

разработка хладагентов-имитаторов R502. Первые такие имитаторы представляли собой смеси хладагентов на основе R22. В связи с тем что для ГХФУ также были установлены сроки поэтапного прекращения производства, эти вещества хотя и были широко распространены в качестве сервисных хладагентов, но в новом оборудовании их больше не используют.

Разработка хладагента R404A, представляющего собой смесь нескольких ГФУ, эксплуатационные характеристики которой

сходны с характеристиками R502 (табл. 25), дала возможность заменить как R22, так и R502 в низкотемпературном холодильном оборудовании.

25. Некоторые сравнительные параметры хладагентов

Параметр	R22	R502	R404A	R410A
Давление при температуре 55 °С, МПа	2,09	2,26	2,49	3,33
Степень сжатия	18,5	16,2	17,2	17,4
Температура нагнетания*, °С	167	113	103	151

* В цикле с температурами кипения $t_0 = -40$ °С и конденсации $t_к = 50$ °С.

Некоторым производителям рефрижераторных контейнеров удалось к настоящему времени приспособить R404A в качестве стандартного хладагента для работы в области низких температур. Еще один хладагент R507, сходный с R404A по характеристикам, также может быть использован в подобных условиях. Однако R507 имеет более высокое давление, которое несколько выше, чем стандартное (2,5 МПа при температуре 55 °С). Тройные смеси, основанные на R32 и составляющие серию хладагентов R407, пока не приняты ведущими производителями транспортного рефрижераторного оборудования в качестве хладагентов для стандартной заправки.

Новый хладагент на основе ГФУ (R410A) первоначально был разработан для замены R22 в установках кондиционирования воздуха и был представлен на рынке в качестве хладагента для трейлерных авторефрижераторов. Поскольку R410A является хладагентом высокого давления, компоненты холодильных систем должны быть специально рассчитаны на работу при таких условиях.

Хладагенты, альтернативные R12. Большинство различных видов рефрижераторного транспорта работает на ХФУ. Те из них, что используют R12 для поддержания низких температур, сталкиваются с особенно серьезной проблемой, поскольку хладагент R134a, заменяющий R12, имеет существенно более низкие эксплуатационные показатели при низких температурах кипения.

На практике некоторые специалисты принимают компромиссное решение: заменяют R12 на R134a в холодильной установке, первоначально смонтированной в контейнере большего объема, а затем помещают эту холодильную установку в контейнер меньшего объема. Замена же R502 на R404A не связана с необходимостью проведения подобных мероприятий.

В обоих случаях для перевода холодильной установки с хладагента, относящегося к группе ХФУ, на хладагент на основе ГФУ требуется замена минерального масла на синтетическое. Перед

заменой тщательно промывают систему с целью удаления остатков масла, так как если они составляют более 5 %, то могут произойти серьезные механические повреждения холодильного оборудования.

В настоящее время для замены R12 в холодильных системах контейнеров используют R401B, который представляет особый интерес вследствие того, что холодопроизводительность его при низких температурах соответствует холодопроизводительности R12 (рис. 12).

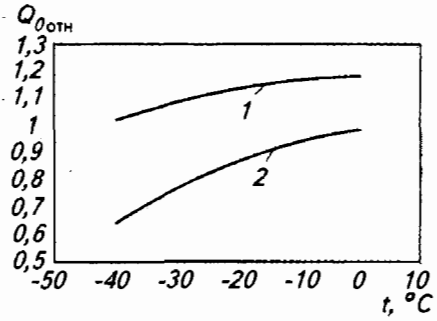


Рис. 12. Зависимость относительной холодопроизводительности $Q_{0отн}$ (по сравнению с R12) при работе на хладагентах R401B и R134a от температуры кипения:

1 — R401B; *2* — R134a

Для ретрофита холодильных систем авторефрижераторов, работающих на R12, применяют R401C, а R402A и R403B используют прежде всего для замены R502. Применение таких сервисных смесей экономически эффективно в рефрижераторных контейнерах, а также в авторефрижераторах старых типов до истечения срока их эксплуатационного ресурса.

R413A, предлагаемый на рынке как совместимый с минеральным маслом сервисный хладагент, предназначенный для замены R12, в своей основе состоит из R134a и в области низких температур имеет эксплуатационные характеристики, присущие этому хладагенту.

В случае принудительной подачи хладагента в испаритель (испаритель затопленного типа) перспективным хладагентом для работы в области низких температур считается R404A. Ожидается, что этот хладагент будет играть все большую роль при охлаждении грузов на судах.

Специфические требования, предъявляемые к рефрижераторному транспорту, включают не только технические аспекты эксплуатационных показателей, но также и не менее важные соображения организации материально-технического снабжения. Это позволяет предположить, что в обозримом будущем R134a, R404A и R407C, отвечающие жестким экологическим и техническим требованиям и доступные во всем мире, займут ведущее положение среди хладагентов для судов-рефрижераторов, контейнеров-рефрижераторов и транспортных средств с охлаждением грузов.

Поэтапное прекращение производства ГХФУ ускорило разработку судовых холодильных установок нового типа. Если для ох-

лаждения груза требуются средние или высокие температуры, используемые в настоящее время холодильные установки с большим объемом заправки заменяются компактными чиллерными установками. В подобных установках наблюдается возврат к использованию аммиака. Аммиачную холодильную установку можно разместить в изолированном помещении, оснащенном скрубберной системой для поглощения возможных утечек аммиака.

10. Сервис холодильных систем

10.1. Замена R12 на R134a

Основные сведения. При замене (ретрофите) R12 на R134a следует обращать внимание на возможность изменения холодопроизводительности. На рис. 13 показано изменение начальной холодопроизводительности установки (модель «L'Unite Hermetiquc»), работавшей на R12 и переведенной на R134a, в зависимости от температуры кипения. Как видно из рис. 13, с понижением температуры кипения холодопроизводительность уменьшается. Снижение холодопроизводительности можно предотвратить двумя путями:

увеличением объема цилиндров компрессора для компенсации падения холодопроизводительности;

повышением эффективности работы установки с целью восстановления начальной холодопроизводительности или максимального к ней приближения.

Однако может случиться так, что холодопроизводительность системы при работе на новом хладагенте будет выше холодопроизводительности на старом. В этом случае необходимо ограничивать ее величину, для чего существуют различные приемы.

К холодильным системам, заправляемым хладагентом R134a, предъявляют ряд требований.

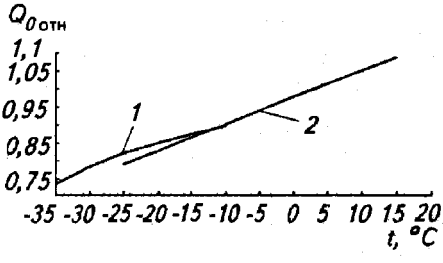


Рис. 13. Зависимость относительной холодопроизводительности $Q_{0отн}$ (по сравнению с R12) при работе на R134a от температуры кипения:

1 — низкое давление кипения; *2* — среднее и высокое давления кипения

1. В действующем компрессоре необходима замена минерального масла на синтетическое полиэфирное. Синтетические масла должны иметь соответствующую вязкость, которая достигается с помощью присадок, и быть стабильными в течение длительного периода времени.

Выбор холодильного масла зависит от нескольких факторов, в том числе от возможности возврата его в компрессор, смазывающей способности, а также от совместимости материалов. Полиэфирные масла выпускают, например, фирмы «Кастрол», «Мобил», «Лабризол», «Хегкель» и др. Рекомендации о том, какое масло следует применять в холодильном оборудовании, следует получать на заводе — изготовителе холодильного оборудования. При работе с полиэфирными маслами необходимо соблюдать особую осторожность в связи с их тенденцией к поглощению влаги, что создает определенную проблему при монтаже и сервисе холодильных установок. Кроме того, они агрессивны по отношению к медным деталям и растворяют медь, которая затем откладывается на других элементах конструкции вследствие образования химических соединений. Снижение степени гидрофильности масел позволит одновременно уменьшить агрессивность их по отношению к меди.

Необходимо сводить к минимуму соприкосновение масел с воздухом; хранить масла следует в герметичном контейнере. Полиэфирные масла не смешиваются с минеральными, поэтому при ретрофите оборудования (работающего на R12 и минеральном масле) с использованием R134a и полиэфирного масла в целях достижения эквивалентной смешиваемости остатки минерального масла должны составлять не более 5 % общего количества смазки, введенной в систему. Это требование делает необходимым включение в процедуру ретрофита многократной промывки системы, чего не приходится делать при использовании сервисных смесей среднего давления и алкилбензольного масла. Допустимое остаточное содержание минерального масла в значительной степени зависит от конструкции системы и условий эксплуатации. Если в холодильном оборудовании наблюдаются признаки низкой теплоотдачи в испарителе или недостаточного возврата масла в компрессор, то может возникнуть необходимость в дальнейшем уменьшении остаточного содержания минерального масла. Серия последовательных промывок с применением сложных эфиров может, как правило, снизить концентрацию минерального масла до низких уровней.

2. Необходимым требованием является герметичность конструкционных элементов холодильной машины из-за повышенной текучести R134a.

До настоящего времени не решен вопрос о том, как предотвратить утечку R134a через стенки гибких шлангов трубопроводов. Покрытие внутренних стенок шлангов пленкой на

основе нейлона и эластомера увеличивает их жесткость, что может ухудшить их способность поглощать шумы и вибрации.

Так как R134a более текуч, чем R12, то для установок, работающих на R134a, следует использовать регулирующую аппаратуру с паяными соединениями. Изготовление герметичных холодильных контуров позволяет избежать утечек и благотворно сказывается и на состоянии окружающей среды, и на затратах.

При пайке следует принять меры, чтобы исключить образование оксидов внутри трубопроводов. Для этого во время пайки их продувают азотом. Кроме того, концы труб и другие отверстия должны быть закрыты заглушками вплоть до момента начала монтажа.

3. В теплообменниках воздействие масла на конструкционные материалы, особенно медные, нуждается в экспериментальной проверке.

4. В регуляторы не требуется вносить серьезных изменений, однако определение параметров или настройку следует проводить с учетом возможного изменения расхода.

5. Прокладки из материала, используемого для R12, необходимо заменять. В настоящее время прокладки, пригодные для применения в сочетании с многими хладагентами, изготовляют из полиэтиленовой ткани (EFDM) или хлорсодержащего полиэтилена, который характеризуется высокой стойкостью в среде полимерных масел и альтернативных хладагентов. Достаточно стойким считают также материал на основе полихлорпренов.

6. Адсорбенты, применяемые в фильтрах-осушителях, должны соответствовать выбранному хладагенту. Так, фильтр-осушитель, работающий с R12, не может полностью обеспечить удаление влаги из R134a. У некоторых веществ, появившихся в настоящее время на рынке, способность к поглощению влаги примерно на 10 % ниже, чем у веществ, применяемых в фильтрах-осушителях для R12. В связи с этим их массу необходимо увеличить приблизительно на 20 % или использовать в системе фильтр-осушитель с адсорбентом — молекулярным ситом, рассчитанным на структуру молекулы R134a.

7. При техническом обслуживании контроль полноты заправки для систем с R134a более сложен, чем для системы R12, тем более что возможные утечки R134a нельзя обнаружить с помощью обычных средств, которые реагируют на хлор. Новые течеискатели должны реагировать на фтор, и для достижения уровня, начиная с которого обнаруживаются утечки, их чувствительность должна быть значительно выше чувствительности обычных детекторов.

8. Действующие установки можно заправить хладагентом R134a вместо R12 без демонтажа основных агрегатов (компрессора, конденсатора, испарителя), но с заменой терморегулирующего вентиля, давление в котором должно быть рассчитано на ис-

пользование R134a. Маркировка терморегулирующего вентиля должна однозначно указывать на то, что он предназначен для R134a.

9. В небольших герметичных холодильных установках, работающих на R134a, капиллярная трубка должна быть на 10...15 % длиннее, чем в случае применения R12. Кроме того, при использовании R134a необходимо правильно рассчитать размеры и некоторых других устройств: электроклапанов, обратных клапанов, регуляторов давления, с учетом новых значений расходов и потерь давления. Потери давления в электроклапане EVR6, предназначенном соответственно для R134a и R12, приведены на рис. 14. В то же время подавляющее большинство применяемых регулирующих приборов, например прессостаты, термостаты, а также смотровые стекла, можно использовать и в установках для работы на хладагенте R134a.

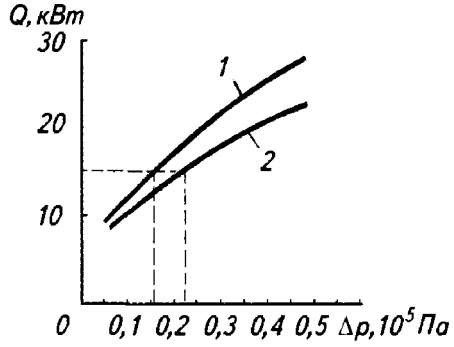


Рис. 14. Потери давления в клапане типа EVR6, установленном на трубопроводах для R134a (*1*) и R12 (*2*)

10. Перед использованием R134a шкалы манометров должны быть отградуированы под этот хладагент, если холодильная установка работала на другом хладагенте.

Заправочные емкости и принадлежности для слива должны быть новыми и чистыми. Нельзя пользоваться инструментом, у которого был даже незначительный контакт с R12 или минеральным маслом. Гибкие шланги для R134a должны иметь повышенную герметичность. При монтаже и демонтаже специальные разъемные соединения быстрого действия обеспечивают сохранение хладагента в шлангах. Весь инструмент, используемый при техническом обслуживании установок, работающих на R134a и полиэфирных маслах, снабжают соответствующей маркировкой. Эту оснастку и набор принадлежностей рекомендуется использовать только для работы с R134a.

Для поиска утечек в контуре, по которому циркулирует R134a, существует несколько способов. Многие разработчики поставляют электронные течеискатели, которые при выявлении утечки подают звуковой сигнал. В других течеискателях используют ультрафиолетовые лампы. В хладагент добавляют присадку, которая смешивается с полиэфирным маслом. В случае утечки вытекающее из контура масло с присадкой в ультрафиолетовых лучах становится видимым. Ультрафиолетовые лампы течеискателей старого образца для R134a не годятся.

Хотя R134a нетоксичен и безвреден для озонового слоя, целесообразны (по экологическим и экономическим соображениям) его регенерация и повторное использование. В настоящее время изготовляют передвижные агрегаты для извлечения R134a из контуров при их вакуумировании и восстановления хладагента с целью повторного использования. Агрегат содержит встроенный мощный вакуумный насос, обеспечивающий глубокий вакуум.

Перевод холодильной системы, работающей на R12, на хладагент R134a может быть проведен с использованием обычного сервисного оборудования и обычной практики сервисного обслуживания холодильного оборудования.

Для проведения ретрофита необходимо следующее оборудование: рабочие инструкции; средства техники безопасности (перчатки, очки и т. д.); измерительные приборы, размещенные на трубопроводах; термопары; вакуумный насос; течеискатели; весы; узел для сбора хладагента; мерный цилиндр для заправки холодильной системы; контейнер для сбора масла; масло — заменитель; хладагент — заменитель; новый фильтр-осушитель; ТРВ; этикетки с указанием применяемых масла и хладагента.

Далее приведены основные этапы ретрофита холодильных систем при переводе с хладагента R12 на R134a.

Определение рабочих параметров действующей холодильной системы. Определяют и записывают параметры холодильной системы, работающей на R12. В особенности это рекомендуется тем, кто только начинает заниматься ретрофитом оборудования. Данные о давлении и температуре (в испарителе, конденсаторе, дросселирующем устройстве, на всасывании и нагнетании компрессора и т. д.) при различных температурах окружающей среды и в охлаждаемом объеме могут оказаться полезными для оптимизации работы холодильной системы после перевода на хладагент R134a.

Замена в холодильной системе минерального или алкилбензольного масла на полиэфирное. В большинстве холодильных систем, работающих на R12, используется минеральное или алкилбензольное масло. Эти масла не смешиваются с R134a и должны быть заменены на полиэфирное. При замене минерального или алкилбензольного масла в системе оставляют хладагент R12. В системах с небольшими герметичными компрессорами, где нет отверстия для слива масла, для извлечения масла из компрессора может потребоваться его демонтаж. В подобных случаях масло можно слить с линии всасывания компрессора. В большинстве небольших систем таким образом удается удалить до 90...95 % масла. Если система включает маслоотделитель, то все находящееся в нем масло сливают.

После этого измеряют количество собранного масла (не менее 50 %) и сравнивают его со значением, приведенным в спецификации на оборудование, чтобы убедиться, что основная часть масла слита из компрессора. Записывают, сколько масла удалено из сис-

темы. Затем заправляют компрессор полиэфирным маслом в необходимом количестве, равном количеству масла, удаленному на предыдущем этапе. Если отсутствуют какие-либо дополнительные рекомендации завода-изготовителя, используют полиэфирное масло с той же вязкостью, что и у минерального или алкилбензольного масла (в холодильном оборудовании с R12, работающем в интервале умеренных температур, типичной вязкостью является $32 \cdot 10^{-6}$ м^2/с). Чтобы добиться смешиваемости, эквивалентной смешиваемости R12 с минеральным или алкилбензольным маслом, остаток минерального или алкилбензольного масла должен составлять не более 5 % общего количества масла, применяемого в оборудовании (1 % по рекомендации фирмы «Danfoss»). Такой остаточный уровень достигается путем многократной промывки полиэфирным маслом; при этом может потребоваться до трех промывок.

Промывка холодильной системы предусматривает:

слив масла из системы по технологии, описанной выше;

выбор полиэфирного масла, вязкость которого должна быть равна вязкости минерального или алкилбензольного масла, слитого из системы;

заправку системы полиэфирным маслом в количестве, равном удаленному минеральному или алкилбензольному маслу;

включение системы в работу с R12 для тщательного перемешивания полиэфирного и минерального масел. Система должна проработать более 24 ч.

Все перечисленные этапы повторяют еще два раза. При последней промывке заменяют R12 на R134a. На этом же этапе устанавливают на место компрессор, если он был снят с холодильного агрегата для слива масла.

Удаление хладагента R12 из холодильной системы и его утилизация. R12 удаляют из системы и собирают в баллон для сбора хладагента. Существуют различные варианты устройств, позволяющих провести эту процедуру и создать необходимый вакуум в системе (34...67 кПа). На этом этапе взвешивают удаленный хладагент (в особенности если неизвестно количество хладагента, которое рекомендуется заправить в систему). Начальную зарядку сервисной смеси определяют, исходя из количества R12, удаленного из системы. Остаточное содержание R12 в контуре не должно превышать 0,02 %.

Замена фильтра-осушителя и ТРВ. Замена фильтра-осушителя при ретрофите представляет собой обычную процедуру, которую проводят в процессе технического обслуживания холодильной системы. Выбирают фильтр-осушитель с адсорбентом, совместимым с хладагентом R134a (например, типа XH-9 или XH-7 фирмы UOP).

ТРВ должен иметь маркировку, отражающую возможность работы на R134a; давление должно быть рассчитано на использование R134a.

Вакуумирование холодильной системы и проверка ее на герметичность. Чтобы удалить воздух и другие неконденсирующиеся газы, систему вакуумируют до давления 0,14 кПа и убеждаются в отсутствии утечек в системе. Наилучшего результата можно добиться, используя двухступенчатый вакуумный насос, совместимый с хладагентом R134a. Запрещается применять насосы, которые раньше служили для вакуумирования контуров с хлорсодержащими хладагентами или поочередно использовались для работы с различными хладагентами.

Заправка холодильной системы хладагентом R134a. Систему заправляют хладагентом R134a в газообразном или жидком состоянии из баллона. Баллоны с R134a многократного пользования оборудованы погружными трубками. Это создает условия для извлечения жидкости из баллона, находящегося в вертикальном положении. Одноразовые баллоны (13,6 кг) не оснащены погружными трубками.

Масса R134a, требуемая для зарядки холодильной системы, меньше, чем у R12. Оптимальная загрузка зависит от условий эксплуатации, размеров испарителя, конденсатора и ресивера, а также от длины соединительных труб в системе. Для большинства типов оборудования оптимальное количество хладагента составляет 75...90 % первоначальной зарядки R12, которую осуществил производитель оборудования.

Заправку системы проводят в несколько этапов. На первом этапе рекомендуется ввести R134a в количестве около 75 % первоначальной зарядки R12. Вначале хладагент R134a вводят на линии нагнетания (при этом компрессор не работает); после выравнивания давления в системе и в баллоне заправляют систему остальной частью хладагента через линию всасывания компрессора (при этом компрессор работает). Жидкий хладагент никогда не должен поступать через линию всасывания компрессора из-за опасности гидравлического удара в компрессоре. При необходимости заправки хладагента через линию всасывания компрессора можно воспользоваться дросселирующим вентилем, чтобы до поступления в систему жидкость обязательно превращалась в пар.

Пуск холодильной системы, регулирование дозы заправки хладагента и (или) регулирующих устройств для обеспечения заданного режима работы. Проводят пуск системы. После стабилизации записывают значения рабочих параметров. Если значения рабочих параметров свидетельствуют о том, что оборудование недозаряжено, добавляют R134a небольшими порциями (3...5 % первоначальной зарядки), пока рабочие параметры не достигнут желаемых значений. Для сравнения давлений и температур на линии насыщения при работе на R134a и R12 можно воспользоваться табл. 26. В целом давление всасывания при работе на R134a будет на 7...12 кПа ниже, чем при работе на R12. При работе на R134a

(по сравнению с R12) будут наблюдаться более высокое давление и более низкая температура нагнетания. Типичный рост давления нагнетания составит 103...172 кПа, а типичное падение температуры нагнетания составит 0...5,6 °С.

26. Сравнительные показатели хладагентов R12 и R134a на линии насыщения

Давление, кПа	Температура		Давление, кПа	Температура	
	R12	R134a		R12	R134a
25	−59	−53	650	25	24
50	−45	−40	700	28	27
75	−37	−35	750	30	29
100	−30	−26	800	33	31
125	−24	−21	900	37	36
150	−20	−17	1000	42	39
175	−16	−13	1200	49	46
200	−12	−10	1400	56	52
225	−9	−7	1600	62	58
250	−6	−4	1800	68	66
275	−4	−2	2000	73	67
300	−1	1	2200	78	72
325	2	3	2400	82	76
350	4	5	2600	86	79
375	6	7	2800	90	83
400	8	9	3000	94	86
450	12	12	3200	98	89
500	16	16	3400	101	93
550	19	19	3600	104	95
600	22	22			

Контролировать количество заправленного хладагента можно также через уровнемеры (смотровые стекла), установленные на жидкостной линии, однако одновременно следует определять рабочие параметры системы (сила тока, потребляемого электродвигателем компрессора, степень перегрева и т. д.). Попытка заправить систему до уровня, при котором смотровое стекло окажется полностью залитым хладагентом, может привести к перегрузке системы.

Маркировка холодильной системы. После ретрофита маркируют систему, для того чтобы в последующем для сервиса использовались те же самые хладагенты и масла. Это необходимо сделать во избежание в дальнейшем смешивания различных хладагентов. Такие смеси могут иметь непредсказуемые термодинамические характеристики, что приведет к уменьшению холодопроизводительности и падению эффективности работы системы.

10.2. Замена R502 на R404A или R507

Хладагент R404A широко признан в качестве альтернативы R502 в новом оборудовании. Он может быть использован также для заправки некоторых систем, работающих на R502, таких, как торговое холодильное оборудование больших универсальных магазинов, холодильные установки предприятий пищевой промышленности, транспортные холодильные установки. По своим характеристикам R404A, как было сказано ранее в главе 7, наиболее соответствует хладагенту R502 из всех ХФУ, и его можно применять во всем рабочем диапазоне температур и давлений, характерных для R502. Температуры нагнетания компрессора, работающего на R404A, ниже, чем при использовании R502, что способствует повышению надежности и срока службы компрессора.

Хладагент R507 также служит альтернативой хладагенту R502 в новом оборудовании, и его можно использовать для ретрофита систем, работающих на R502. Характеристики R507 также близки к характеристикам R502, рабочие диапазоны их совпадают. Температуры нагнетания компрессора, где хладагентом служит R507, ниже, чем в компрессорах с R502.

Состав паров R404A и R507, находящихся в баллоне, незначительно отличается от состава жидкого хладагента. Эти небольшие отличия могут влиять на эффективность работы систем с затопленными испарителями.

Как показывает практический опыт, в некоторых системах, где R502 заменен на R404A или R507, уровень утечек может стать выше вследствие применения уплотнений из эластомеров. Замена же эластомеров может вызвать дополнительные расходы и привести к затратам времени на переоснащение.

Методика ретрофита холодильных систем при переходе с R502 на R404A или R507 аналогична методике замены хладагента R12 на R134a.

Хладагенты R404A и R507 хорошо сочетаются с полиэфирными маслами. При заправке в систему жидкий хладагент следует наливать только из заправочного баллона. Баллоны оснащены погружными трубками, с помощью которых можно слить жидкость из баллона, находящегося в вертикальном положении. Правильное положение баллона при сливе жидкости показано стрелками на баллоне и на ящике для баллона. Хладагент может быть заправлен в систему либо в виде жидкости, либо в газообразном виде. Если необходимо перевести жидкость в газообразное состояние, используют вентиль коллекторного манометра либо дросселирующее устройство. Одноразовые баллоны с R507 не имеют погружной трубки, и поэтому для слива жидкости их следует перевернуть.

Обычно для заправки холодильной системы требуется меньше (по массе) хладагента R404A или R507, чем R502. Оптимальная масса загрузочной порции зависит от конструкции системы и условий ее эксплуатации. Для большинства систем оптимальная масса альтернативного хладагента при загрузке составляет 75—90 % массы исходного.

При пуске системы корректируют объем заправляемого хладагента. Для сравнения давлений и температур исходного хладагента и альтернативных хладагентов следует пользоваться табл. 27.

27. Сравнительные показатели хладагентов R502, R404A и R507 на линии насыщения

Давление, кПа	Температура			Давление, кПа	Температура		
	R502	R404A	R507		R502	R404A	R507
25	−72	−71	−72	1000	19	17	16
50	−60	−59	−61	1050	21	19	17
75	−52	−52	−53	1100	23	20	19
100	−46	−46	−47	1150	25	22	21
125	−41	−41	−43	1200	26	24	22
150	−37	−37	−39	1250	28	25	24
175	−33	−34	−35	1300	29	27	25
200	−30	−30	−32	1350	31	28	27
225	−27	−28	−29	1400	32	30	28
250	−24	−25	−26	1450	34	31	30
275	−22	−22	−24	1500	35	32	31
300	−19	−20	−22	1550	37	34	32
325	−17	−18	−19	1600	38	35	34
350	−15	−16	−17	1650	39	36	35
375	−13	−14	−15	1700	41	37	36
400	−11	−12	−14	1750	42	38	37
425	−9	−10	−12	1800	43	40	38
450	−8	−9	−10	1900	46	42	41
475	−6	−7	−9	2000	48	44	43
500	−4	−6	−7	2100	50	46	45
550	−1	−3	−4	2200	52	48	47
600	2	0	−2	2300	54	50	49
650	4	2	1	2400	56	52	51
700	7	5	4	2500	58	54	53
750	9	7	6	2600	60	56	54
800	11	9	8	2700	62	57	56
850	13	11	10	2800	64	59	58
900	15	13	12	2900	65	61	59
950	17	15	14				

Ожидаемые значения эксплуатационных параметров холодильной системы после замены R502 на R404A или R507 приведены в табл. 28.

28. Ожидаемое изменение эксплуатационных показателей холодильной системы после замены R502 на R404A или R507

Показатель	R404A	R507
Изменение давления, кПа:		
нагнетания	137,9	206,8
всасывания	Осталось неизменным	
Изменение температуры нагнетания	−5,6	8,3
Изменение перегрева на всасывании	1,1	2,2

10.3. Замена R12 на R401A, R409A, R401B. Замена R500 на R401B

Определение рабочих параметров действующей холодильной системы. Записывают эксплуатационные параметры системы, пока она работает на исходном хладагенте (R12 или R500). Определяют температуры и давления в испарителе, конденсаторе, на всасывании и нагнетании компрессора, степень перегрева и переохлаждения и т. д.

Удаление хладагента R12 (или R500) из холодильной системы и его утилизация. Хладагент R12 (R500) сливают в баллон с помощью приспособления, обеспечивающего откачку до создания остаточного давления (вакуума) 30...35 кПа. Если масса хладагента, которую рекомендуется заправить в систему, неизвестна, взвешивают слитый хладагент. По данным взвешивания можно определить массу альтернативного хладагента, который будет первоначально заправлен в систему.

Слив минерального масла из системы и измерение его количества. Если в системе использовали минеральное масло, то его необходимо слить. Однократная процедура замены масла обеспечивает удаление достаточного количества масла из системы. Как уже было сказано, в системах с небольшими герметичными компрессорами, где нет отверстия для слива масла, может потребоваться демонтаж компрессора. В этом случае масло сливают через линию всасывания компрессора, что дает возможность удалить бóльшую часть масла. В более крупных системах может возникнуть необходимость дополнительного слива из других точек системы, в частности из низкорасположенных зон испарителя; в этом случае удается слить 50...80 % масла. Если система включает маслоотделитель, то все масло, находящееся в нем, сливают.

В любом случае измеряют количество масла, слитого из системы, и сравнивают полученный результат с паспортными данными компрессора, чтобы убедиться, что основная часть масла слита.

Если при пуске будет наблюдаться низкая эффективность работы системы, то может потребоваться повторная замена масла. Опыт фирмы «Du Pont» показывает, что число таких случаев составляет менее 1 % общего количества проведенных замен.

Замена в холодильной системе минерального масла алкилбензольным. Систему заполняют алкилбензольным (или полиэфирным) маслом, объем которого должен быть равен объему масла, слитого при выполнении предыдущей операции. При этом используют масло такой вязкости и такого качества, которые рекомендуются заводом — изготовителем компрессора для альтернативного хладагента. Если же такая информация о компрессоре отсутствует, то вязкость нового масла должна быть близка к вязкости слитого минерального масла. Для большинства компрессоров типичная вязкость соответствует стандартам 150 SUS или ISO 32.

Операции слива и замены масла следует пропустить, если система уже была заправлена алкилбензольным маслом или в случае, когда минеральное масло не меняют.

Замена фильтра-осушителя. Эта операция — обычная процедура, которую проводят при техническом обслуживании системы. Для замены используют адсорбенты, совместимые с хладагентами R401A, R409A и R401B.

Вакуумирование холодильной системы и проверка ее на герметичность. При вакуумировании применяют стандартные методы технического обслуживания. Чтобы удалить воздух и другие неконденсирующиеся вещества из системы, ее следует откачать до вакуума (66,5 Па).

Заправка холодильной системы хладагентом. Жидкость следует наливать только из баллона. Баллоны с хладагентами оснащены погружными трубками, с помощью которых можно слить жидкость из баллона, находящегося в вертикальном положении. Правильное положение баллона при сливе жидкости показано стрелками на баллоне и на ящике для баллона. Хладагент может быть заправлен в систему либо в виде жидкости, либо в газообразном состоянии в зависимости от того, что требуется. Если необходимо, то при переводе жидкости в газообразное состояние следует использовать вентили коллекторных манометров либо дросселирующее устройство.

Обычно для заправки холодильной системы требуется меньшая масса альтернативного хладагента по сравнению с массой R12. Оптимальная масса порции, которая, как уже было сказано, зависит от конструкции системы и условий ее эксплуатации, для R401A, R401B и R409A составляет 75...90 % массы исходной зарядки хладагентом R12. При замене R500 на R401B для заправки холодильной системы потребуется чуть бóльшая порция, составляющая приблизительно 105 % массы исходного хладагента R500, заправленного в систему.

Чтобы добиться оптимальных результатов, рекомендуется первоначально заправлять систему хладагентом в количестве, составляющем 75 % массы исходного хладагента. При замене R500 на R401B следует начинать с порции в 100 % массы исходного хладагента (R500).

При первоначальной заправке хладагент следует подавать в линию высокого давления системы (компрессор не работает) до тех пор, пока давление в системе не станет равным давлению в баллоне. После этого подсоединяют линию низкого давления системы, пускают компрессор и медленно сливают оставшуюся часть жидкого хладагента из баллона. Слив жидкость из баллона, следует проводить заправку медленно, чтобы дать возможность хладагенту перейти в газообразное состояние (испариться) до того, как он поступит в линию всасывания компрессора, и тем самым избежать выхода компрессора из строя.

Пуск холодильной системы и регулирование дозы заправки. Проводят пуск системы и ждут, пока рабочий режим не стабилизируется. Если система недозаправлена, добавлять хладагент нужно небольшими порциями (продолжая сливать жидкость из заправочного баллона) до тех пор, пока рабочие параметры не достигнут желаемых значений. При сравнении давлений и температур следует пользоваться табл. 29...31.

29. Сравнительные показатели хладагентов R12 и R401A

Давление, кПа	R12	R401A		
	Температура насыщения, °С	Температура насыщенной жидкости, °С	Температура насыщенного пара, °С	Средняя температура фазового перехода хладагента в конденсаторе (испарителе), °С
10	−73,1	−74,7	−67,9	−71,3
20	−62,1	−64,0	−57,4	−60,7
30	−55,0	−57,1	−50,6	−53,9
40	−49,6	−51,9	−45,4	−48,7
50	−45,2	−47,7	−41,3	−44,5
60	−41,4	−44,1	−37,7	−40,9
70	−38,1	−40,9	−34,6	−37,8
80	−35,2	−38,1	−31,8	−35,0
90	−32,5	−35,6	−29,3	−32,5
100	−30,1	−33,3	−27,0	−30,1
110	−27,8	−31,1	−24,9	−28,0
120	−25,7	−29,1	−22,9	−26,0
130	−23,8	−27,2	−21,1	−24,2
140	−21,9	−25,5	−19,3	−22,4
150	−20,1	−23,8	−17,1	−20,7
160	−18,5	−22,2	−16,1	−19,2
170	−16,9	−20,7	−14,6	−17,7
180	−15,4	−19,3	−13,2	−16,2

Продолжение

Давление, кПа	R12	R401A		
	Температура насыщения, °С	Температура насыщенной жидкости, °С	Температура насыщенного пара, °С	Средняя температура фазового перехода хладагента в конденсаторе (испарителе), °С
190	−13,9	−17,9	−11,9	−14,9
200	−12,5	−16,6	−10,5	−13,6
210	−11,2	−15,3	−9,3	−12,3
220	−9,9	−14,0	−8,1	−11,1
230	−8,6	−12,9	−6,9	−9,9
240	−7,4	−11,7	−5,8	−8,7
250	−6,2	−10,6	−4,7	−7,6
260	−5,1	−9,5	−3,6	−6,6
270	−4,0	−8,4	−2,6	−5,5
280	−2,9	−7,4	−1,6	−4,5
290	−1,9	−6,4	−0,6	−3,5
300	−0,8	−5,5	0,3	−2,6
310	0,2	−4,5	1,3	−1,6
320	1,1	−3,6	2,2	−0,7
330	2,1	−2,7	3,0	0,2
340	3,0	−1,8	3,9	1,0
350	3,9	−1,0	4,7	1,9
360	4,8	−0,1	5,6	2,7
370	5,7	0,7	6,4	3,5
380	6,5	1,5	7,2	4,3
390	7,4	2,3	7,9	5,1
400	8,2	3,1	8,7	5,9
410	9,0	3,8	9,4	6,6
420	9,8	4,6	10,2	7,4
430	10,5	5,3	10,9	8,1
440	11,3	6,0	11,6	8,8
450	12,1	6,7	12,3	9,5
460	12,8	7,4	13,0	10,2
470	13,5	8,1	13,6	10,9
480	14,2	8,8	14,3	11,5
490	14,9	9,5	14,9	12,2
500	15,6	10,1	15,6	12,8
510	16,3	10,8	16,2	13,5
520	17,0	11,4	16,8	14,1
530	17,6	12,0	17,5	14,7
540	18,3	12,6	18,1	15,3
550	18,9	13,2	18,6	15,9
560	19,6	13,8	19,2	16,5
570	20,2	14,4	19,8	17,1
580	20,8	15,0	20,4	17,7
590	21,4	15,6	20,9	18,3
600	22,0	16,1	21,5	18,8
610	22,6	16,7	22,0	19,4
620	23,2	17,3	22,6	19,9
630	23,8	17,8	23,1	20,5

Продолжение

Давление, кПа	R12	R401A		
	Температура насыщения, °С	Температура насыщенной жидкости, °С	Температура насыщенного пара, °С	Средняя температура фазового перехода хладагента в конденсаторе (испарителе), °С
640	24,4	18,4	23,7	21,0
650	24,9	18,9	24,2	21,5
660	25,5	19,4	24,7	22,1
670	26,0	19,9	25,2	22,6
680	26,6	20,5	25,7	23,1
690	27,1	21,0	26,2	23,6
700	27,7	21,5	26,7	24,1
710	28,2	22,0	27,2	24,6
720	28,7	22,5	27,7	25,1
730	29,3	23,0	28,2	25,6
740	29,8	23,4	28,6	26,0
750	30,3	23,9	29,1	26,5
760	30,8	24,4	29,6	27,0
770	31,3	24,9	30,0	27,4
780	31,8	25,3	30,5	27,9
790	32,3	25,8	30,9	28,4
800	32,8	26,3	31,4	28,8
810	33,2	26,7	31,8	29,3
820	33,7	27,2	32,2	29,7
830	34,2	27,6	32,7	30,1
840	34,7	28,0	33,1	30,6
850	35,1	28,5	33,5	31,0
860	35,6	29,9	34,0	31,4
870	36,0	29,3	34,4	31,9
880	36,5	29,8	34,8	32,3
890	36,9	30,2	35,2	32,7
900	37,4	30,6	35,6	33,1
910	37,8	31,0	36,0	33,5
920	38,3	31,4	36,4	33,9
930	38,7	31,8	36,8	34,3
940	39,1	32,2	37,2	34,7
950	39,6	32,6	37,6	35,1
960	40,0	33,0	38,0	35,5
970	40,4	33,4	38,4	35,9
980	40,8	33,8	38,8	36,3
990	41,3	34,2	39,1	36,7
1000	41,7	34,6	39,5	37,1
1050	43,7	36,5	41,3	38,9
1100	45,6	38,3	43,1	40,7
1150	47,5	40,1	44,8	42,5
1200	49,3	41,8	46,5	44,1
1250	51,1	43,5	48,1	45,8
1300	52,8	45,1	49,7	47,4
1350	54,5	46,6	51,2	48,9

Продолжение

Давление, кПа	R12	R401A		
	Температура насыщения, °С	Температура насыщенной жидкости, °С	Температура насыщенного пара, °С	Средняя температура фазового перехода хладагента в конденсаторе (испарителе), °С
1400	56,1	48,1	52,6	50,4
1450	57,7	49,6	54,1	51,9
1500	59,2	51,1	55,5	53,3
1550	60,7	52,5	56,8	54,7
1600	62,2	53,9	58,2	56,0
1650	63,6	55,2	59,5	57,3
1700	65,1	56,5	60,7	58,6
1750	66,4	57,8	62,0	59,9
1800	67,8	59,1	63,2	61,1
1850	69,1	60,3	64,4	62,3
1900	70,4	61,5	65,5	63,5
1950	71,7	62,7	66,7	64,7
2000	72,9	63,9	67,8	65,8
2050	74,1	65,0	68,9	67,0
2100	75,3	66,1	70,0	68,1
2150	76,5	67,2	71,0	69,1
2200	77,7	68,3	72,1	70,2
2250	78,8	69,4	73,1	71,2
2300	79,9	70,4	74,1	72,3
2350	81,0	71,5	75,1	73,3
2400	82,1	72,5	76,1	74,3
2450	83,2	73,5	77,0	75,3
2500	84,2	74,5	78,0	76,2
2550	85,3	75,5	78,9	77,2
2600	86,3	76,4	79,8	78,1
2650	87,3	77,4	80,7	79,0
2700	88,3	78,3	81,6	79,9
2750	89,3	79,2	82,5	80,8
2800	90,2	80,1	83,3	81,7
2850	91,2	81,0	84,2	82,6
2900	92,1	81,9	85,0	83,5
2950	93,1	82,8	85,8	84,3
3000	94,0	83,7	86,6	85,2
3050	94,9	84,5	87,4	86,0
3100	95,8	85,4	88,2	86,8
3150	96,7	86,2	89,0	87,6
3200	97,6	87,1	89,8	88,4
3250	98,4	87,9	90,6	89,2
3300	99,3	88,7	91,3	90,0
3350	100,1	89,5	92,1	90,8
3400	101,0	90,3	92,8	91,5
3450	101,8	91,1	93,5	92,3
3500	102,6	91,8	94,3	93,0

30. Сравнительные показатели хладагентов R12 и R409A

Давление, кПа	R12	R409A		
	Температура насыщения, °С	Температура насыщенной жидкости, °С	Температура насыщенного пара, °С	Средняя температура фазового перехода в конденсаторе (испарителе), °С
10	−73,1	−76,1	−67,3	−71,7
20	−62,1	−65,5	−56,8	−62,1
30	−55,0	−58,6	−50,1	−54,4
40	−49,6	−53,4	−44,9	−49,2
50	−45,2	−49,2	−40,8	−45,0
60	−41,4	−45,6	−37,2	−41,4
70	−38,1	−42,5	−34,1	−38,3
80	−35,2	−39,7	−31,3	−35,5
90	−32,5	−37,1	−28,8	−33,0
100	−30,1	−34,8	−26,5	−30,7
110	−27,8	−32,7	−24,4	−28,6
120	−25,7	−30,7	−22,4	−26,6
130	−23,8	−28,8	−20,6	−24,7
140	−21,9	−27,0	−18,8	−22,9
150	−20,1	−25,4	−17,2	−21,3
160	−18,5	−23,8	−15,6	−19,7
170	−16,9	−22,3	−14,1	−18,2
180	−15,4	−20,8	−12,7	−16,8
190	−13,9	−19,4	−11,4	−15,4
200	−12,5	−18,1	−10,0	−14,1
210	−11,2	−16,8	−8,8	−12,8
220	−9,9	−15,6	−7,6	−11,6
230	−8,6	−14,4	−6,4	−10,4
240	−7,4	−13,3	−5,3	−9,3
250	−6,2	−12,1	−4,2	−8,2
260	−5,1	−11,1	−3,1	−7,1
270	−4,0	−10,0	−2,1	−6,1
280	−2,9	−9,0	−1,1	−5,1
290	−1,9	−8,0	−0,1	−4,1
300	−0,8	−7,0	−0,8	−3,1
310	0,2	−6,1	1,8	−2,2
320	1,1	−5,2	2,7	−1,3
330	2,1	−4,3	3,6	−0,4
340	3,0	−3,4	4,4	0,5
350	3,9	−2,5	5,3	1,4
360	4,8	−1,7	6,1	2,2
370	5,7	−0,9	6,9	3,0
380	6,5	−0,1	7,7	3,8
390	7,4	0,7	8,5	4,6
400	8,2	1,5	9,2	5,4
410	9,0	2,3	10,0	6,2
420	9,8	3,0	10,7	6,9
430	10,5	3,8	11,4	7,6
440	11,3	4,5	12,1	8,3
450	12,1	5,2	12,8	9,0

Продолжение

Давление, кПа	R12	R409A		
	Температура насыщения, °С	Температура насыщенной жидкости, °С	Температура насыщенного пара, °С	Средняя температура фазового перехода в конденсаторе (испарителе), °С
460	12,8	5,9	13,5	9,7
470	13,5	6,6	14,2	10,4
480	14,2	7,2	14,8	11,0
490	14,9	7,9	15,5	11,7
500	15,6	8,6	16,1	12,4
510	16,3	9,2	16,7	13,0
520	17,0	9,8	17,4	13,6
530	17,6	10,5	18,0	14,3
540	18,3	11,1	18,6	14,9
550	18,9	11,7	19,2	15,5
560	19,6	12,3	19,8	16,1
570	20,2	12,9	20,3	16,6
580	20,8	13,5	20,9	17,2
590	21,4	14,0	21,5	17,8
600	22,0	14,6	22,0	18,3
610	22,6	15,2	22,6	18,9
620	23,2	15,7	23,1	19,4
630	23,8	16,3	23,7	20,0
640	24,4	16,8	24,2	20,5
650	24,9	17,4	21,7	21,1
660	25,5	17,9	25,2	21,6
670	26,0	18,4	25,7	22,1
680	26,6	18,9	26,2	22,6
690	27,1	19,5	26,7	23,1
700	27,7	20,0	27,2	23,6
710	28,2	20,5	27,7	24,1
720	28,7	21,0	28,2	24,6
730	29,3	21,5	28,7	25,1
740	29,8	22,0	29,2	25,6
750	30,3	22,4	29,6	26,0
760	30,8	22,9	30,1	26,5
770	31,3	23,4	30,6	27,0
780	31,8	23,9	31,0	27,5
790	32,3	24,3	31,5	27,9
800	32,8	24,8	31,9	28,4
810	33,2	25,2	32,4	28,8
820	33,7	25,7	32,8	29,3
830	34,2	26,1	33,2	29,7
840	34,7	26,6	33,7	30,2
850	35,1	27,0	34,1	30,6
860	35,6	27,5	34,5	31,0
870	36,0	27,9	34,9	31,4
880	36,5	28,3	35,4	31,9
890	36,9	28,7	35,8	32,3
900	37,4	29,2	36,2	32,7

Продолжение

Давление, кПа	R12	R409A		
	Температура насыщения, °С	Температура насыщенной жидкости, °С	Температура насыщенного пара, °С	Средняя температура фазового перехода в конденсаторе (испарителе), °С
910	37,8	29,6	36,6	33,1
920	38,3	30,0	37,0	33,5
930	38,7	30,4	37,4	33,9
940	39,1	30,8	37,8	34,3
950	39,6	31,2	38,2	34,7
960	40,0	31,6	38,6	35,2
970	40,4	32,0	39,0	35,5
980	40,8	32,4	39,3	35,9
990	41,3	32,8	39,7	36,3
1000	41,7	33,2	40,1	36,7
1050	43,7	35,1	42,0	38,6
1100	45,6	37,0	43,7	40,4
1150	47,5	38,8	45,5	42,2
1200	49,3	40,5	47,1	43,8
1250	51,1	42,2	48,8	45,5
1300	52,8	43,8	50,3	47,1
1350	54,5	45,4	51,9	48,7
1400	56,1	46,9	53,3	50,1
1450	57,7	48,4	54,8	51,6
1500	59,2	49,9	56,2	53,1
1550	60,7	51,3	57,6	54,5
1600	62,2	52,7	58,9	55,8
1650	63,6	54,1	60,2	57,2
1700	65,1	55,4	61,5	58,5
1750	66,4	56,7	62,7	59,7
1800	67,8	58,0	64,0	61,0
1850	69,1	59,3	65,2	62,3
1900	70,4	60,5	66,3	63,4
1950	71,7	61,7	67,5	64,6
2000	72,9	62,9	68,6	65,8
2050	74,1	64,0	69,7	66,9
2100	75,3	65,2	70,8	68,0
2150	76,5	66,3	71,9	69,1
2200	77,7	67,4	72,9	70,2
2250	78,8	68,5	73,9	71,2
2300	79,9	69,6	75,0	72,3
2350	81,0	70,6	75,9	73,3
2400	82,1	71,7	76,9	74,3
2450	83,2	72,7	77,9	75,3
2500	84,2	73,7	78,8	76,3
2550	85,3	74,7	79,8	77,3
2600	86,3	75,7	80,7	78,2
2650	87,3	76,6	81,6	79,1
2700	88,3	77,6	82,5	80,1
2750	89,3	78,5	83,4	81,0

Продолжение

Давление, кПа	R12	R409A		
	Температура насыщения, °С	Температура насыщенной жидкости, °С	Температура насыщенного пара, °С	Средняя температура фазового перехода в конденсаторе (испарителе), °С
2800	90,2	79,4	84,2	81,8
2850	91,2	80,4	85,1	82,8
2900	92,1	81,3	85,9	84,1
2950	93,1	82,1	86,7	84,4
3000	94,0	83,0	87,6	85,3
3050	94,9	83,9	88,4	86,2
3100	95,8	84,8	89,2	87,0
3150	96,7	85,6	89,9	87,8
3200	97,6	86,4	90,7	88,6
3250	98,4	87,3	91,5	89,4
3300	99,3	88,1	92,2	90,2
3350	100,1	88,9	93,0	91,0
3400	101,0	89,7	93,7	91,7
3450	101,8	90,5	94,4	92,5
3500	102,6	91,3	95,1	93,2

31. Сравнительные показатели хладагентов R12, R500 и R401B

Давление, кПа	R12	R500	R401B		
	Температура насыщения, °С	Температура насыщения, °С	Температура насыщенной жидкости, °С	Температура насыщенного пара, °С	Средняя температура фазового перехода в конденсаторе (испарителе), °С
10	−73,1	−76,1	−75,9	−69,5	−72,7
20	−62,1	−65,2	−65,4	−59,0	−62,2
30	−55,0	−58,2	−58,5	−52,3	−55,4
40	−49,6	−52,8	−53,4	−47,2	−50,3
50	−45,2	−48,5	−49,2	−43,0	−46,1
60	−41,4	−44,8	−45,6	−39,5	−42,6
70	−38,1	−41,6	−42,5	−36,4	−39,5
80	−35,2	−38,8	−39,7	−33,7	−36,7
90	−32,5	−36,2	−37,2	−31,2	−34,2
100	−30,1	−33,8	−34,9	−28,9	−31,9
110	−27,8	−31,6	−32,7	−26,8	−29,8
120	−25,7	−29,6	−30,7	−24,9	−27,8
130	−23,8	−27,7	−28,9	−23,0	−26,0
140	−21,9	−25,9	−27,1	−21,3	−24,2
150	−20,1	−24,2	−25,5	−19,7	−22,6
160	−18,5	−22,6	−23,9	−18,1	−21,0
170	−16,9	−21,0	−22,4	−16,7	−19,5
180	−15,4	−19,6	−21,0	−15,2	−18,1
190	−13,9	−18,2	−19,6	−13,9	−16,8

Продолжение

Давление, кПа	R12	R500	R401B		
	Температура насыщения, °С	Температура насыщения, °С	Температура насыщенной жидкости, °С	Температура насыщенного пара, °С	Средняя температура фазового перехода в конденсаторе (испарителе), °С
200	−12,5	−16,8	−18,3	−12,6	−15,4
210	−11,2	−15,5	−17,0	−11,3	−14,2
220	−9,9	−14,3	−15,8	−10,1	−13,0
230	−8,6	−13,1	−14,6	−9,0	−11,8
240	−7,4	−11,9	−13,5	−7,9	−10,7
250	−6,2	−10,8	−12,4	−6,8	−9,6
260	−5,1	−9,7	−11,3	−5,7	−8,5
270	−4,0	−8,6	−10,3	−4,7	−7,5
280	−2,9	−7,6	−9,3	−3,7	−6,5
290	−1,9	−6,6	−8,3	−2,7	−5,5
300	−0,8	−5,6	−7,3	−1,8	−4,6
310	0,2	−4,6	−6,4	−0,9	−3,6
320	1,1	−3,7	−5,5	0,0	−2,7
330	2,1	−2,8	−4,6	0,9	−1,8
340	3,0	−1,9	−3,7	1,7	−1,0
350	3,9	−1,1	−2,8	2,6	−0,1
360	4,8	−0,2	−2,0	3,4	0,7
370	5,7	0,6	−1,2	4,2	1,5
380	6,5	1,4	−0,4	5,0	2,3
390	7,4	2,2	0,4	5,7	3,1
400	8,2	3,0	1,2	6,5	3,8
410	9,0	3,8	1,9	7,2	4,6
420	9,8	4,5	2,6	8,0	5,3
430	10,5	5,3	3,4	8,7	6,0
440	11,3	6,0	4,1	9,4	6,7
450	12,1	6,7	4,8	10,1	7,4
460	12,8	7,4	5,5	10,7	8,1
470	13,5	8,1	6,2	11,4	8,8
480	14,2	8,8	6,8	12,1	9,4
490	14,9	9,5	7,5	12,7	10,1
500	15,6	10,1	8,1	13,3	10,7
510	16,3	10,6	8,8	14,0	11,4
520	17,0	11,4	9,4	14,6	12,0
530	17,6	12,1	10,0	15,2	12,6
540	18,3	12,7	10,6	15,8	13,2
550	18,9	13,3	11,2	16,4	13,8
560	19,6	13,9	11,8	17,0	14,4
570	20,2	14,5	12,4	17,5	15,0
580	20,8	15,1	13,0	18,1	15,5
590	21,4	15,7	13,6	18,7	16,1
600	22,0	16,2	14,1	19,2	16,7
610	22,6	16,8	14,7	19,8	17,2
620	23,2	17,4	15,2	20,3	17,8
630	23,8	17,9	15,8	20,8	18,3

Продолжение

Давление, кПа	R12	R500	R401B		
	Температура насыщения, °С	Температура насыщения, °С	Температура насыщенной жидкости, °С	Температура насыщенного пара, °С	Средняя температура фазового перехода в конденсаторе (испарителе), °С
640	24,4	18,5	16,3	21,3	18,8
650	24,9	19,0	16,8	21,9	19,4
660	25,5	19,6	17,4	22,4	19,9
670	26,0	20,1	17,9	22,9	20,4
680	26,6	20,6	18,4	23,4	20,9
690	27,1	21,1	18,9	23,9	21,4
700	27,7	21,6	19,4	24,4	21,9
710	28,2	22,1	19,9	24,9	22,4
720	28,7	22,6	20,4	25,3	22,9
730	29,3	23,1	20,9	25,8	23,3
740	29,8	23,6	21,4	26,3	23,8
750	30,3	24,1	21,8	26,7	24,3
760	30,8	24,6	22,3	27,2	24,8
770	31,3	25,1	22,8	27,7	25,2
780	31,8	25,6	23,2	28,1	25,7
790	32,3	26,0	23,7	28,6	26,1
800	32,8	26,5	24,1	29,0	26,6
810	33,2	26,9	24,6	29,4	27,0
820	33,7	27,4	25,0	29,9	27,5
830	34,2	27,8	25,5	30,3	27,9
840	34,7	28,3	25,9	30,7	28,3
850	35,1	28,7	26,3	31,2	28,8
860	35,6	29,2	26,8	31,6	29,2
870	36,0	29,6	27,2	32,0	29,6
880	36,5	30,0	27,6	32,4	30,0
890	36,9	30,5	28,0	32,8	30,4
900	37,4	30,9	28,5	33,2	30,8
910	37,8	31,3	28,9	33,6	31,2
920	38,3	31,7	29,3	34,0	31,6
930	38,7	32,1	29,7	34,4	32,0
940	39,1	32,6	30,1	34,8	32,4
950	39,6	33,0	30,5	35,2	32,8
960	40,0	33,4	30,9	35,6	33,2
970	40,4	33,8	31,3	36,0	33,6
980	40,8	34,2	31,7	36,3	34,0
990	41,3	34,6	32,0	36,7	34,4
1000	41,7	35,0	32,4	37,1	34,8
1050	43,7	36,9	34,3	38,9	36,6
1100	45,6	38,7	36,1	40,7	38,4
1150	47,5	40,5	37,9	42,4	40,1
1200	49,3	42,3	39,6	44,0	41,8
1250	51,1	43,9	41,2	45,6	43,4
1300	52,8	45,6	42,8	47,2	45,0
1350	54,5	47,2	44,3	48,7	46,5

Продолжение

Давление, кПа	R12	R500	R401B		
	Температура насыщения, °С	Температура насыщения, °С	Температура насыщенной жидкости, °С	Температура насыщенного пара, °С	Средняя температура фазового перехода в конденсаторе (испарителе), °С
1400	56,1	48,7	45,9	50,1	48,0
1450	57,7	50,2	47,3	51,6	49,4
1500	59,2	51,7	48,8	52,9	50,8
1550	60,7	53,1	50,2	54,3	52,2
1600	62,2	54,5	51,5	55,6	53,6
1650	63,6	55,9	52,9	56,9	54,9
1700	65,1	57,2	54,2	58,2	56,2
1750	66,4	58,5	55,4	59,4	57,4
1800	67,8	59,8	56,7	60,6	58,6
1850	69,1	61,1	57,9	61,8	59,8
1900	70,4	62,3	59,1	62,9	61,0
1950	71,7	63,5	60,3	64,1	62,2
2000	72,9	64,7	61,4	65,2	63,3
2050	74,1	66,9	62,6	66,3	64,4
2100	75,3	67,0	63,7	67,3	65,5
2150	76,5	68,1	64,8	68,4	66,6
2200	77,7	69,2	65,9	69,4	67,6
2250	78,8	70,3	66,9	70,4	68,7
2300	79,9	71,4	68,0	71,4	69,7
2350	81,0	72,4	69,0	72,4	70,7
2400	82,1	73,5	70,0	73,4	71,7
2450	83,2	74,5	71,0	74,3	72,7
2500	84,2	75,5	72,0	75,3	73,6
2550	85,3	76,5	72,9	76,2	74,6
2600	86,3	77,4	73,9	77,1	75,5
2650	87,3	78,4	74,8	78,0	76,4
2700	88,3	79,3	75,8	78,9	77,3
2750	89,3	80,3	76,7	79,8	78,2
2800	90,2	81,2	77,6	80,6	79,1
2850	91,2	82,1	78,5	81,5	80,0
2900	92,1	83,0	79,4	82,3	80,8
2950	93,1	83,9	80,2	83,1	81,7
3000	94,0	84,7	81,1	83,9	82,5
3050	94,9	85,6	81,9	84,7	83,3
3100	95,8	86,4	82,8	85,5	84,1
3150	96,7	87,3	83,6	86,3	84,9
3200	97,6	88,1	84,4	87,1	85,7
3250	98,4	88,9	85,2	87,8	86,5
3300	99,3	89,7	86,0	88,6	87,3
3350	100,1	90,5	86,8	89,3	88,1
3400	101,0	91,3	87,6	90,1	88,8
3450	101,8	92,1	88,4	90,8	89,6
3500	102,6	92,8	89,2	91,5	90,3

В табл. 29...31 включена графа, где приведена средняя температура фазового перехода в испарителе (конденсаторе). Рабочие характеристики испарителя (конденсатора) будут такими, как будто он работает при этой постоянной температуре и соответствующем давлении. Эту среднюю температуру можно использовать для сравнения хладагентов.

Хладагенты ГХФУ (R401A, R401B и R409A) более чувствительны к количеству заправленного в систему вещества, чем хладагенты ХФУ. При избыточной или недостаточной загрузке характеристики работы системы изменяются очень быстро. Контроль за работой системы можно осуществлять по количеству хладагента, заправленного в систему.

После замены хладагента R12 на R401A, R409A, R401B эксплуатационные параметры охлаждающей системы могут принимать следующие значения (табл. 32).

32. Ожидаемое изменение эксплуатационных показателей холодильной системы после замены R12 на R401A, R401B или R409A

Показатель	R401A	R401B	R409A
Изменение давления, кПа:			
нагнетания	137,9	206,9	172,4
всасывания	Осталось неизменным	13,8	Осталось неизменным
Изменение температуры нагнетания, °С	13,9	16,7	16,7
Изменение перегрева на всасывании	–1,7	–0,6	–2,2

Опыт работы с R401A, R409A и R401B свидетельствует о том, что в системах, заправленных одним из этих хладагентов, можно успешно использовать минеральное масло в тех случаях, когда возврат масла из испарителя в компрессор не играет большой роли. К таким системам относятся, например, камерные холодильники, холодильные витрины, торговые холодильные автоматы (в том числе по розливу напитков) и бытовые холодильники. Однако в системах с плохим возвратом масла замена минерального масла на синтетическое может оказаться необходимой, особенно если испаритель удален от компрессора либо он находится ниже компрессора, либо в системе есть участки с малой скоростью движения хладагента.

10.4. Замена R502 на R402A, R408A, R402B

Методика замены хладагента R502 на R402A, R408A, R402B аналогична методике замены R12 на R401A, R409A, R401B. Ниже приводится перечень операций по замене хладагента R502 на R402A, R408A, R402B:

определение рабочих параметров действующей холодильной системы при работе на R502;

удаление R502 из системы и его утилизация. Для удаления хладагента необходимо создание вакуума 30...35 кПа. Для утилизации необходимо использовать баллон (нельзя выпускать хладагент в атмосферу);

слив масла из компрессора (если только в компрессоре уже не используются алкилбензольные масла) и измерение его количества;

заполнение холодильной системы алкилбензольным или полиэфирным смазочным маслом. Количество масла, заправляемого в систему, должно быть равно количеству слитого;

повторный монтаж компрессора (если его демонтировали);

замена фильтра-осушителя на новый, который разрешается использовать для осушки хладагентов R402A, R408A и R402B. Применяют два типа фильтров-осушителей: с внутренней кассетой, содержащей адсорбент; с насыпным наполнителем-адсорбентом XH-9, MS-594 или эквивалентные им;

вакуумирование холодильной системы. Откачку вакуумным насосом следует вести до 66,5 Па;

проверка холодильной системы на герметичность (после проверки еще раз откачать систему);

заправка системы хладагентом. Заправку проводят хладагентом в жидкой фазе, причем жидкость следует сливать только из баллона. Вначале заправляют 75...80 % (по массе) исходного количества R502. Записывают массу заправленного хладагента;

пуск холодильной системы и дозаправка ее, с тем чтобы получить нужные рабочие условия. При дозаправке жидкость сливают только из баллона. Если заправленная порция мала, то жидкий хладагент следует добавлять дозами по 2...3 % исходной массы R502. Записывают массу заправленного хладагента. Полную массу заправленного хладагента получают путем сложения предыдущих результатов;

маркировка холодильной системы этикетками с указанием типа хладагента и смазочного масла (алкилбензольное или полиэфирное).

При пуске для оценки работы холодильной системы следует пользоваться табл. 33...35.

33. Сравнительные показатели хладагентов R502 и R402A

Давление, кПа	R502	R402A	
	Температура насыщения, °С	Температура насыщенной жидкости, °С	Температура насыщенного пара, °С
10	–85,5	–88,3	–85,4
20	–75,2	–78,1	–75,6
30	–68,6	–71,6	–69,2
40	–63,6	–66,7	–64,4
50	–59,5	–62,7	–60,5
60	–56,1	–59,4	–57,2
70	–53,1	–56,4	–54,3

Продолжение

Давление, кПа	R502	R402A	
	Температура насыщения, °С	Температура насыщенной жидкости, °С	Температура насыщенного пара, °С
80	−50,4	−53,8	−51,7
90	−47,9	−51,4	−49,4
100	−45,7	−49,2	−47,2
110	−43,6	−47,2	−45,2
120	−41,7	−45,3	−43,4
130	−39,9	−43,5	−41,7
140	−38,3	−41,9	−40,0
150	−36,7	−40,3	−38,5
160	−35,1	−38,8	−37,0
170	−33,7	−36,4	−35,7
180	−32,3	−36,1	−34,3
190	−31,0	−34,8	−33,1
200	−29,7	−33,5	−31,8
210	−28,5	−32,3	−30,6
220	−27,3	−31,2	−29,5
230	−26,2	−30,1	−28,4
240	−25,1	−29,0	−27,3
250	−24,0	−27,9	−26,3
260	−23,0	−26,9	−25,3
270	−22,0	−25,9	−24,4
280	−21,0	−25,0	−23,4
290	−20,1	−24,1	−22,5
300	−19,2	−23,2	−21,6
310	−18,3	−22,3	−20,7
320	−17,4	−21,4	−19,9
330	−16,5	−20,6	−19,1
340	−15,7	−19,8	−18,3
350	−14,9	−19,0	−17,5
360	−14,1	−18,2	−16,7
370	−13,3	−17,4	−16,0
380	−12,5	−16,7	−15,2
390	−11,8	−15,9	−14,5
400	−11,0	−15,2	−13,8
410	−10,3	−14,5	−13,1
420	−9,6	−13,8	−12,4
430	−8,9	−13,1	−11,7
440	−8,2	−12,4	−11,0
450	−7,5	−11,8	−10,4
460	−6,9	−11,1	−9,7
470	−6,2	−10,5	−9,1
480	−5,6	−9,9	−8,5
490	−4,9	−9,2	−7,9
500	−4,3	−8,6	−7,3
510	−3,7	−8,0	−6,7
520	−3,1	−7,4	−6,1
530	−2,5	−6,8	−5,5
540	−1,9	−6,3	−5,0

Продолжение

Давление, кПа	R502	R402A	
	Температура насыщения, °С	Температура насыщенной жидкости, °С	Температура насыщенного пара, °С
550	−1,3	−5,7	−4,4
560	−0,7	−5,1	−3,8
570	−0,2	−4,6	−3,3
580	0,4	−4,1	−2,8
590	0,9	−3,5	−2,2
600	1,5	−3,0	−1,7
610	2,0	−2,5	−1,2
620	2,6	−1,9	−0,7
630	3,1	−1,4	−0,2
640	3,6	−0,9	0,3
650	4,1	−0,4	0,8
660	4,6	0,1	1,3
670	5,1	0,5	1,8
680	5,6	1,0	2,3
690	6,1	1,5	2,7
700	6,6	2,0	3,2
710	7,1	2,4	3,6
720	7,6	2,9	4,1
730	8,0	3,4	4,6
740	8,5	3,8	5,0
750	9,0	4,3	5,4
760	9,4	4,7	5,9
770	9,9	5,1	6,3
780	10,3	5,6	6,7
790	10,8	6,0	7,2
800	11,2	6,4	7,6
810	11,6	6,9	8,0
820	12,1	7,3	8,4
830	12,5	7,7	8,8
840	12,9	8,1	9,2
850	13,3	8,5	9,6
860	13,8	8,9	10,0
870	14,2	9,3	10,4
880	14,5	9,7	10,8
890	15,0	10,1	11,2
900	15,4	10,5	11,6
910	15,8	10,9	12,0
920	16,2	11,2	12,4
930	16,6	11,6	12,7
940	17,0	12,0	13,1
950	17,4	12,4	13,5
960	17,8	12,7	13,8
970	18,1	13,1	14,2
980	18,5	13,5	14,6
990	18,9	13,8	14,9
1000	19,3	14,2	15,3
1050	21,1	16,0	17,0

Продолжение

Давление, кПа	R502	R402A	
	Температура насыщения, °С	Температура насыщенной жидкости, °С	Температура насыщенного пара, °С
1100	22,9	17,7	18,7
1150	24,6	19,3	20,3
1200	26,3	20,9	21,9
1250	27,9	22,4	23,4
1300	29,4	23,9	24,9
1350	30,9	25,4	26,3
1400	32,4	26,8	27,7
1450	33,9	28,1	29,1
1500	35,3	29,5	30,4
1550	36,7	30,8	31,7
1600	38,0	32,1	33,0
1650	39,3	33,3	34,2
1700	40,6	34,5	35,4
1750	41,8	35,7	36,6
1800	43,1	36,9	37,7
1850	44,3	38,0	38,8
1900	45,5	39,1	39,9
1950	46,6	40,2	41,0
2000	47,8	41,3	42,1
2050	48,9	42,4	43,1
2100	50,0	43,4	44,1
2150	51,1	44,4	45,2
2200	52,1	45,4	46,1
2250	53,2	46,4	47,1
2300	54,2	47,4	48,1
2350	55,2	48,3	49,0
2400	56,2	49,3	49,9
2450	57,1	50,2	50,8
2500	58,1	51,1	51,7
2550	59,1	52,0	52,6
2600	60,0	52,9	53,5
2650	60,9	53,8	54,4
2700	61,8	54,6	55,2
2750	62,7	55,5	56,0
2800	63,6	56,3	56,9
2850	64,4	57,1	57,7
2900	65,3	57,9	58,5
2950	66,1	58,8	59,3
3000	66,9	59,5	60,0
3050	67,8	60,3	60,8
3100	68,6	61,1	61,6
3150	69,4	61,9	62,3
3200	70,1	62,6	63,1
3250	70,9	63,4	63,8
3300	71,7	64,1	64,5
3350	72,4	64,8	65,3
3400	73,2	65,6	66,0

34. Сравнительные показатели хладагентов R502 и R402B

Давление, кПа	R502	R402B	
	Температура насыщения, °С	Температура насыщенной жидкости, °С	Температура насыщенного пара, °С
10	–88,5	–86,8	–83,7
20	–75,2	–76,6	–73,8
30	–68,6	–70,1	–67,4
40	–63,6	–65,1	–62,5
50	–59,5	–61,1	–58,6
60	–56,1	–57,7	–55,2
70	–53,1	–54,7	–52,3
80	–50,4	–52,0	–49,7
90	–47,9	–49,6	–47,3
100	–45,7	–47,4	–45,1
110	–43,6	–45,4	–43,1
120	–41,7	–43,5	–41,3
130	–39,9	–41,7	–39,5
140	–38,3	–40,0	–37,9
150	–36,7	–38,5	–36,3
160	–35,1	–37,0	–34,9
170	–33,7	–35,5	–33,5
180	–32,3	–34,2	–32,1
190	–31,0	–32,9	–30,8
200	–29,7	–31,6	–29,6
210	–28,5	–30,4	–28,4
220	–27,3	–29,2	–27,3
230	–26,2	–28,1	–26,2
240	–25,1	–27,0	–25,1
250	–24,0	–26,0	–24,1
260	–23,0	–25,0	–23,1
270	–22,0	–24,0	–22,1
280	–21,0	–23,0	–21,1
290	–20,1	–22,1	–20,2
300	–19,2	–21,2	–19,3
310	–18,3	–20,3	–18,4
320	–17,4	–19,4	–17,6
330	–16,5	–18,6	–16,8
340	–15,7	–17,7	–15,9
350	–14,9	–16,9	–15,1
360	–14,1	–16,1	–14,4
370	–13,3	–15,4	–13,6
380	–12,5	–14,6	–12,8
390	–11,8	–13,9	–12,1
400	–11,0	–13,1	–11,4
410	–10,3	–12,4	–10,7
420	–9,6	–11,7	–10,0
430	–8,9	–11,0	–9,0
440	–8,2	–10,3	–8,6
450	–7,5	–9,7	–8,0
460	–6,9	–9,0	–7,3
470	–6,2	–8,4	–6,7

Продолжение

Давление, кПа	R502	R402B	
	Температура насыщения, °С	Температура насыщенной жидкости, °С	Температура насыщенного пара, °С
480	–5,6	–7,7	–6,1
490	–4,9	–7,1	–5,4
500	–4,3	–6,5	–4,8
510	–3,7	–5,9	–4,2
520	–3,1	–5,3	–3,6
530	–2,5	–4,7	–3,1
540	–1,9	–4,1	–2,5
550	–1,3	–3,6	–1,9
560	–0,7	–3,0	–1,4
570	–0,2	–2,4	–0,8
580	0,4	–1,9	–0,3
590	0,9	–1,3	0,3
600	1,5	–0,8	0,8
610	2,0	–0,3	1,3
620	2,6	0,2	1,8
630	3,1	0,8	2,3
640	3,6	1,3	2,8
650	4,1	1,8	3,3
660	4,6	2,3	3,8
670	5,1	2,8	4,3
680	5,6	3,3	4,8
690	6,1	3,7	5,3
700	6,6	4,2	5,7
710	7,1	4,7	6,2
720	7,6	5,1	6,7
730	8,0	5,6	7,1
740	8,5	6,1	7,6
750	9,0	6,5	8,0
760	9,4	7,0	8,5
770	9,9	7,4	8,9
780	10,3	7,8	9,3
790	10,8	8,3	9,8
800	11,2	8,7	10,2
810	11,6	9,1	10,6
820	12,1	9,6	11,0
830	12,5	10,0	11,4
840	12,9	10,4	11,8
850	13,3	10,8	12,2
860	13,8	11,2	12,6
870	14,2	11,6	13,0
880	14,5	12,0	13,4
890	15,0	12,4	13,8
900	15,4	12,8	14,2
910	15,8	13,2	14,6
920	16,2	13,6	15,0
930	16,6	14,0	15,4
940	17,0	14,3	15,7

Продолжение

Давление, кПа	R502	R402B	
	Температура насыщения, °С	Температура насыщенной жидкости, °С	Температура насыщенного пара, °С
950	17,4	14,7	16,1
960	17,8	15,1	16,5
970	18,1	15,5	16,8
980	18,5	15,8	17,2
990	18,9	16,2	17,6
1000	19,3	16,6	17,9
1050	21,1	18,3	19,7
1100	22,9	20,0	21,4
1150	24,6	21,7	23,0
1200	26,3	23,3	24,6
1250	27,9	24,9	26,1
1300	29,4	26,4	27,6
1350	30,9	27,8	29,1
1400	32,4	29,3	30,5
1450	33,9	30,7	31,9
1500	35,3	32,0	33,2
1550	36,7	33,3	34,5
1600	38,0	34,6	35,8
1650	39,3	35,9	37,0
1700	40,6	37,1	38,2
1750	41,8	38,3	39,4
1800	43,1	39,5	40,6
1850	44,3	40,7	41,7
1900	45,5	41,8	42,8
1950	46,6	42,9	43,9
2000	47,8	44,0	45,0
2050	48,9	45,1	46,1
2100	50,0	46,1	47,1
2150	51,1	47,1	48,1
2200	51,2	48,2	49,1
2250	53,2	49,2	50,1
2300	54,2	50,1	51,1
2350	55,2	51,1	52,0
2400	56,2	52,0	53,0
2450	57,1	53,0	53,9
2500	58,1	53,9	54,8
2550	59,1	54,8	55,7
2600	60,0	55,7	56,6
2650	60,9	56,6	57,4
2700	61,8	57,5	58,3
2750	62,7	58,3	59,1
2800	63,6	59,2	60,0
2850	64,4	60,0	60,8
2900	65,3	60,8	61,6
2950	66,1	61,6	62,4
3000	66,9	62,4	63,2
3050	67,8	63,2	64,0

Продолжение

Давление, кПа	R502	R402B	
	Температура насыщения, °С	Температура насыщенной жидкости, °С	Температура насыщенного пара, °С
3100	68,6	64,0	64,7
3150	69,4	64,8	65,5
3200	70,1	65,6	66,2
3250	70,9	66,3	67,0
3300	71,7	67,0	67,7
3350	72,4	67,8	68,4
3400	73,2	68,5	69,2
3450	73,9	69,3	69,9
3500	74,6	70,0	70,6

35. Сравнительные показатели хладагентов R502 и R408A

Давление, кПа	R502	R408A	
	Температура насыщения, °С	Температура насыщенной жидкости, °С	Температура насыщенного пара, °С
10	−88,5	−83,7	−83,1
20	−75,2	−73,6	−73,1
30	−68,6	−67,1	−66,6
40	−63,6	−62,2	−61,5
50	−59,5	−58,2	−57,7
60	−56,1	−54,8	−54,3
70	−53,1	−51,8	−51,3
80	−50,4	−49,1	−48,7
90	−47,9	−46,7	−46,3
100	−45,7	−44,5	−44,1
110	−43,6	−42,5	−42,0
120	−41,7	−40,6	−40,1
130	−39,9	−38,8	−38,4
140	−38,3	−37,1	−36,7
150	−36,7	−35,5	−35,1
160	−35,1	−34,0	−33,6
170	−33,7	−32,6	−32,2
180	−32,3	−31,2	−30,8
190	−31,0	−29,9	−29,5
200	−29,7	−28,7	−28,3
210	−28,5	−27,5	−27,1
220	−27,3	−26,3	−25,9
230	−26,2	−25,2	−24,8
240	−25,1	−24,1	−23,7
250	−24,0	−23,0	−22,6
260	−23,0	−22,0	−21,6
270	−22,0	−21,0	−20,6
280	−21,0	−20,0	−19,7
290	−20,1	−19,1	−18,7
300	−19,2	−18,2	−17,8

Продолжение

Давление, кПа	R502	R408A	
	Температура насыщения, °С	Температура насыщенной жидкости, °С	Температура насыщенного пара, °С
310	−18,3	−17,3	−16,9
320	−17,4	−16,4	−16,1
330	−16,5	−15,6	−15,2
340	−15,7	−14,8	−14,4
350	−14,9	−13,9	−13,6
360	−14,1	−13,1	−12,8
370	−13,3	−12,4	−12,0
380	−12,5	−11,6	−11,3
390	−11,8	−10,9	−10,5
400	−11,0	−10,1	−9,8
410	−10,3	−9,4	−9,1
420	−9,6	−8,7	−8,4
430	−8,9	−8,0	−7,7
440	−8,2	−7,3	−7,0
450	−7,5	−6,7	−6,3
460	−6,9	−6,0	−5,7
470	−6,2	−5,4	−5,0
480	−5,6	−4,7	−4,4
490	−4,9	−4,1	−3,8
500	−4,3	−3,5	−3,1
510	−3,7	−2,9	−2,5
520	−3,1	−2,3	−1,9
530	−2,5	−1,7	−1,4
540	−1,9	−1,1	−0,8
550	−1,3	−0,5	−0,2
560	−0,7	0,0	0,4
570	−0,2	0,6	0,9
580	0,4	1,2	1,5
590	0,9	1,7	2,0
600	1,5	2,2	2,6
610	2,0	2,8	3,1
620	2,6	3,3	3,6
630	3,1	3,8	4,1
640	3,6	4,3	4,6
650	4,1	4,8	5,1
660	4,6	5,3	5,6
670	5,1	5,8	6,1
680	5,6	6,3	6,6
690	6,1	6,8	7,1
700	6,6	7,3	7,6
710	7,1	7,8	8,1
720	7,6	8,2	8,5
730	8,0	8,7	9,0
740	8,5	9,1	9,4
750	9,0	9,6	9,9
760	9,4	10,0	10,3
770	9,9	10,5	10,8

Продолжение

Давление, кПа	R502	R408A	
	Температура насыщения, °С	Температура насыщенной жидкости, °С	Температура насыщенного пара, °С
780	10,3	10,9	11,2
790	10,8	11,4	11,7
800	11,2	11,8	12,1
810	11,6	12,2	12,5
820	12,1	12,7	12,9
830	12,5	13,1	13,4
840	12,9	13,5	13,8
850	13,3	13,9	14,2
860	13,8	14,3	14,6
870	14,2	14,7	15,0
880	14,5	15,1	15,4
890	15,0	15,5	15,8
900	15,4	15,9	16,2
910	15,8	16,3	16,6
920	16,2	16,7	17,0
930	16,6	17,1	17,4
940	17,0	17,5	17,8
950	17,4	17,9	18,1
960	17,8	18,2	18,5
970	18,1	18,6	18,9
980	18,5	19,0	19,3
990	18,9	19,3	19,6
1000	19,3	19,7	20,0
1050	21,1	21,5	21,8
1100	22,9	23,2	23,5
1150	24,6	24,9	25,2
1200	26,3	26,5	26,8
1250	27,9	28,1	28,3
1300	29,4	29,6	29,9
1350	30,9	31,1	31,3
1400	32,4	32,5	32,8
1450	33,9	33,9	34,2
1500	35,3	35,3	35,5
1550	36,7	36,6	36,9
1600	38,0	37,9	38,2
1650	39,3	39,2	39,4
1700	40,6	40,4	40,7
1750	41,8	41,7	41,9
1800	43,1	42,9	43,1
1850	44,3	44,0	44,2
1900	45,5	45,2	45,4
1950	46,6	46,3	46,5
2000	47,8	47,4	47,6
2050	48,9	48,5	48,7
2100	50,0	49,5	49,7
2150	51,1	50,6	50,8
2200	52,1	51,6	51,8

Продолжение

Давление, кПа	R502	R408A	
	Температура насыщения, °С	Температура насыщенной жидкости, °С	Температура насыщенного пара, °С
2250	53,2	52,6	52,8
2300	54,2	53,6	53,8
2350	55,2	54,5	54,7
2400	56,2	55,5	55,7
2450	57,1	56,4	56,6
2500	58,1	57,4	57,6
2550	59,1	58,3	58,5
2600	60,0	59,2	59,4
2650	60,9	60,1	60,3
2700	61,8	60,9	61,1
2750	62,7	61,8	62,0
2800	63,6	62,7	62,8
2850	64,4	63,5	63,7
2900	65,3	64,3	64,5
2950	66,1	65,1	65,3
3000	66,9	65,9	66,1
3050	67,8	66,7	66,9
3100	68,6	67,5	67,7
3150	69,4	68,3	68,4
3200	70,1	69,1	69,2
3250	70,9	69,8	70,0
3300	71,7	70,6	70,7
3350	72,4	71,3	71,4
3400	73,2	72,0	72,2
3450	73,9	72,7	72,9
3500	74,6	73,4	73,6

Ожидаемое изменение эксплуатационных параметров холодильной системы после замены R502 на R402A, R402B, R408A представлено в табл. 36.

36. Ожидаемое изменение эксплуатационных показателей охлаждающей системы после замены R502 на R402A, R402B, R408A

Показатель	R402A	R402B	R408A
Изменение давления, кПа:			
нагнетания	275,8	206,8	34,5
всасывания	34,5	34,5	34,5
Изменение температуры нагнетания, °С	−2,8	2,3	11,1
Изменение перегрева на всасывании	−2,2	−2,2	−1,7

10.5. Замена R22 на R407C

Основные сведения. Ниже рассматривается порядок замены R22 в холодильной системе альтернативным хладагентом R407C. Аналогично проводят заправку холодильной системы R410 и другими альтернативными хладагентами.

Перед проведением операций по замене традиционной смеси хладагент + минеральное масло на смесь R407C + полиэфирное масло необходимо обязательно обращать внимание на химическую совместимость последней с применяемыми уплотнительными материалами (пластиками и эластомерами).

Рекомендуется перед заменой хладагента и внесением конструктивных изменений в холодильную систему по отношению к таким ее элементам, как прокладки и уплотнения, проконсультироваться с производителем оборудования.

При заправке оборудования хладагентом R407C используют мерные цилиндры. Цилиндры для R407C оборудованы жидкостным и паровым вентилями. Жидкостный вентиль смонтирован на патрубке, закрепленном в днище цилиндра таким образом, чтобы в том случае, когда цилиндр находится в вертикальном положении, хладагент из него подавался в жидкой фазе.

В действующем холодильном оборудовании хладагент R22 можно заменить на R407C с использованием обычного набора приспособлений и инструментов, используемых в практике сервисного обслуживания.

В большинстве холодильных систем достаточно при переходе от традиционного хладагента к R407C только заменить масло в компрессоре, фильтр-осушитель и, возможно, изменить температуру перегрева хладагента на всасывании (для систем с ТРВ). Перед проведением операций по замене хладагента в системах, которые находятся на гарантии, следует обратиться к производителям компрессора и другого оборудования, так как гарантия на некоторые виды холодильного оборудования, первоначально предназначенного для работы на традиционных хладагенте и масле, после их замены может утратить свою силу.

Определение рабочих параметров холодильной системы, работающей на R22. Записывают данные по работе системы на R22 (температуры и давления в конденсаторе, испарителе, перед ТРВ и т. д.). Предварительно убеждаются в том, что система правильно заправлена хладагентом, а также в том, что она работает в нормальных рабочих условиях.

Замена минерального или алкилбензольного масла на полиэфирное. Для слива масла может потребоваться демонтировать компрессор. Особенно это относится к малым герметичным компрессорам, которые не имеют отверстия для слива масла. Из таких

компрессоров масло можно слить через линию всасывания. В большинстве систем малой производительности описанным способом можно удалить 90...95 % масла. В более крупных системах для слива большей части масла может потребоваться дополнительное удаление его из других элементов холодильной системы, особенно из нижних частей, расположенных рядом с испарителем. В системах, где есть маслоотделитель, необходимо слить масло также и из него. При всех способах измеряют количество масла, удаляемого из системы. Затем сравнивают полученный результат с паспортными данными системы, чтобы убедиться в том, что большее количество масла из системы слито. Чтобы растворимость полиэфирного масла в R407C в системе была эквивалентной растворимости удаленного масла в R22, остаточное количество минерального или алкилбензольного масла не должно превышать 5 % общего количества масла в системе. В крупных системах добиться необходимого остаточного содержания минерального или алкилбензольного масла можно с использованием так называемой методики промывки.

Промывка включает следующие операции:

удаление из системы минерального или алкилбензольного масла;

подбор полиэфирного масла, вязкость которого эквивалентна вязкости удаляемого масла;

заправка в систему полиэфирного масла в количестве, равном количеству удаленного масла;

пуск системы с R22 для тщательного перемешивания полиэфирного масла с минеральным или алкилбензольным (для этого может потребоваться от 48 до 72 ч).

Вышеописанные действия повторяют еще два раза. После последней промывки R22 заменяют на R407C.

Удаление хладагента R22 из холодильной системы и его утилизация. Хладагент R22 удаляют из системы и собирают в цилиндр (баллон) для утилизации с помощью специального устройства (развиваемый вакуум 34...67 кПа).

Если необходимое количество заправленного R22 неизвестно, то необходимо взвесить баллон с удаленным хладагентом, при этом начальное количество заправляемого R407C следует определять по количеству удаленного R22.

Повторный монтаж компрессора. Если компрессор был снят, то его монтаж осуществляют по обычной методике.

Замена фильтра-осушителя. Замену проводят в соответствии с практикой замены фильтров-осушителей, принятой при сервисном обслуживании холодильных систем. В оборудовании на R22 используют два типа фильтров-осушителей: с насыпным наполнителем — адсорбентом; с внутренней кассетой, содержащей адсорбент.

Адсорбент типа XH для фильтров с насыпным наполнителем

можно применять с R407C (например, XH-11 фирмы UOP). Наполнители, которые используют в системах с R22, применять в системах с R407C, как правило, нельзя, так как они поглощают R32.

Вакуумирование холодильной системы и проверка ее на герметичность. Чтобы удалить из системы воздух и другие неконденсирующиеся газы, систему вакуумируют до остаточного давления 0,14 кПа. При проверке системы на герметичность применяют обычную методику, принятую при обслуживании холодильных систем.

Заправка системы хладагентом R407C. Заправку проводят хладагентом в жидкой фазе. Баллоны для R407C оборудованы специальным патрубком, вмонтированным в днище, который позволяет подавать из него жидкость в том случае, когда он находится в вертикальном положении. Из одноразовых баллонов (13,6 кг) также можно проводить заправку жидким хладагентом.

Если необходимо проводить заправку из паровой фазы, используют редуктор со смотровым стеклом (это нужно для того, чтобы при заправке путем подачи хладагента во всасывающий патрубок компрессора в него не попала жидкость). Хладагент R407C из баллона следует подавать только в жидкой фазе.

Обычно масса R407C в системе меньше массы R22. Оптимальное количество заправляемого хладагента зависит от многих факторов: рабочих условий, размеров испарителя и конденсатора, размера ресивера (если имеется), длины трубопроводов в системе. Для большинства систем оптимальная масса заправляемого хладагента составляет 90...95 % массы R22, рекомендованной заводом — изготовителем оборудования.

Рекомендуется вначале заправить 80 % массы хладагента, которая определяется массой R22. Первоначально систему заправляют хладагентом на линии высокого давления (компрессор выключен). После того как давления в системе и баллоне станут равны, подают оставшийся хладагент во всасывающую линию компрессора (компрессор включен). Нельзя допускать попадания жидкого хладагента во всасывающий патрубок компрессора.

Пуск и наладка системы. Пускают систему и ждут, пока режим не стабилизируется. Если система заправлена недостаточным количеством хладагента, ее дозаправляют небольшими порциями до тех пор, пока не будут достигнуты заданные параметры работы. При заправке хладагента следует пользоваться таблицей давлений и температур на линии насыщения для R407C, чтобы сравнить давление всасывания и температуру кипения при работе на R22 и на R407C. Обычно увеличение давления нагнетания по сравнению с R22 составляет 103...276 кПа; уменьшение температуры нагнетания — 0...10 °С.

Маркировка элементов системы. После проведения операций, связанных с заменой исходного хладагента на альтернативный R407C, на видном месте прикрепляют бирки с указанием того, какие хладагент и смазочное масло содержатся в системе. Это поможет правильно проводить операции по сервисному обслуживанию системы в дальнейшем.

11. Емкости для хладагентов

Хладагенты разливают в специальные емкости (баллоны, цистерны и т. д.), выполненные из стали. Однако в настоящее время ряд изготовителей поставляет свою продукцию в емкостях из алюминия. Такие емкости (баллоны) не уступают по прочности стальным, имеют меньшую массу и удобны при выполнении сервисных работ. Их применяют для фасования небольших количеств хладагента. Характеристики некоторых стальных емкостей для чистых хладагентов и нормы их заполнения приведены в табл. 37.

37. Характеристики стальных сосудов для чистых хладагентов, по данным фирмы «Primagaz»

Масса сосуда, кг	Вместимость сосуда, л	Размеры сосуда (диаметр × высота), мм	Вид хладагента	Масса хладагента, кг	Примечание
		Продаваемая тара			
0,18	1	80 × 270	R12 R22 R502	1 1 1	Использование соответствующего вентиля с выходным резьбовым штуцером 1/4″ под разбортовку
4,4	6,2	204 × 315	R12 R22 R500	7 8 6	То же
16	6,7	138,7 × 775	R13 R503	6 6	Простой вентиль с плоским фланцем на выходе
		Оборотная тара			
9	12	304 × 348	R12 R22 R500 R502	12 12 12 12	Соединение с плоским фланцем

Продолжение

Масса сосуда, кг	Вместимость сосуда, л	Размеры сосуда (диаметр × высота), мм	Вид хладагента	Масса хладагента, кг	Примечание
13	26,5	304 × 562	R12	30	
			R22	25	
			R500	25	
			R502	25	
28,5	61	34 × 1134	R12	70	Вентиль оборудован двумя выходами: для жидкости и пара
			R22	62	
			R500	57	
			R502	64	
37	88	34 × 1535	R12	100	То же
			R22	90	
			R502	95	
500	860 (цистерна)	800 × 2213	R12	989	Выход: коническая или цилиндрическая трубная резьба (1″)
			R22	886	
			R502	903	

К чистым относят хладагенты, не использовавшиеся после изготовления, и хладагенты, поступившие после регенерации. Загрязненными считают хладагенты, извлеченные из холодильной установки. Емкости, предназначенные для слива в них хладагентов, подлежащих регенерации, окрашивают зеленой флюоресцирующей краской. Емкости для неиспользованных или регенерированных хладагентов окрашивают в различные цвета в зависимости от марки хладагента.

R12	бледно-серый	R401A	кораллово-красный
R22	ярко-зеленый	R401B	светлый серо-зеленый
R134a	бледно-голубой	R401C	сине-зеленый (аквамариновый)
R142b	розовый и др.		

Для обслуживания малых холодильных установок фирма «Du Pont» поставляет фасованные в баллоны хладагенты групп ГХФУ и ГФУ.

Хладагент	R22	R401A	R134a	R402A	R404A	R407C
Масса хладагента, кг	13,5	12; 13,4	13,6	12,2	9,8	11,6

Баллоны от поставщиков хладагентов к потребителям поставляют отвакуумированными. Большинство баллонов снабжено двумя вентилями со стандартной резьбой $^1/_4$ дюйма, при этом жидкостный вентиль соединяется с погружной трубкой, доходящей до максимального уровня заполнения баллона (80 %).

Степень заполнения баллона должна соответствовать международным или национальным требованиям; ее устанавливают в зависимости от объема, занимаемого жидким хладагентом, и давления, развивающегося при данной температуре.

Емкости для хладагентов испытывают на прочность. В табл. 38 приведены минимальные значения давлений испытания баллонов для различных хладагентов, а также максимально допустимые степени заполнения.

38. Минимальные давления испытания баллонов для хранения хладагентов, а также максимально допустимые нормы заправки согласно нормам RTMD (Правила перевозки опасных грузов) и ADR (Европейское соглашение о международных правилах перевозки опасных товаров по дорогам)*

Хладагент	RTMD		ADR	
	Минимальное давление испытания, МПа	Максимально допустимая степень заполнения, кг/л	Минимальное давление испытания, МПа	Максимально допустимая степень заполнения, кг/л
R12	1,7	1,17	1,8	1,15
R12B1	1,0	1,64	1,0	1,61
R13	12,0	0,95	10,0	0,83
	25,0	1,10	25,0	1,10
R13B1	4,2	1,13	4,2	1,13
	12,0	1,50	25,0	1,60
R22	2,9	1,05	2,9	1,03
R23	6,0	0,35	19,0	0,87
	25,0	0,95	25,0	0,95
R114	1,0	1,32	1,0	1,30
R115	2,4	1,10	2,5	1,06
R124	1,2	1,20	1,2	1,20
R125	4,0	0,95	3,6	0,95
R134a	2,2	1,04	2,2	1,04
R142b	1,0	0,99	1,0	0,99
R152a	1,7	0,80	1,8	0,79
R500	2,2	1,02	2,2	1,02
R502	3,0	1,05	3,1	1,05
R503	25,0	0,90	10,0	0,66

*Извлечение из стандарта NF E29-795, ноябрь 1992.

Все сосуды (емкости) должны быть промаркированы и снабжены табличкой с указанием типа хладагента, который может в них храниться, массы незаполненного сосуда, объема (заправки по воде), давления испытания, юридического названия предприятия и иметь клеймо службы Госгортехнадзора.

Массой незаполненного сосуда считают массу собственного сосуда и закрепленных на нем принадлежностей без вентиля. При указании этой массы на маркировочной табличке перед цифрами, означающими массу, ставят букву М. Массой тары считают сумму

массы незаполненного сосуда, массы закрепленных на нем принадлежностей и вентиля, оборудованного погружной трубкой. При указании этой массы на маркировочной табличке ее значению предшествует буква Т.

В табл. 39 в качестве примера даны технические условия при продаже некоторых хладагентов, поставляемых в емкостях. Часто технические условия бывают гораздо более жесткими, чем это действительно необходимо для вполне нормальной работы холодильной установки.

39. Технические условия при продаже некоторых хладагентов (по данным фирмы «Dehon»)

Технические условия при продаже	R22	R23	R134a	R142b
Максимальная массовая доля влаги, млн$^{-1}$	10	25	10	10
Максимальная объемная доля неконденсирующихся жидкостей (в газовой фазе), %	1,5	1,5	1,5	1,5
Максимальное отклонение нормальной температуры кипения, °С	0,5	0,5	0,3	0,5
Содержание HCl		Не допускается		
Чистота, %	99,8	99	99,7	99,8

12. Технические средства для сервиса холодильных систем

Мини-зарядные станции фирмы REFCO (Швейцария). Это легкое переносное оборудование предназначено для вакуумирования и зарядки хладагентов групп ХФУ, ГХФУ и ГФУ с температурными шкалами для R12, R22 и R502 или R134a, R404A. Станция снабжена двухступенчатым вакуум-насосом, встроенным предохранительным клапаном, вспомогательным монтажным оборудованием с золотниковыми клапанами (высоковакуумноплотные), манометрами на стороне всасывания и нагнетания, электродвигателем (220...240 В, 50 Гц), зарядными цилиндрами. Вместимость зарядного цилиндра для различных вариантов станции приведена ниже.

Марка станции (хладагент)	Вместимость зарядного цилиндра, г
12505 (R12)	550
12605(R12)	1100
12505(R134a)	550
12605(R134a)	1100

Вакуумно-зарядные станции 10505, 10605, 10705 и 10805. Разработаны для вакуумирования и зарядки герметичных холодильных компрессоров, работающих на R12, R22, R502 и R134a. Их применяют прежде всего при техническом обслуживании холодильных установок. Основные преимущества этих станций — незначительная масса, высокая производительность насоса, простота в эксплуатации.

Станции (табл. 40) оснащены манометрами со стороны нагнетания и всасывания, заполненными глицерином, нагреваемым зарядным цилиндром; тремя зарядными шлангами для вакуумирования и зарядки установки без смены шлангов. Поставляют станции в комплекте с защитными очками и одной емкостью с маслом для вакуумного насоса.

40. Технические характеристики вакуумно-зарядных станций фирмы REFCO

Марка	Вместимость зарядного цилиндра, г	Хладагент	Производительность вакуумного насоса, л/мин	Давление, кПа	Размеры, мм		Масса, кг
					Высота	Длина	
С одноступенчатым вакуумным насосом RS-4							
10505-R12	550	R12, R22, R502	58	0,03	620	500	18,5
10605-R12	1100	R12, R22, R502	58	0,03	620	500	19
10705-R12	2200	R12, R22, R502	58	0,03	620	520	20,5
10805-R12	4400	R12, R22, R502	58	0,03	620	520	21,5
С двухступенчатым вакуум-насосом RD-4							
10505-RD-4-R12	550	R12, R22, R502	58	0,005	620	500	22
10605-RD-4-R12	1100	R12, R22, R502	58	0,005	620	500	22
10705-RD-4-R12	2200	R12, R22, R502	58	0,005	620	500	23
10805-RD-4-R12	4400	R12, R22, R502	58	0,005	620	500	24
10505-RD-4-R134a	550	R134a-R404A	58	0,005	620	500	22
10605-RD-4-R134a	1000	R134a-R404A	58	0,005	620	500	22
10705-RD-4-R134a	2000	R134a-R404A	58	0,005	620	500	23
10805-RD-4-R134a	4000	R134a-R404A	58	0,005	620	500	24

Станция 10805-RD-4 (рис. 15) состоит из следующих элементов, смонтированных на станине: двухступенчатого вакуумного насоса; цилиндра с поворотной шкалой; манометра со шкалой температур для R12, R22, R502; предохранительного клапана и

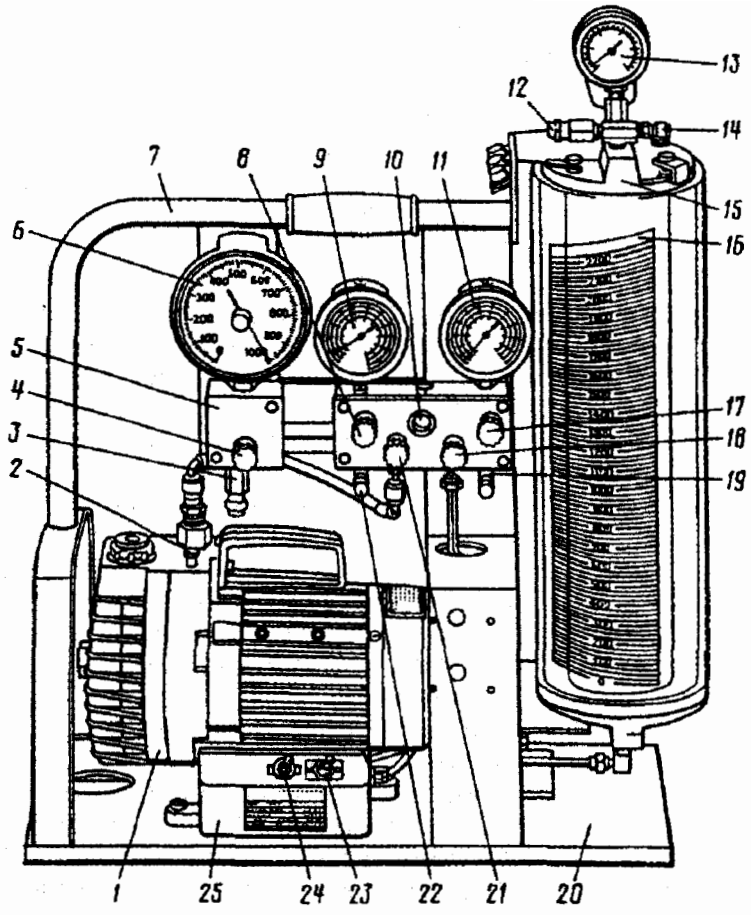


Рис. 15. Переносная станция 10805-RD-4 для вакуумирования и зарядки хладагентом холодильной системы:

1 — вакуум-насос; *2* — газобалластный вентиль; *3*, *12* — предохранительные клапаны; *4*, *8*, *17*, *18*, *21* — вентили; *5* — вакуумный блок; *6* — вакуумметр; *7* — ручка; *9* — мановакуумметр; *10* — смотровое стекло; *11*, *13* — манометры; *14* — обратный клапан; *15* — цилиндр для хладагента; *16* — шкала цилиндра; *19*, *22* — штуцера; *20* — станина; *23*, *24* — тумблеры; *25* — электрический щиток

встроенного электронагревателя; манометрического блока с манометром и мановакуумметром (имеющими шкалы температур и давлений хладагентов R12, R22, R502 в состоянии насыщения), смотрового стекла, вентилей со штуцерами для присоединения шлангов; вакуумного блока с вакуумметром, вентилем и предохранительным клапаном; щитка с электрическим конденсатором, тумблерами для включения вакуумного насоса и электронагревателя цилиндра и клеммника для присоединения станции к электросети.

Для заполнения цилиндра станции хладагентом к вентилю баллона с хладагентом подключают фильтр-осушитель, который гибким шлангом соединяют со штуцером *22*. При открытых вентилях *4, 8, 18* и *21* тумблером *24* включают вакуумный насос и вакуумируют цилиндр. По достижении остаточного давления, равного 5 Па, закрыв вентили *4* и *21*, останавливают вакуумный насос. Открыв вентиль баллона, а также вентили *8, 17* и *18* станции, заполняют цилиндр хладагентом, контролируя его уровень. Чтобы из баллона в цилиндр поступило больше жидкого хладагента, его пары выпускают через обратный клапан.

Гибкими шлангами штуцера станции соединяют со штуцерами на всасывающем и нагнетательном вентилях компрессора холодильной установки. Включив вакуумный насос станции тумблером *24* при открытых вентилях *4, 8, 18* и *17*, вакуумируют холодильную установку до остаточного давления 5 Па. Спустя 1 ч работы при этом остаточном давлении вакуумный насос выключают и выдерживают систему под вакуумом в течение 1 ч. Затем, закрыв вентили *4* и *21* и открыв газобалластный вентиль и вентили *8, 17* и *18*, вводят из цилиндра станции в холодильную установку осушенный хладагент до достижения избыточного давления 30...50 кПа, нарушая вакуум, что предотвращает реконденсацию паров воды, испарившейся при вакуумировании, и способствует их полному удалению.

Таким же образом проводят второе вакуумирование холодильной установки и вновь нарушают вакуум.

После третьего вакуумирования холодильную установку заполняют необходимым количеством хладагента из цилиндра станции. Для этого закрывают все вентили станции, кроме *8, 17* и *18*. Когда давления хладагента в холодильной установке и цилиндре станций сравняются (что будет видно по прекращению циркуляции хладагента через смотровое стекло), тумблером *23* включают электронагреватель, встроенный в цилиндр станции. В результате давление в цилиндре повышается и холодильная установка продолжает заполняться хладагентом. Количество хладагента, поступившего в холодильную установку, определяют по шкале цилиндра, которая имеет корректировочную сетку по давлению хладагента в цилиндре.

Технические характеристики станции 10805-RD-4

Производительность вакуум-насоса (по воздуху), $м^3/ч$	3,5
Достижимый вакуум, Па	5
Вместимость зарядного цилиндра, кг	4,4
Потребляемая мощность, кВт	0,3
Напряжение однофазного тока, В	220
Сила потребляемого тока, А	2,3
Габаритные размеры, мм	500 × 150 × 620

Зарядная станция 11705 фирмы REFCO. Эта зарядная станция установлена на двухколесной станине. Возможны различные исполнения в зависимости от используемого хладагента — R12 или R134a.

Учитывая, что для систем, работающих на R134a, особенно важен процесс вакуумирования, устанавливают в базовой комплектации только двухступенчатый вакуумный насос.

Комплектация различных зарядных станций данной серии приведена в табл. 41.

41. Комплектация зарядных станций 11700, 11705, 11800 и 11805

Компоненты	11700 (R12, R22, R502)	11705 (R12, R22, R502)	11705 (R134a)	11800 (R12, R22, R502)	11805 (R12, R22, R502)	11805 (R134a)
Двухступенчатый вакуумный насос RD-4		*	*		*	*
Одноступенчатый вакуумный насос RS-4	*		*			
Зарядный цилиндр 10750-10H с подогревом вместимостью 2 кг	*	*	*			
Зарядный цилиндр 10760-10H с подогревом вместимостью 4 кг				*	*	*
Четырехсторонний манометрический коллектор с маслозаполненным сильфонным манометром (диаметром 80 мм)	*	*	*	*	*	*
Вакуумметр 19801 (диаметром 100 мм)	*	*	*	*	*	*
Сервисный клапан CX-Auto $^1/_4$:						
синего цвета			*		*	
красного цвета			*		*	
Шланг CL-24-Y желтого цвета (два)	*	*	*	*	*	*
Шланг CL-36-Y желтого цвета	*	*	*	*	*	*
Шланг CL-72-B синего цвета (два)	*	*	*	*	*	*
Шланг CL-72-R красного цвета (два)	*	*	*	*	*	*
Масло DV-06 для вакуумного насоса (1 л)	*	*	*	*	*	*

Зарядная станция 10905-S-R134a фирмы REFCO. Разработана для сервисного обслуживания автомобильных кондиционеров. Для удобства станция смонтирована на трехколесной станине.

Она состоит из следующих элементов: стальной рамы; двухступенчатого вакуумного насоса RD-4; зарядного цилиндра для R134a с подогревом большой емкости вместимостью 4 кг; маслозаполненных манометров диаметром 80 мм со шкалой для R134a (предусмотрена защита от избыточного давления); вакуумметров 19801 диаметром 100 мм со встроенным предохранительным клапаном и стрелкой; сервисных клапанов CX-Auto $^1/_4$ синего и красного цветов; всех необходимых зарядных шлангов.

Станция FAST6-R12 фирмы REFCO для регенерации, вакуумирования и зарядки. Предназначена для работы с хладагентами R12, R22 и R502. Состоит из герметичного компрессора со смотровым стеклом для масла, маслоотделителя, вентилятора, манометра, реле низкого и высокого давлений, всех необходимых сервисных клапанов. Все оборудование размещено в прочном алюминиевом корпусе и готового к эксплуатации. Станция работает от сети с напряжением 220...240 В (50 Гц). Аналогичная станция FAST6-R134a предназначена для работы с хладагентом R134a.

Автоматическая станция проста в эксплуатации. Предусмотрена возможность регенерации хладагента с повторной его зарядкой в холодильную систему. Всасывание хладагента, его регенерация и вакуумирование установки происходят автоматически в указанном порядке. Об окончании первой операции свидетельствует загорание лампочки на контрольной панели. Из-за того что все операции происходят автоматически, риск попадания хладагента в атмосферу сведен к нулю. Контролировать происходящие операции механик может по встроенным манометрам на линиях всасывания и нагнетания.

Технические характеристики станции FAST6-R12

Массовый расход хладагента через компрессор, кг/ч	16
Производительность вакуумного насоса, л/мин	32
Напряжение	220...240 В (50 Гц)
Вместимость зарядного цилиндра, кг	До 4
Полезный объем маслонакопителя, см^3	750
Масса установки, кг	85
Габаритные размеры, мм:	
длина	880
ширина	500
высота	1310

Установку выпускают в двух вариантах (SECUMAT R12 и SECUMAT R134a) в зависимости от используемого хладагента.

Зарядная станция 10854 фирмы REFCO. Предназначена для сервисного обслуживания бытовых холодильников и морозильников, работающих на R600a или R134a. Станция состоит из следующих элементов: высоковакуумного насоса ROYAL-2; электронных весов с диапазоном измерений от 0 до 2000 г и с единицей измерения 1 г; стрелочного вакуумметра диаметром 100 мм; манова-

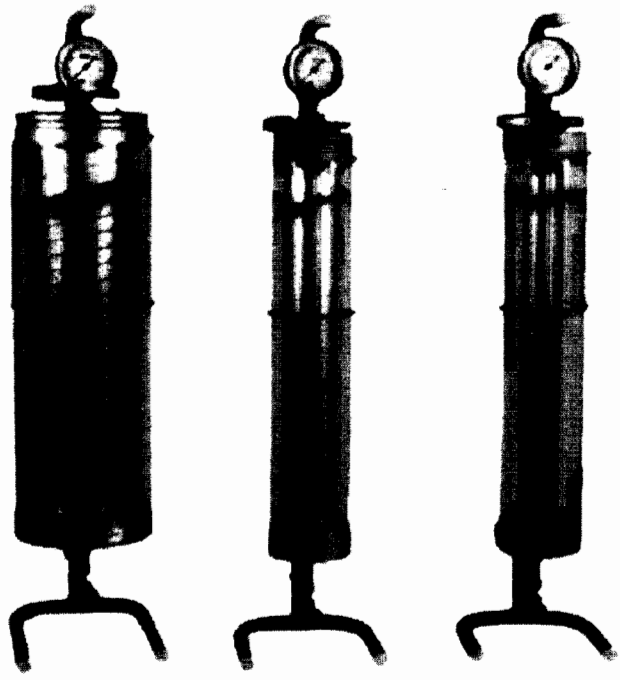


Рис. 16. Зарядные цилиндры 10760

куумметра диаметром 68 мм с температурной шкалой для R134a; зарядного клапана для R134a; полиамидного капиллярного шланга; поддерживающего устройства для заправки жидкого R600a; всех необходимых зарядных шлангов, включая один специальный шланг длиной 5 м, который согласно требованиям техники безопасности исключает попадание газообразного R600a в рабочую зону.

Зарядные цилиндры фирмы REFCO. Предназначены для работы с хладагентами групп ХФУ, ГХФУ и ГФУ. Зарядные цилиндры (рис. 16) имеют высокопрочную конструкцию, что позволяет в полевых условиях обслуживания обеспечить их безотказную работу. Существуют большие цилиндры и мини-цилиндры, причем мини-цилиндры приблизительно наполовину (по высоте) меньше, чем большие цилиндры. Обозначение зарядных цилиндров дополнительной буквой «Н» означает, что они оборудованы электрообогревателем (220...240 В, 50 Гц). Рассчитанные на R134a и R404A зарядные цилиндры по требованиям безопасности не разрешается использовать для заполнения установок хладагентами R12, R22, R502 и наоборот.

Зарядные цилиндры откалиброваны под метрическую систему мер. В табл. 42 показаны технические характеристики зарядных цилиндров.

42. Технические характеристики зарядных цилиндров

Марка	Вместимость, г	Хладагент
10440-R12	550	R12, R22, R502
10440-H-R12	550	R12, R22, R502
10440-R134a	500	R134a, R404A
10440-H-R134a	500	R134a, R404A
10445-R12	1100	R12, R22, R502
10445-H-R12	1100	R12, R22, R502
10445-R134a	1000	R134a, R404A
10445-H-R134a	1000	R134a, R404A
10550-R12	550	R12, R22, R502
10550-H-R12	550	R12, R22, R502
10550-R134a	500	R134a, R404A
10550-H-R134a	500	R134a, R404A
10650-R12	1100	R12, R22, R502
10650-H-R12	1100	R12, R22, R502
10650-R134a	1000	R134a, R404A
10650-H-R134a	1000	R134a, R404A
10750-R12	2200	R12, R22, R502
10750-H-R12	2200	R12, R22, R502
10750-R134a	2000	R134a, R404A
10750-H-R134a	2000	R134a, R404A
10760-R12	4400	R12, R22, R502
10760-H-R12	4400	R12, R22, R502
10760-R134a	4000	R134a, R404A
10760-H-R134a	4000	R134a, R404A

Зарядные шланги. Их поставляют со встроенными тефлоновыми прокладками, благодаря которым сроки их службы увеличиваются почти в 10 раз по сравнению со сроком службы обычных зарядных шлангов, комплектуемых неопреновыми прокладками.

Зарядные шланги, поставляемые по отдельности, имеют следующую длину.

Обозначение	Длина, мм
CL-6	150
CL-12	300
CL-24	600
CL-36	900
CL-48	1200
CL-60	1500
CL-72	1800
CL-120	3000
CL-144	3650

Зарядные шланги, поставляемые в комплекте (голубой, красный и желтый), имеют следующую длину.

Обозначение	Длина, мм
CCL-36	900
CCL-48	1200
CCL-60	1500
CCL-70	1800

Зарядные шланги пригодны для всех хладагентов и имеют резьбу 1/4″.

Вакуумные насосы фирмы REFCO. Высокопроизводительные легкие двухступенчатые вакуумные насосы имеют надежную лопастную конструкцию и идеально подходят для обслуживания бытовой холодильной техники и систем кондиционирования. Системы, работающие на хладагентах группы HCFC, могут быть отвакуумированы до наименьшего значения остаточного давления, равного 0,1 кПа или даже еще меньше; системы, работающие на хладагентах группы HFC, — до 0,04 кПа или меньше. Значение вакуума зависит от шкалы измерений, поэтому рекомендуется применять электронный счетчик вакуума (модель DV-150 Vacu Test).

Технические характеристики одно- и двухступенчатых насосов ROYAL-2, RS-4, RD-4...RD-8 приведены в табл. 43, параметры электродвигателя — в табл. 44.

43. Технические характеристики вакуумных насосов

Показатель	ROYAL-2	RS-4	RD-4	RD-5	RD-6	RD-8
Производительность:						
дм^3/мин	30	58	58	58	92	142
м^3/ч	1,8	3,5	3,5	3,5	6	8,5
Число ступеней	2	1	2	2	2	2
Частота вращения, мин$^{-1}$	2800	2800	2800	1450	2800	2800
Достижимый вакуум, кПа	0,005	0,03	0,005	0,02	0,005	0,005
Заправка масла, л	0,2	0,3	0,4	0,5	0,4	0,4
Масса, кг	8,2	11	12,3	17,3	12,3	19
Габаритные размеры, мм:						
высота	175	215	224	235	224	242
длина	315	293	350	400	350	383
ширина	170	158	174	155	174	174

44. Параметры электродвигателя вакуумных насосов

Модель насоса	Напряжение, В	Частота, Гц	Сила тока, А	Мощность, кВт
ROYAL-2	220/240	50/60	1	0,2
RS-4	220/240	50/60	1,9	0,2
RD-4	220/240	50/60	2,3	0,3
RD-5	220/240	50/60	1,9	0,3
RD-6	220/240	50/60	2,3	0,3
RD-8	220/240	50/60	2,3	0,5

Электронные автоматические галогенные течеискатели фирмы «TIF Instruments Inc.» (США). Приборы предназначены для обнаружения утечки хладагента в холодильных агрегатах. После включения прибора сразу же начинается поиск утечки хладагента. Рассчитанный компьютером телеметрический сигнал увеличивается как по скорости, так и по частоте, когда приближается источник утечки. Галогенные течеискатели обнаруживают утечки как индивидуальных, так и смесевых хладагентов — R11, R12, R500, R503, R22, R123, R124, R502, R134a, R404A, R152, AZ-50, R402A, R402B, R507.

В табл. 45 представлены технические характеристики галогенных электронных течеискателей, сертифицированных по SAE J1627, для хладагентов R12, R22, R134a, R507 и R404.

45. Электронные автоматические галогенные течеискатели

Характеристика	TIF5050A	TIF5450	TIF5550A	TIF5650A	TIF5750A	TIFH10A
Настройка:						
автоматическая	+		+	+	+	
ручная		+				+
Звуковой сигнал	+	+	+	+	+	+
Световая индикация				+	+	+
Кнопка перезапуска			+	+		
Встроенный насос		+	+	+	+	+
Гибкий щуп датчика утечек	+	+	+	+	+	
Витой гибкий провод		+	+	+	+	+
Чувствительность при неподвижном датчике утечки, г/год	> 7	> 7	> 7	> 7	> 3	> 14
Питание [2 батареи типа С по 1,5 В, электросеть 220 В (50 Гц)]	+	+	+	+	+	+

Электронные галогенные течеискатели комплектуют гибким щупом, а некоторые и витым гибким проводом, позволяющими подводить наконечник с чувствительным элементом к труднодоступным местам. В ручку щупа встроен механический насос, создающий направленный поток газа к чувствительному элементу, что ускоряет поиск места утечки.

У наиболее совершенных моделей TIF5650A и TIF5750A на ручке щупа расположена кнопка перезапуска, предназначенная для настройки прибора на разные уровни фона.

Течеискатель TIF5650A применяют для обнаружения хладагентов ХФУ (R11, R12, R22, R502), ГФУ (R134a, R404A, R507) и др. Помимо встроенного насоса он снабжен световым индикатором уровня утечек. Точность индикации 20 г/год.

Модель TIF5750A имеет специально разработанный режим (Super Scanner), повышающий чувствительность течеискателя в несколько (до 10) раз. Этот течеискатель оборудован устройством анализа и сканирования, позволяющим проводить быстрый и чрезвычайно чувствительный поиск утечек.

Ультразвуковые течеискатели фирмы «TIF Instruments Inc.» (США). В этой серии течеискателей применена современная электроника для улавливания ультразвука, возникающего при истечении газа (в вакуум или под воздействием давления); при этом принцип действия приборов не зависит от типа газа.

Все течеискатели оснащены гибким щупом длиной около 400 мм, имеют автономное батарейное питание (9 В) и индикатор питания. У течеискателя TIF6600 есть индикатор течи, а также ручка настройки чувствительности, у прибора TIF6500 — кнопка перезапуска для отсечки фона. Использование вместе с течеискателями TIF6500 и TIF6600 высокочастотного передатчика TIF6501 позволяет обнаружить негерметичность в холодильных камерах, резервуарах и т. д.

Технические характеристики ультразвуковых течеискателей TIF6500 и TIF6600, а также течеискателя TIF6500 с высокочастотным передатчиком TIF6501 представлены в табл. 46.

46. Ультразвуковые течеискатели

Характеристика	TIF6500	TIF6600	TIF6500/6501
Автоматический выход на рабочий выход	+		+
Ручная настройка		+	
Гибкий щуп с чувствительным элементом	+	+	+
Звуковой сигнал		+	+
Световая индикация		+	+
Высокочастотный передатчик		+	
Источник питания (батарея напряжением 9 В)	+	+	+

Электронное смотровое стекло TIF-4000A. Оно дает возможность заглянуть внутрь трубы с хладагентом при помощи ультразвука. При этом используют два датчика: один в качестве источника сигнала, а другой для его приема. Датчики выполнены в виде клемм, которые можно прикрепить к любой металлической трубе. Звуковой прерывистый сигнал прибора увеличивается по частоте при обнаружении пузырьков в жидкостной линии или капель в газовой линии. Кроме того, ряд индикаторов сигнализирует о движении пузырьков в трубе.

С помощью электронного смотрового стекла можно оптимизировать заправку холодильной системы хладагентом для ее работы с максимальной эффективностью и отказаться от установки

обычного смотрового стекла, контролировать распределение потока в многосекционных испарителях, проводить настройку терморегулирующего вентиля и т. д.

Электронный термогигрометр MIK-3000. Этот термогигрометр с цифровой индикацией имеет следующие технические характеристики.

Технические характеристики термогигрометра MIK-3000

Диапазон измерений:	
относительной влажности, %	(0...100) ± 1
температуры, °С	(–20...+80) ± 0,2
Источник питания	Батарейка* напряжением 9 В
Габаритные размеры, мм	54 × 43 × 265
Масса, г	270

*Отечественный аналог — батарейка «Корунд» или «Крона».

Прибор WM-150 для измерения температуры. Это малогабаритный прибор с цифровой индикацией. Применяют такие приборы при выполнении ремонта бытовых холодильников и морозильников. Поставляют прибор в комплекте с проводником длиной 1 м и датчиком температуры.

Технические характеристики прибора WM-150

Диапазон измерения температур, °С	–50...+150
Точность измерения, °С	±0,5
Продолжительность:	
измерения, с	12
непрерывной работы, ч	200
Напряжение встроенного элемента питания прибора, В	9
Длина соединительного провода, м	1
Габаритные размеры, мм	120 × 72 × 30
Масса, г	160

Электронный термометр ROF-80. Термометр снабжен датчиком и цифровой светодиодной индикацией, обеспечивающей простое считывание. Быстрый монтаж на панель осуществляется благодаря имеющимся защелкам.

Технические характеристики электронного термометра ROF-80

Диапазон измерений температуры, °С	От –50 до +95
Тип датчика	RTC D6
Напряжение элемента питания (батарейка), В	12
Размеры проема для монтажа, мм	57,5 × 24,5 × 52

Механический термометр 15165. Имеет капиллярную трубку с термочувствительным баллоном, а также регулировочный винт. Прибор измеряет температуру газов и жидкостей.

Технические характеристики механического термометра 15165

Диапазон измерений температуры, °С	От −40 до +40
Размеры шкалы, мм	15 × 30
Длина капиллярной трубки, м	1,5
Размеры проема для монтажа, мм	26 × 58

Термостат SP-ST. Предназначен для холодильного оборудования с диапазоном регулирования температур от −35 до +35 °С. Термостат поставляют с подключением напряжения 250 В (16 А) или 380 В (10 А).

Электронные весы и дозаторы. Ряд зарубежных фирм предлагает недорогие, настраиваемые вручную электронные весы TIF9010, TIF9015 и TIF9025 и суперсовременные программируемые дозаторы TIF9050, TIF9050A, TIF9075 и TIF9075CR (США), применяемые при заполнении хладагентом холодильного контура или баллонов. Все весы нечувствительны к неровностям поверхностей, на которую их устанавливают.

Портативные электронные весы TIF9010 Slimline, используемые при заполнении баллонов старого образца, имея толщину всего 5 см, позволяют взвешивать баллоны массой до 34 кг, что соответствует стандарту заполнения баллонов хладагентом. Цена деления шкалы весов 25 г, погрешность измерения 2 %.

Электронные весы TIF9025...TIF9075CR предназначены для измерения массы до 68 кг. Имеется возможность вдвое увеличить предельно допустимую массу.

Автоматически программируемые дозаторы точно выполняют все внесенные в программу команды, поэтому нет необходимости постоянно наблюдать за процессом заправки холодильного контура или баллонов хладагентом. Дозатор TIF9075 изготовляют с двумя раздельными входами для несовместимых хладагентов (например, R12 и R134a).

Технические характеристики электронных весов и автоматических дозаторов приведены в табл. 47.

47. Технические характеристики электронных весов и автоматических дозаторов

Характеристики	TIF9010	TIF9015	TIF9025	TIF9050	TIF9050A	TIF9075	TIF9075CR
Максимально измеряемая масса, кг	34	16,65	68	68	68	68	68
Точность взвешивания, г	25	12,5	25	25	25	25	25
Ручная дозировка	+	+	+				
Автоматическая дозировка			+	+	+	+	
Размер присоединяемых труб, дюймы	—	—	—	1/4	1/2	1/2, 1/4	1/4
Число соленоидов	—	—	—	1	1	2	2

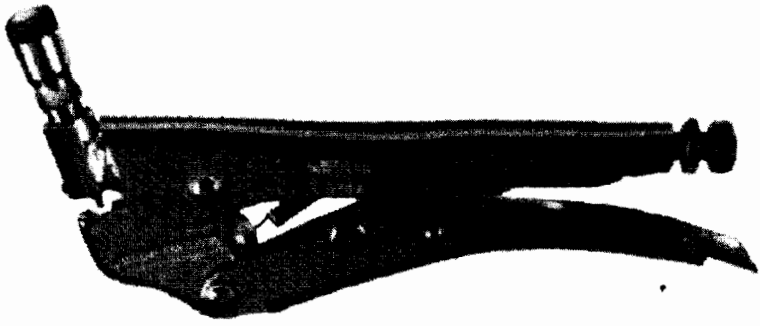


Рис. 17. Щипцы-проколка 14210 для установки штуцера с клапаном Шредера

Щипцы-проколка 14210 для установки штуцера с клапаном Шредера. Это изделие предназначено для немедленного врезания в герметичные бытовые холодильники и морозильники. Щипцы-проколка (рис. 17) изготовлены из высококачественной хромованадиевой стали с заменяемым наконечником и клапаном Шредера. Процесс использования щипцов-проколки прост: проводят врезку диаметром 6 мм у всасывающего патрубка и через зарядный шланг удаляют хладагент. После окончания процесса обслуживания с помощью щипцов отсоединяют штуцер и припаивают его к трубе.

13. Правила безопасности при работе с альтернативными хладагентами

Альтернативные хладагенты неогнеопасны и невзрывоопасны. Однако их нельзя смешивать с любыми воспламеняющимися газами или жидкостями, какими бы причинами это не было вызвано, поскольку эти смеси могут приобрести непредсказуемые свойства, стать способными к воспламенению и, следовательно, опасными.

Хладагенты нельзя подвергать воздействию открытого пламени либо электрических нагревательных элементов. Высокие температуры и пламя могут вызвать разложение хладагентов с выделением токсичных и разлагающих дымов. Помимо этого пламя горелки может резко увеличиться в размерах либо изменить окраску в присутствии многих озоноопасных хладагентов, включая R500

или R22, а также многих альтернативных хладагентов при условии их высоких концентраций. Такое увеличение пламени может вызвать испуг у персонала или даже привести к травме. Многие хладагенты ГХФУ и ГФУ могут стать горючими, если их смешать с воздухом, а затем разогреть и увеличить давление. В прошлом при работе с ХФУ обычными были испытания смесей воздуха и хладагента с возрастанием давления. Однако при работе с ГХФУ или ГФУ таких испытаний следует избегать, так как, например, R134a может воспламениться при абсолютном давлении 139 кПа и температуре 177 °С, если его смешать с воздухом в концентрациях, обычно превышающих 60 % (по объему воздуха). При более низких температурах для придания смеси горючести требуются более высокие давления. R22 также может воспламениться при давлениях, превышающих атмосферное, если смешать его с воздухом при высоких концентрациях. Поскольку альтернативные хладагенты содержат компоненты ГХФУ или ГФУ, предполагается, что их поведение окажется аналогичным. По этой причине их *не следует смешивать с воздухом ни в каких концентрациях для проведения испытаний с целью обнаружения утечек.* Нельзя допускать, чтобы эти хладагенты находились под давлением, превышающим атмосферное, в смеси с воздухом.

13.1. Воздействие хладагентов на организм человека

Тепловое разложение. Хладагенты разлагаются под воздействием высоких температур, вызванных открытым пламенем либо электрическими нагревателями. При разложении могут выделяться токсичные и раздражающие соединения, в частности хлориды водорода и фтора. Сильный запах, испускаемый разложившимся хладагентом, вызывает у обслуживающего персонала раздражение слизистой оболочки носа и горла. Выделяемые кислотные пары опасны, и во избежание их воздействия на персонал производственное помещение необходимо немедленно освободить от людей и проветрить. Человека, подвергшегося воздействию продуктов разложения хладагентов, необходимо вывести на свежий воздух и немедленно оказать ему медицинскую помощь. *Не следует продолжать работу в присутствии таких паров, поскольку это может нанести вред здоровью персонала.*

Альтернативные хладагенты не вызывают острых или хронических отравлений при работе с ними, если их концентрация не превышает рекомендуемых уровней предельно допустимого воздействия, например предела допустимого воздействия (AEL), установленного фирмой «Du Pont», либо допустимого порогового

значения (TLV), установленного Американской конференцией государственных специалистов по промышленной гигиене (ACGIH). Установлены также предел краткосрочного воздействия STEL и аварийный предел воздействия EEL.

Уровень AEL определяет средневзвешенную во времени концентрацию хладагента в воздухе, воздействию которой могут неоднократно подвергаться почти все работники без негативных эффектов в течение 8- или 12-часового рабочего дня либо 40-часовой рабочей недели. На практике краткосрочные воздействия не должны превышать более чем в три раза предел воздействия (AEL, PEL, TLV или иной индекс), установленный фирмой-изготовителем, либо 1250 ppm (частей на миллион) в зависимости от того, какой уровень окажется ниже. Многократное воздействие паров хладагентов при уровне концентраций, превышающем предельные значения, рекомендуемые фирмой-изготовителем, может нанести вред здоровью персонала, а поэтому его следует избегать. При обнаружении утечек следует немедленно провести ремонт и в дальнейшем следить за утечками из холодильного оборудования для максимального снижения концентраций хладагентов на рабочем месте.

Предел краткосрочного воздействия STEL определяет средневзвешенную во времени концентрацию, воздействующую в течение 15 мин, которую нельзя превышать в любое время в течение рабочего дня.

Аварийные пределы воздействия EEL определяют концентрации в воздухе в течение короткого времени в аварийных ситуациях, которые не должны вызывать устойчивых нарушений здоровья. Значения EEL устанавливаются фирмой «Du Pont» на период времени до 1 ч с пороговым пределом, который нельзя превышать. Эти предельные уровни следует рассматривать в качестве ориентира при планировании действий на случай аварийных ситуаций, однако они не могут заменить необходимых технических средств контроля. В отношении хладагента R123 EEL установлен на уровне 1000 млн$^{-1}$ с пороговым пределом на уровне 2500 млн$^{-1}$.

Вдыхание паров хладагента SUVA® в больших концентрациях может вызвать временное подавление деятельности центральной нервной системы, сопровождающееся сонливостью, летаргией и слабостью. К другим возможным эффектам можно отнести головокружение, приятное ощущение опьянения, а также потерю координации движений. Длительное вдыхание паров хладагента может вызвать нарушения сердцебиения, потерю сознания, а вдыхание очень больших доз может даже привести к смертельному исходу. Человека, почувствовавшего *любой* из первоначальных симптомов, необходимо немедленно вывести на свежий воздух и обеспечить ему покой и неподвижность. При остановке дыхания необходимо сделать искусственное дыхание. Если дыхание затруднено, дать кислород и немедленно вызвать врача. Такие симпто-

мы могут проявляться при воздействии самых различных концентраций, а поэтому при появлении любого из этих симптомов следует немедленно покинуть производственное помещение, даже если у других работников, находящихся рядом, эти симптомы не проявляются.

В ходе экспериментальных исследований подопытных животных подвергали воздействию парами хладагентов различных концентраций, после чего им делали инъекции адреналина для моделирования стрессовых реакций сердца человека. Нарушение сердцебиения под воздействием компонентов альтернативных хладагентов наблюдается при концентрациях от 20 до 150 млн$^{-1}$ или более, что значительно превышает ожидаемый уровень воздействия на рабочем месте. Для сравнения напомним, что подобная реакция под воздействием R11 и R12 наблюдается соответственно при концентрациях около 5 и 50 млн$^{-1}$. В связи с возможными нарушениями сердечного ритма катехоламиновые препараты, в частности адреналин, можно использовать только в качестве последнего средства в ситуациях, когда жизнь находится под реальной угрозой.

При большом выбросе хладагента пары могут сконцентрироваться у поверхности пола или на низкорасположенных участках и вытеснить имеющийся там кислород, что вызывает асфиксию. В случае, если выльется большое количество жидкого хладагента или произойдет значительная утечка, необходимо надеть соответствующие средства индивидуальной защиты. При работе в закрытых помещениях, например в подвалах, где могли скопиться пары хладагента, следует пользоваться автономными дыхательными аппаратами либо респираторами с внешней подачей воздуха. Перед входом необходимо проверить все производственные помещения на наличие кислорода с помощью соответствующего контрольного оборудования. Когда первый работник входит в помещение, второй должен оставаться снаружи, и между ними должен быть протянут спасательный леер.

Для обеспечения циркуляции воздуха на уровне пола и в любых подвальных и расположенных низко помещениях можно воспользоваться воздуходувками или вентиляцией.

Большинство хладагентов имеет такой слабый запах, что его трудно обнаружить даже при опасных концентрациях. Не следует рассчитывать на обоняние для оценки безопасности производственных помещений, предназначенных для персонала. Единственно надежными способами служат регулярные проверки на утечку и мониторинг качества воздуха.

Сознательное вдыхание паров хладагентов может привести к смерти.

Попадание на кожу и в глаза. При комнатной температуре пары хладагентов SUVA® не оказывают серьезного воздействия на кожу или глаза. Если существует опасность попадания жидких хладагентов на кожу, нужно обязательно носить защитную одежду, в

том числе с длинными рукавами, и перчатки. Среди средств индивидуальной защиты у персонала должны быть защитные очки и лицевой щиток для защиты глаз. В случае попадания в глаза жидкого хладагента их следует обильно промыть водой, а затем обратиться за медицинской помощью.

Обморожение. Попадание на кожу или в глаза жидкого хладагента SUVA® приводит к их резкому охлаждению, вызывая обморожение. Если на работника выплеснулся жидкий хладагент, необходимо немедленно снять всю одежду, на которую попал хладагент, чтобы избежать более обширного обморожения. Промыть пораженный участок теплой водой (не холодной и не горячей). Не следует накладывать повязки или использовать мази. Необходимо немедленно обратиться за медицинской помощью.

13.2. Обеспечение безопасности при работе с хладагентами и сосудами под давлением

Требования к машинному залу. В машинном зале должен быть установлен монитор качества воздуха, способный определять концентрации применяемых хладагентов до уровней EEL или STEL. Необходимо также предусмотреть соответствующие сигнальные системы, срабатывающие при достижении уровня AEL концентрации хладагентов либо при уровне ниже AEL и оповещающие персонал за пределами машинного зала о наличии утечки. Разгрузочные коллекторы предохранительных клапанов и спускные вентили должны быть выведены за пределы машинного зала и отключены от всех воздухозаборников, соединенных со зданием. В случае ухудшения качества воздуха следует воспользоваться местной вытяжкой для вентиляции производственного помещения.

Правила безопасности при работе с оборудованием в закрытых помещениях. Перед началом работы убеждаются в том, что разгрузочные коллекторы предохранительных клапанов и спускные вентили выведены за пределы помещения и отключены от всех воздухозаборников, соединенных со зданием. Проверяют, хорошо ли вентилируется помещение. При необходимости для рассеивания паров хладагентов можно воспользоваться вспомогательными вентиляционными системами (например, воздуходувками или вентиляторами). Прежде чем войти в закрытые помещения, проверяют его на наличие кислорода. *Для испытания на наличие кислорода нельзя пользоваться монитором наличия утечек,* так как с его помощью нельзя установить, достаточно ли в помещении кислорода

для жизнедеятельности. Для контроля за наличием кислорода в производственных помещениях должны быть предусмотрены специальные приборы.

Правила безопасности при работе с сосудами под давлением. К некоторым из опасных факторов, возникающих при работе с сосудами под давлением, относятся следующие:

в переполненных контейнере, емкости или трубопроводе при повышении температуры может произойти опасный подъем гидростатического давления, что, в свою очередь, может вызвать утечки под высоким давлением или даже разрыв емкости;

в случае, если правильно наполненный возвратный или разовый баллон разогревается до температуры, превышающей рекомендуемую (52 °С), это может привести к подъему давления до опасного уровня, превышающего давление, на которое рассчитан баллон;

возвратный или разовый баллон для хранения хладагентов, соединенный с линией нагнетания холодильной системы, может подвергнуться воздействию давлений, на которые не рассчитана прочность предохранительных клапанов баллона, что может вызвать разрушение баллона.

Общие меры предосторожности при обращении с хладагентами. Нельзя повышать давление в системах или емкостях, содержащих хладагенты SUVA®, воздухом для проведения испытаний на утечку или в любых иных целях. Запрещается нагревать баллоны до температур свыше 52 °С, а также размещать их рядом с источниками пламени или теплоты, бросать в огонь. Нельзя хранить баллоны под прямыми солнечными лучами, где температура может превысить 52 °С. Не следует пользоваться горелками или открытым пламенем для разогрева баллона во время работ по заправке хладагента. Нельзя без необходимости трогать клапаны или устройства сброса давления. Запрещается заполнять повторно разовые баллоны отработавшими хладагентами или смазочными материалами, а также *чем бы то ни было*. Любые остатки хладагентов необходимо использовать или перелить в сборные контейнеры; пустой баллон подлежит соответствующей утилизации. Транспортировка исходных баллонов, заполненных отработавшими хладагентами, запрещена законом.

Запрещается использовать разовые баллоны для хладагентов в качестве емкостей для сжатого воздуха. Баллоны с хладагентами не имеют соответствующего внутреннего покрытия, в связи с чем влага, содержащаяся во влажном воздухе, приведет к возникновению коррозии. Это может ослабить прочность баллона и вызвать взрыв. До разрушения баллона следов ослабления его прочности может и не обнаружиться.

Необходимо всегда хранить баллоны с хладагентами в сухом помещении. Хранение во влажных помещениях может привести к возникновению коррозии, которая со временем приведет к ослаблению прочности баллонов.

При работе с баллонами следует медленно открывать вентили. Необходимо убедиться в том, что этикетка хладагента соответствует цветовому коду либо этикеткам на оборудовании. Не следует пытаться регулировать без должной подготовки любые предохранительные устройства на баллонах, расположенных рядом с холодильным оборудованием. Нельзя ронять баллон, допускать появления вмятин и других механических повреждений. Нельзя закреплять соединения с усилием. Категорически запрещается пользоваться открытым пламенем для разогрева баллонов.

14. Современное состояние и перспективы применения альтернативных хладагентов

Проводимые правительствами многих стран мероприятия по выполнению решений Венской конвенции (1985 г.), Монреальского протокола (1987 г.) и последующих поправок к ним позволили значительно сократить производство и потребление хлорфторуглеродов (ХФУ). Так, если в 1986 г. суммарное производство фреонов в мире составляло 1,123 млн т, то в 1994 г. производство и потребление ХФУ снизились более чем на 50 %. Однако в странах Евросоюза к настоящему времени все еще используется в действующем холодильном оборудовании до 110 тыс. т ХФУ.

В России сектор холодильной промышленности включает 15 заводов по выпуску бытовых холодильных приборов и комплектующих к ним, 3 завода, производящих торгово-холодильное оборудование, и 6 заводов, изготовляющих промышленные холодильные машины и компрессоры.

Единовременная заправка ХФУ всего действующего парка холодильного оборудования, по оценкам Российского научного центра «Прикладная химия», составляет 30...35 тыс. т (1996 г.). Рассматривая проблему замены традиционных хладагентов группы ХФУ (только в странах Евросоюза требуется около 30 тыс. т), следует отметить, что фирмами-производителями в последние годы разработано значительное количество альтернативных хладагентов, эффективных в относительно узком диапазоне рабочих температур.

Существует такое количество хладагентов, что в некоторых случаях потребителю сложно выбрать требуемый хладагент для конкретных условий применения.

Для замены R12 основные мировые производители химической продукции рекомендуют R134a и альтернативные смеси C1 и

CM1, в том числе и переходные, содержащие в своем составе R22, — R401A, R401B, R401C, R409A, а также природные хладагенты R600a, R290, пропан-бутановые смеси и R717.

R134a широко используют во всем мире в качестве основной замены R12 для холодильного оборудования, работающего в среднетемпературном диапазоне. Применяют R134a в автомобильных кондиционерах, бытовых холодильниках, торговом среднетемпературном оборудовании, промышленных установках, системах кондиционирования воздуха зданий и промышленных помещений, а также на холодильном транспорте. Энергетические показатели R134a ниже, чем у R12; для работы с R134a требуются дорогостоящие синтетические масла, отличающиеся высокой гигроскопичностью, хладагент имеет высокий параметр GWP.

В последние годы производство и потребление R134a в промышленно развитых странах происходят медленнее, чем предполагалось в прогнозах, при этом одной из причин такого медленного роста считается нелегальный экспорт ХФУ. В США и странах Западной Европы он составляет 10...15 тыс. т в год. Производственные мощности по выработке R134a в промышленно развитых странах оценивали в 1997 г. в 170 тыс. т при мировом спросе 85 тыс. т. Сервисные смеси R401A, R401B, R401C, R409A группы ГХФУ рекомендуется применять для ретрофита в действующих высоко-, средне- и низкотемпературных холодильных системах. Они не смешиваются с минеральными маслами (за исключением R409A) и предназначены для работы с синтетическими маслами.

Хладагент C1 рекомендуется для использования в бытовой холодильной технике, он совместим с минеральными маслами, по термодинамическим свойствам эквивалентен R12, однако из-за пожароопасности хладагента требуется внесение конструктивных изменений в холодильные машины. Хладагент CM1 предполагается использовать в бытовом, торговом и промышленном холодильном оборудовании. Применение его не связано с необходимостью изменения конструкции холодильных машин, CM1 совместим с минеральными маслами, по термодинамическим свойствам близок к R12, негорюч.

В бытовых холодильных приборах и торговом холодильном оборудовании стран Западной Европы все шире используют так называемые «природные» хладагенты R290, R600a и смеси на их основе. В настоящее время расход углеводородов составляет около 0,07 кг на 1 кВт холодопроизводительности и прослеживается тенденция к дальнейшему его снижению. Это экологически чистые хладагенты, растворимые с минеральными маслами и по энергетическим показателям они сравнимы с R12. Вместе с тем требуется внесение изменений в конструкцию компрессора. Хладагенты пожаровзрывоопасны и поэтому требуется строго соблюдать меры предосторожности.

Для ретрофита R502 в действующих холодильных системах рекомендуется использовать холодильные смеси R402B, R402A, R404A, R507 и R408A. Термодинамические свойства R402A и R402B сходны со свойствами R502. Хладагенты растворимы с синтетическими маслами. Выбор типа холодильной смеси диктуется конкретным применением и характерными условиями эксплуатируемого холодильного оборудования.

Хладагент R404A предполагается применять для ретрофита действующего средне- и низкотемпературного оборудования, работающего на R502 и R22, а также для заправки нового холодильного оборудования. Совместим с синтетическими маслами, относится к группе ГФУ. Перспективен для применения в области низких температур на судовом рефрижераторном транспорте.

Хладагент R507 разработан для ретрофита низкотемпературных холодильных систем, работающих на R502, по своим характеристикам близок к R502, растворим в синтетических маслах, относится к группе ГФУ.

Применение хладагента R22, хорошо зарекомендовавшего себя в системах кондиционирования воздуха, торговых и транспортных холодильных установках, а также в воздухоохладительных системах и тепловых насосах, не отвечает долгосрочным перспективам развития холодильной техники в связи с решением Монреальского протокола. Кроме того, по энергетическим показателям R22 уступает R12 в среднетемпературных холодильных установках, поэтому не отвечает мировым тенденциям повышения энергетической эффективности оборудования и положениям Конвенции (г. Киото, 1997) по ограничению выбросов парниковых газов.

В настоящее время производство R22 находится в состоянии значительного превышения предложения над спросом. В частности, мощности по производству R22 в Западной Европе оцениваются в 150 тыс. т в год, а потребление — в 100 тыс. т в год. В будущем будет прослеживаться тенденция к сокращению его производства. Для замены R22 рекомендуются хладагенты R404A, R407C, R410A, R407A, R290 и R717.

Хладагент R410A служит для замены R22 в новых системах кондиционирования воздуха высокого давления, при этом требуется внесение конструктивных изменений в компрессор и теплообменники. Растворим в синтетических маслах. В перспективе R410A может служить альтернативным хладагентом для замены R22, поскольку имеет высокую удельную объемную холодопроизводительность и низкую критическую температуру.

Хладагент R407C по энергетической эффективности близок к R22 и рассматривается как оптимальная альтернатива R22. В настоящее время его широко используют в системах кондиционирования воздуха. Не требуется вносить значительных изменений в холодильную систему.

При эксплуатации зеотропных смесей появился ряд проблем. Это наличие «температурного глайда», изменение состава смеси в случае утечки одного из компонентов, несмешиваемость ряда хладагентов с минеральными маслами, парожидкостное разделение зеотропных смесей в каждом элементе системы: компрессоре, теплообменных аппаратах, конденсаторе и испарителе; различная растворимость компонентов смеси в холодильном масле.

В настоящее время 70 % холодильных установок для овоще- и фруктохранилищ работают на R717, 60 % — в мясной промышленности, 50 % — в кондитерском производстве; 80 % — в производстве пива и напитков.

Наблюдается возврат к применению R717 в судовом рефрижераторном транспорте, важнейшем звене холодильной цепи. Объем морских перевозок к 2005 г. должен составить 64 млн т. Возрастает объем транспортировки грузов в охлаждаемых контейнерах, работающих на R134a и R404A, доля которых составляет 42 % общей массы используемых контейнеров.

Перспективно применение жидкого и газообразного азота в прямоточных охлаждающих системах.

Уровень потребления энергии холодильной системой — один из важнейших параметров, определяющих ее воздействие на степень глобального потепления. В настоящее время наблюдается тенденция согласования энергетической эффективности холодильного оборудования с полным эквивалентом глобального потепления — TEWI, предложенным Международным институтом холода.

В настоящее время в создании холодильных систем из-за опасности изменения климата начинают преобладать следующие тенденции:

преимущественное применение хладагентов с низким потенциалом глобального потепления. К ним относятся углеводороды, аммиак, азот и диоксид углерода;

совершенствование технологических процедур сервисного обслуживания холодильных систем;

снижение выбросов хладагентов из холодильных систем;

уменьшение количества хладагента, заправляемого в систему;

повышение требований к качеству сборки холодильных машин и аппаратуры;

совершенствование действующих холодильных машин в целях повышения их энергетической эффективности и разработка новых холодильных машин.

Приложения

Приложение 1

Характеристики хладагента R12 на линии насыщения

Температура, °С	Абсолютное давление, 10^5 Па	Удельный объем, м³/кг		Плотность, кг/м³		Удельная энтальпия, кДж/кг		Удельная теплота парообразования, кДж/кг	Удельная энтропия, кДж/(кг·К)	
		жидкости	пара	жидкости	пара	жидкости	пара		жидкости	пара
−50	0,391	0,648	383,537	1543,674	2,607	155,1	328,9	173,8	0,819	1,598
−45	0,504	0,654	303,012	1530,123	3,3	159,5	331,2	171,7	0,839	1,591
−40	0,641	0,659	242,164	1516,354	4,129	163,9	333,6	169,7	0,858	1,585
−35	0,806	0,666	195,596	1502,358	5,113	168,3	335,9	167,5	0,877	1,580
−30	1,003	0,672	159,532	1488,122	6,268	172,8	338,2	165,4	0,895	1,575
−25	1,236	0,679	131,291	1473,635	7,617	177,2	340,5	163,2	0,913	1,571
−20	1,508	0,685	108,949	1458,881	9,179	181,7	342,7	161,0	0,931	1,567
−15	1,825	0,693	91,101	1443,845	10,977	186,3	345,0	158,7	0,949	1,563
−10	2,190	0,7	76,714	1428,511	13,035	190,8	347,2	156,4	0,966	1,560
−5	2,608	0,708	65,019	1412,858	15,38	195,4	349,4	154,0	0,983	1,557
0	3,084	0,716	55,436	1396,867	18,039	200,0	351,5	151,5	1,000	1,555
5	3,624	0,724	47,525	1380,513	21,042	204,6	353,7	149,0	1,017	1,552
10	4,231	0,733	40,947	1363,77	24,422	209,3	355,8	146,4	1,033	1,550
15	4,911	0,743	35,442	1346,608	28,215	214,1	357,8	143,7	1,050	1,548
20	5,670	0,752	30,804	1328,992	32,463	218,8	359,8	141,0	1,066	1,547
25	6,513	0,763	26,875	1310,884	37,209	223,7	361,8	138,1	1,082	1,545
30	7,446	0,774	23,526	1292,238	42,506	228,6	363,6	135,1	1,098	1,544
35	8,474	0,786	20,656	1273,001	48,411	233,5	365,5	132,0	1,114	1,542
40	9,603	0,798	18,184	1253,113	54,993	238,6	367,2	128,7	1,130	1,541
45	10,839	0,811	16,044	1232,499	62,331	243,7	368,9	125,2	1,146	1,539
50	12,189	0,826	14,181	1211,072	70,519	248,9	370,5	121,6	1,162	1,538

Характеристики хладагента R11 на линии насыщения

Температура, °С	Абсолютное давление, 10^5 Па	Удельный объем, м³/кг		Плотность, кг/м³		Удельная энтальпия, кДж/кг		Удельная теплота парообразования, кДж/кг	Удельная энтропия, кДж/(кг·К)	
		жидкости	пара	жидкости	пара	жидкости	пара		жидкости	пара
–50	0,027	0,608	5044,685	1643,686	0,198	157,3	363,6	206,3	0,827	1,752
–45	0,037	0,612	3688,446	1633,082	0,271	161,5	366,1	204,5	0,846	1,743
–40	0,051	0,616	2740,828	1622,411	0,365	165,8	368,6	202,8	0,865	1,734
–35	0,069	0,62	2067,394	1611,672	0,484	170,0	371,1	201,0	0,883	1,727
–30	0,092	0,625	1581,239	1600,86	0,632	174,3	373,6	199,3	0,900	1,720
–25	0,122	0,629	1225,105	1589,972	0,816	178,6	376,1	197,6	0,918	1,714
–20	0,158	0,633	960,628	1579,005	1,041	182,8	378,7	195,8	0,935	1,708
–15	0,203	0,638	761,963	1567,955	1,313	187,1	381,2	194,1	0,952	1,703
–10	0,257	0,642	610,258	1556,818	1,639	191,4	383,7	192,4	0,968	1,699
–5	0,323	0,647	493,683	1545,589	2,026	195,7	386,3	190,6	0,984	1,695
0	0,402	0,652	402,955	1534,264	2,481	200,0	388,9	188,9	1,000	1,691
5	0,495	0,675	331,745	1522,837	3,014	204,3	391,4	187,1	1,016	1,688
10	0,606	0,662	275,246	1511,304	3,633	208,6	393,9	185,3	1,031	1,685
15	0,734	0,667	230,052	1499,659	4,347	213,0	396,5	183,5	1,046	1,683
20	0,884	0,672	193,601	1487,896	5,165	217,3	399,0	181,7	1,061	1,681
25	1,056	0,678	163,973	1476,008	6,099	221,7	401,5	179,8	1,076	1,679
30	1,254	0,683	139,714	1463,989	7,157	226,1	404,0	177,9	1,090	1,677
35	1,479	0,689	119,714	1451,829	8,353	230,5	406,5	176,0	1,105	1,676
40	1,735	0,695	103,116	1439,522	9,698	234,9	409,0	174,1	1,119	1,675
45	2,023	0,701	89,256	1427,058	11,204	239,3	411,5	172,1	1,133	1,674
50	2,347	0,707	77,614	1414,427	12,884	243,8	413,9	170,1	1,147	1,673

Характеристики хладагента R502 на линии насыщения

Температура, °С	Абсолютное давление, 10^5 Па	Удельный объем, м³/кг		Плотность, кг/м³		Удельная энтальпия, кДж/кг		Удельная теплота парообразования, кДж/кг	Удельная энтропия, кДж/(кг·К)	
		жидкости	пара	жидкости	пара	жидкости	пара		жидкости	пара
–50	0,814	0,668	197,337	1496,061	5,067	148,1	322,5	174,5	0,792	1,574
–45	1,033	0,676	157,973	1480,146	6,33	152,7	325,1	172,4	0,813	1,568
–40	1,296	0,683	127,734	1463,98	7,829	157,5	327,6	170,1	0,833	1,563
–35	1,610	0,691	104,243	1447,542	9,593	162,4	330,2	167,7	0,854	1,559
–30	1,979	0,699	85,801	1430,811	11,655	167,5	332,7	165,2	0,875	1,554
–25	2,410	0,707	71,181	1413,759	14,049	172,6	335,1	162,5	0,896	1,551
–20	2,910	0,716	59,483	1396,359	16,811	177,9	337,5	159,7	0,917	1,547
–15	3,486	0,725	50,041	1378,577	19,983	183,2	339,9	156,7	0,938	1,544
–10	4,143	0,735	42,358	1360,376	23,608	188,7	342,2	153,5	0,958	1,542
–5	4,889	0,745	36,057	1341,712	27,734	194,3	344,5	150,2	0,979	1,539
0	5,731	0,756	30,851	1322,537	32,414	200,0	346,7	146,7	1,000	1,537
5	6,676	0,768	26,519	1302,793	37,708	205,8	348,8	143,0	1,021	1,535
10	7,730	0,78	22,892	1282,412	43,684	211,7	350,9	139,2	1,041	1,533
15	8,092	0,793	19,834	1261,312	50,419	217,6	352,8	135,2	1,062	1,531
20	10,197	0,807	17,24	1239,398	58,005	223,7	354,7	131,0	1,082	1,529
25	11,623	0,822	15,026	1216,55	66,551	229,9	356,5	126,6	1,103	1,528
30	13,189	0,838	13,125	1192,624	76,188	236,1	358,1	122,0	1,123	1,526
35	14,901	0,857	11,483	1167,435	87,083	242,4	359,6	117,2	1,143	1,524
40	16,770	0,877	10,056	1140,756	99,445	248,8	360,9	112,1	1,164	1,521
45	18,803	0,899	8,806	1112,243	113,553	255,4	362,0	106,6	1,184	1,519
50	21,013	0,925	7,705	1081,495	129,785	262,0	362,9	100,9	1,204	1,516

Характеристики хладагента R22 на линии насыщения

Температура, °С	Давление, 10^5 Па		Удельный объем		Плотность		Удельная энтальпия, кДж/кг		Удельная теплота парообразования, кДж/кг	Удельная энтропия, кДж/(кг·К)	
	абсолютное	манометрическое	жидкости, $дм^3/кг$	пара, $м^3/кг$	жидкости, $кг/дм^3$	пара, $кг/м^3$	жидкости	пара		жидкости	пара
−100	0,020	−0,993	0,636	8,008	1,570	0,124	95,87	359,35	263,48	0,5310	2,0526
−90	0,048	−0,965	0,647	3,581	1,545	0,279	105,32	364,23	258,91	0,5840	1,9976
−80	0,104	−0,909	0,658	1,763	1,519	0,567	114,90	369,15	254,25	0,6349	1,9512
−70	0,205	−0,808	0,669	0,9409	1,493	1,062	124,66	374,08	249,42	0,6841	1,9118
−60	0,374	−0,639	0,682	0,5372	1,466	1,861	134,63	378,98	244,35	0,7320	1,8783
−50	0,643	−0,370	0,695	0,3246	1,438	3,080	144,85	383,81	238,96	0,7788	1,8496
−41	1,002	−0,011	0,707	0,2149	1,412	4,653	154,27	388,05	233,78	0,8200	1,8270
−40	1,049	+0,036	0,709	0,2057	1,409	4,861	155,32	388,52	233,20	0,8245	1,8247
−30	1,635	+0,622	0,724	0,1358	1,380	7,363	166,07	393,07	227,00	0,8695	1,8030
−20	2,448	+1,435	0,740	0,09284	1,349	10,771	177,10	397,42	220,32	0,9137	1,7840
−10	3,543	+2,530	0,758	0,06534	1,317	15,304	188,40	401,53	213,13	0,9572	1,7670
0	4,976	+3,963	0,778	0,04714	1,284	21,213	200,00	405,36	205,36	1,0000	1,7518
10	6,807	+5,794	0,800	0,03471	1,250	28,810	211,90	408,86	196,96	1,0423	1,7378
20	9,099	+8,086	0,824	0,02600	1,213	38,461	224,14	411,97	187,83	1,0841	1,7248
30	11,92	+10,90	0,851	0,01974	1,173	50,658	236,75	414,62	177,87	1,1256	1,7123
40	15,34	+14,32	0,883	0,01514	1,131	66,050	249,81	416,69	166,88	1,1670	1,6999
50	19,42	+18,40	0,921	0,01167	1,084	85,689	263,43	418,01	154,58	1,2087	1,6870
60	24,27	+23,25	0,968	0,009001	1,032	111,098	277,81	418,30	140,49	1,2511	1,6728
70	29,96	+28,94	1,030	0,006889	0,970	145,158	293,30	417,07	123,77	1,2952	1,6559
80	36,62	+35,60	1,118	0,005149	0,894	194,212	310,74	413,22	102,48	1,3432	1,6334
90	44,43	43,41	1,282	0,003564	0,780	280,583	332,99	403,03	70,04	1,4027	1,5956

Характеристики хладагента R123 на линии насыщения

Температура, °С	Абсолютное давление, 10^5 Па	Удельный объем, м³/кг		Плотность, кг/м³		Удельная энтальпия, кДж/кг		Удельная теплота парообразования, кДж/кг	Удельная энтропия, кДж/(кг · К)	
		жидкости	пара	жидкости	пара	жидкости	пара		жидкости	пара
−50	0,018	0,611	6922,341	1637,376	0,144	147,8	352,1	204,4	0,788	1,704
−45	0,025	0,615	4900,313	1616,388	0,204	153,5	355,0	201,5	0,814	1,697
−40	0,036	0,619	3537,943	1615,321	0,283	159,0	357,9	198,9	0,838	1,690
−35	0,050	0,623	2600,723	1604,172	0,385	164,4	360,8	196,4	0,861	1,685
−30	0,068	0,628	1943,531	1592,939	0,515	169,7	363,7	194,0	0,883	1,680
−25	0,091	0,632	1474,517	1581,616	0,678	174,9	366,7	191,8	0,904	1,676
−20	0,121	0,637	1134,319	1570,2	0,882	180,0	369,7	189,6	0,924	1,673
−15	0,158	0,642	883,829	1558,685	1,131	185,1	372,7	187,6	0,944	1,671
−10	0,203	0,646	696,812	1547,068	1,435	190,1	375,7	185,6	0,963	1,668
−5	0,259	0,651	555,373	1535,343	1,801	195,1	378,8	183,7	0,982	1,667
0	0,327	0,656	447,118	1523,503	2,237	200,0	381,8	181,8	1,000	1,666
5	0,409	0,662	363,333	1511,544	2,752	204,9	384,9	180,0	1,018	1,665
10	0,506	0,667	297,81	1499,459	3,358	209,9	388,0	178,1	1,035	1,665
15	0,622	0,672	246,07	1487,24	4,064	214,8	391,1	176,3	1,053	1,665
20	0,757	0,678	204,841	1474,88	4,882	219,8	394,2	174,5	1,070	1,665
25	0,914	0,684	171,708	1462,371	5,824	224,7	397,3	172,6	1,087	1,665
30	1,096	0,69	144,868	1449,703	6,903	229,8	400,4	170,7	1,103	1,666
35	1,305	0,696	122,963	1436,867	8,133	234,8	403,5	168,7	1,120	1,667
40	1,545	0,702	104,958	1423,852	9,528	239,9	406,6	166,7	1,136	1,668
45	1,817	0,709	90,061	1410,645	11,104	245,1	409,7	164,7	1,152	1,670
50	2,125	0,716	877,657	1397,235	12,877	250,3	412,8	162,5	1,168	1,671

Характеристики хладагента R717 на линии насыщения

Температура, °С	Давление, 10^5 Па		Удельный объем		Плотность		Удельная энтальпия, кДж/кг		Удельная теплота парообразования, кДж/кг	Удельная энтропия, кДж/(кг · К)	
	абсолютное	манометрическое	жидкости, $дм^3/кг$	пара, $м^3/кг$	жидкости, $кг/дм^3$	пара, $кг/м^3$	жидкости	пара		жидкости	пара
−50	0,408	−0,605	1,424	2,625	0,702	0,380	276,58	1691,37	1313,79	1,0995	7,4396
−40	0,717	−0,296	1,449	1,551	0,690	0,664	320,55	1707,56	1387,01	1,2921	7,2410
−34	0,979	−0,034	1,465	1,159	0,682	0,862	347,11	1716,78	1369,67	1,4044	7,1316
−33	1,030	+0,017	1,467	1,105	0,681	0,904	351,54	1718,28	1366,74	1,4228	7,1140
−30	1,195	+0,182	1,475	0,9625	0,677	1,038	364,88	1722,70	1357,82	1,4779	7,0622
−20	1,901	+0,888	1,504	0,6228	0,664	1,605	409,56	1739,69	1327,13	16576	6,9001
−10	2,908	+1,895	1,534	0,4177	0,651	2,394	454,60	1749,40	1294,80	1,8315	6,7519
0	4,294	+3,281	1,566	0,2890	0,638	3,460	500,00	1760,71	1260,71	2,0000	6,6154
10	6,150	+5,137	1,601	0,2053	0,624	4,870	545,79	1770,50	1224,71	2,1636	6,4889
20	8,574	+7,561	1,639	0,1493	0,610	6,697	592,01	1778,65	1186,64	2,3226	6,3705
30	11,67	+10,65	1,680	0,1107	0,595	9,033	638,77	1785,01	1146,24	2,4778	6,2589
40	15,55	+14,53	1,726	0,08345	0,579	11,983	686,21	1789,40	1103,19	2,6296	6,1525
50	20,33	+19,31	1,777	0,06378	0,562	15,678	734,56	1791,58	1057,02	2,7789	6,0499
60	26,14	+25,12	1,834	0,04929	0,545	20,288	784,13	1791,22	1007,09	2,9268	5,9497
70	33,12	+32,10	1,900	0,03841	0,526	26,034	835,38	1787,87	952,49	3,0745	5,8502
80	41,40	+40,38	1,973	0,03009	0,506	33,233	888,96	1780,84	891,88	3,2238	5,7493
90	51,14	+50,12	2,071	0,02359	0,482	42,390	945,89	1769,08	823,19	3,3772	5,6440
100	62,5	+61,50	2,183	0,01842	0,458	54,288	1007,80	1750,79	742,99	3,5388	5,5299
110	75,75	+74,73	2,349	0,01418	0,425	70,521	1077,76	1722,47	644,71	3,7158	5,3984
120	91,07	+90,05	2,594	0,01050	0,385	95,238	1163,06	1675,37	512,31	3,9257	5,2288
130	108,88	+107,86	3,185	0,006589	0,313	151,768	1298,69	1563,51	264,82	3,2532	4,9101

Характеристики хладагента R125 на линии насыщения

Температура, °С	Абсолютное давление, 10^5 Па	Удельный объем, м³/кг		Плотность, кг/м³		Удельная энтальпия, кДж/кг		Удельная теплота парообразования, кДж/кг	Удельная энтропия, кДж/(кг · К)	
		жидкости	пара	жидкости	пара	жидкости	пара		жидкости	пара
–50	0,918	0,66	162,991	1515,49	6,135	134,1	305,3	171,1	0,735	1,502
–45	1,179	0,669	128,866	1495,109	7,76	140,9	308,3	167,4	0,765	1,499
–40	1,492	0,678	103,163	1475,104	9,693	147,6	311,3	163,6	0,794	1,496
–35	1,866	0,687	83,519	1455,372	11,973	154,3	314,2	159,9	0,822	1,494
–30	2,305	0,696	68,301	1435,803	14,641	160,9	317,2	156,3	0,850	1,492
–25	2,819	0,706	56,365	1416,28	17,742	167,5	320,1	152,6	0,876	1,491
–20	3,413	0,716	46,893	1396,675	21,325	174,1	323,0	148,9	0,902	1,490
–15	4,095	0,726	39,296	1376,851	25,448	180,6	325,8	145,2	0,928	1,490
–10	4,874	0,737	33,141	1356,66	30,174	187,1	328,5	141,5	0,952	1,490
–5	5,757	0,749	28,108	1335,94	35,577	193,5	331,2	137,7	0,976	1,490
0	6,753	0,761	23,955	1314,512	41,745	200,0	333,8	133,8	1,000	1,490
5	7,873	0,774	20,501	1292,178	48,778	206,5	336,4	129,9	1,023	1,490
10	9,124	0,788	17,605	1268,718	56,803	212,9	338,8	125,8	1,046	1,490
15	10,518	0,804	15,158	1243,883	65,97	219,5	341,0	121,6	1,068	1,490
20	12,067	0,821	13,077	1217,387	76,47	226,1	343,1	117,1	1,091	1,490
25	13,781	0,841	11,294	1188,896	88,546	232,8	345,1	112,3	1,113	1,489
30	15,675	0,864	9,754	1158,014	102,517	239,6	346,8	107,2	1,135	1,488
35	17,762	0,889	8,416	1124,249	118,817	246,6	348,2	101,5	1,157	1,487
40	20,058	0,92	7,243	1086,968	138,06	253,9	349,2	95,3	1,180	1,485
45	22,580	0,957	6,205	1045,299	161,164	261,6	349,8	88,2	1,204	1,481
50	25,346	1,002	5,274	997,911	189,627	269,8	349,7	79,9	1,228	1,476

Характеристики хладагента R134a на линии насыщения

Температура, °С	Абсолютное давление, 10^5 Па	Удельный объем, $м^3/кг$		Плотность, $кг/м^3$		Удельная энтальпия, кДж/кг		Удельная теплота парообразования, кДж/кг	Удельная энтропия, кДж/(кг · К)	
		жидкости	пара	жидкости	пара	жидкости	пара		жидкости	пара
−50	0,295	0,693	604,615	1442,547	1,654	136,0	367,3	231,3	0,742	1,779
−45	0,391	0,7	463,457	1428,411	2,158	142,3	370,5	228,2	0,770	1,770
−40	0,512	0,707	360,036	1414,175	2,777	148,5	373,6	225,0	0,797	1,762
−35	0,661	0,714	283,15	1399,816	3,532	154,9	376,7	221,8	0,824	1,755
−30	0,844	0,722	225,21	1385,306	4,44	161,2	379,7	218,5	0,850	1,749
−25	1,064	0,73	180,995	1370,619	5,525	167,6	382,8	215,2	0,876	1,743
−20	1,327	0,738	146,855	1355,725	6,809	174,0	385,8	211,8	0,901	1,738
−15	1,638	0,746	120,204	1340,593	8,319	180,4	388,8	208,4	0,927	1,734
−10	2,004	0,755	99,186	1325,19	10,082	186,9	391,7	204,8	0,951	1,730
−5	2,431	0,764	82,45	1309,479	12,129	193,4	394,6	201,2	0,976	1,726
0	2,925	0,773	69,005	1293,424	14,492	200,0	397,4	197,4	1,000	1,723
5	3,492	0,783	58,111	1276,98	17,209	206,6	400,2	193,6	1,024	1,720
10	4,141	0,794	49,214	1260,104	20,32	213,3	403,0	189,6	1,048	1,717
15	4,878	0,805	41,893	1242,744	23,87	220,1	405,6	185,5	1,071	1,715
20	5,710	0,816	35,827	1224,845	27,912	227,0	408,2	181,3	1,095	1,713
25	6,647	0,829	30,766	1206,345	32,503	233,9	410,8	176,8	1,118	1,711
30	7,695	0,842	26,517	1187,173	37,712	241,0	413,2	172,2	1,141	1,709
35	8,863	0,857	22,927	1167,25	43,617	248,1	415,6	167,4	1,164	1,707
40	10,159	0,872	19,876	1146,481	50,313	255,4	417,8	162,4	1,187	1,706
45	11,594	0,889	17,268	1124,757	57,911	262,9	419,9	157,0	1,210	1,704
50	13,176	0,907	15,026	1101,943	66,551	270,5	421,9	151,3	1,234	1,702

Характеристики хладагента R32 на линии насыщения

Температура, °С	Абсолютное давление, 10^5 Па	Удельный объем, м³/кг		Плотность, кг/м³		Удельная энтальпия, кДж/кг		Удельная теплота парообразования, кДж/кг	Удельная энтропия, кДж/(кг · К)	
		жидкости	пара	жидкости	пара	жидкости	пара		жидкости	пара
−50	1,106	0,83	309,464	1204,19	3,231	119,0	498,8	379,7	0,676	2,378
−45	1,410	0,84	246,212	1190,701	4,062	126,8	501,3	374,5	0,710	2,352
−40	1,777	0,85	197,909	1176,941	5,053	134,5	503,7	369,2	0,7743	2,327
−35	2,217	0,86	160,578	1162,895	6,228	142,3	506,0	363,7	0,776	2,303
−30	2,737	0,871	131,405	1148,541	7,61	150,1	508,1	358,0	0,809	2,281
−25	3,348	0,882	108,373	1133,86	9,227	158,0	510,1	352,0	0,841	2,259
−20	4,060	0,894	90,016	1118,825	11,109	166,1	511,9	345,8	0,873	2,238
−15	4,884	0,906	75,255	1103,41	13,288	174,3	513,5	339,2	0,905	2,218
−10	5,831	0,919	63,288	1087,582	15,801	182,7	514,9	332,2	0,936	2,199
−5	6,912	0,933	53,509	1071,303	18,688	191,3	516,2	324,9	0,968	2,180
0	8,139	0,948	45,46	1054,531	21,997	200,0	517,2	317,2	1,000	2,161
5	9,525	0,964	38,789	1037,215	25,781	208,9	518,0	309,1	1,032	2,143
10	11,081	0,981	33,221	1019,295	30,101	218,0	518,5	300,5	1,064	2,125
15	12,821	0,999	28,546	1000,698	35,032	227,2	518,7	291,5	1,095	2,107
20	14,759	1,019	24,594	981,336	40,66	236,6	518,7	282,1	1,127	2,089
25	16,908	1,04	21,234	961,099	47,094	246,2	518,2	272,1	1,159	2,071
30	19,283	1,064	18,359	939,85	54,468	255,9	517,4	261,5	1,190	2,053
35	21,902	1,09	15,884	917,441	62,955	265,8	516,2	250,3	1,222	2,034
40	24,781	1,119	13,74	893,546	72,782	275,9	514,3	238,4	1,253	2,014
45	27,941	1,152	11,868	867,934	84,257	286,4	511,9	225,5	1,285	1,994
50	31,403	1,19	10,223	840,116	97,817	297,2	508,6	211,4	1,317	1,972

Характеристики хладагента R409A на линии насыщения

Температура, °С	Давление, 10^5 Па		Плотность, кг/м³		Удельная энтальпия, кДж/кг		Удельная теплота парообразования, кДж/кг	Удельная энтропия, кДж/(кг · К)	
	жидкости	пара	жидкости	пара	жидкости	пара		жидкости	пара
−50	0,470	0,343	1443,028	1,823	147,2	370,2	223,0	0,788	1,803
−45	0,611	0,445	1429,394	2,319	152,2	373,0	220,8	0,810	1,794
−40	0,783	0,570	1415,617	2,917	157,2	375,8	218,6	0,832	1,785
−35	0,990	0,722	1401,685	3,63	162,3	378,6	216,3	0,854	1,778
−30	1,237	0,905	1387,587	4,475	167,5	381,4	213,9	0,875	1,770
−25	1,528	1,123	1373,308	5,467	172,7	384,2	211,5	0,896	1,764
−20	1,869	1,380	1358,831	6,626	178,0	387,0	209,0	0,917	1,758
−15	2,263	1,683	1344,14	7,97	183,4	389,8	206,4	0,938	1,753
−10	2,716	2,036	1329,215	9,521	188,8	392,5	203,7	0,959	1,748
−5	3,233	2,444	1314,034	11,302	194,4	395,3	200,9	0,979	1,743
0	3,820	2,915	1298,572	13,341	200,0	397,9	197,9	1,000	1,739
5	4,481	3,454	1282,802	15,666	205,7	400,6	194,9	1,021	1,735
10	5,222	4,069	1266,693	18,31	211,5	403,2	191,6	1,041	1,731
15	6,050	4,767	1250,209	21,308	217,5	405,7	188,3	1,062	1,728
20	6,969	5,556	1233,309	24,703	223,5	408,2	184,7	1,082	1,724
25	7,986	6,444	1215,944	28,542	229,7	410,6	180,9	1,103	1,721
30	9,108	7,441	1198,06	32,88	236,0	412,9	176,9	1,123	1,718
35	10,341	8,557	1179,591	37,781	242,5	415,1	172,7	1,144	1,715
40	11,693	9,801	1160,459	43,321	249,1	417,2	168,1	1,165	1,712
45	13,171	11,186	1140,57	49,588	255,9	419,2	163,3	1,186	1,709
50	14,784	12,723	1119,81	56,693	262,9	421,0	158,1	1,207	1,705

Характеристики хладагента R124 на линии насыщения

Температура, °С	Абсолютное давление, 10^5 Па	Удельный объем, м³/кг		Плотность, кг/м³		Удельная энтальпия, кДж/кг		Удельная теплота парообразования, кДж/кг	Удельная энтропия, кДж/(кг · К)	
		жидкости	пара	жидкости	пара	жидкости	пара		жидкости	пара
−50	0,150	0,632	898,068	1581,72	1,114	148,1	330,9	182,7	0,791	1,610
−45	0,202	0,638	681,678	1567,75	1,467	153,2	333,8	180,6	0,813	1,605
−40	0,267	0,644	524,929	1553,677	1,905	158,2	336,7	178,5	0,835	1,601
−35	0,349	0,65	409,612	1539,494	2,441	163,3	339,7	176,4	0,857	1,597
−30	0,449	0,656	323,547	1525,192	3,091	168,5	342,7	174,2	0,878	1,595
−25	0,572	0,662	258,449	1510,762	3,869	173,6	345,7	172,1	0,899	1,593
−20	0,719	0,668	208,595	1496,194	4,794	178,8	348,7	169,9	0,920	1,591
−15	0,896	0,675	169,967	1481,476	5,883	184,1	351,8	167,7	0,940	1,590
−10	1,104	0,682	139,713	1466,596	7,158	189,3	354,8	165,5	0,960	1,589
−5	1,349	0,689	115,776	1451,54	8,637	194,6	357,8	163,2	0,980	1,589
0	1,635	0,696	96,656	1436,292	10,346	200,0	360,9	160,9	1,000	1,589
5	1,985	0,704	81,248	1420,836	12,308	205,4	363,9	158,5	1,020	1,589
10	2,344	0,712	68,726	1405,15	14,55	210,8	366,9	156,0	1,039	1,590
15	2,776	0,72	58,471	1389,214	17,103	216,3	369,9	153,5	1,058	1,591
20	3,268	0,728	50,009	1373,002	19,996	221,9	372,8	150,9	1,077	1,592
25	3,823	0,737	42,978	1356,485	23,268	227,5	375,8	148,3	1,096	1,593
30	4,447	0,746	37,098	1339,63	26,955	233,2	378,6	145,5	1,114	1,594
35	5,145	0,756	32,15	1322,397	31,104	238,9	381,5	142,6	1,133	1,596
40	5,923	0,766	27,961	1304,743	35,765	244,7	384,3	139,6	1,151	1,597
45	6,786	0,777	24,394	1286,613	40,993	250,5	387,0	136,5	1,170	1,599
50	7,741	0,789	21,342	1267,945	46,856	256,4	389,7	133,2	1,188	1,600

Характеристики хладагента R142b на линии насыщения

Температура, °С	Давление, 10^5 Па		Удельный объем		Плотность		Удельная энтальпия, кДж/кг		Удельная теплота парообразования, кДж/кг	Удельная энтропия, кДж/(кг · К)	
	абсолютное	манометрическое	жидкости, $дм^3/кг$	пара, $м^3/кг$	жидкости, $кг/дм^3$	пара, $кг/м^3$	жидкости	пара		жидкости	пара
−90	0,006	−1,006	0,731	23,9924	1,367	0,04168	86,72	356,85	270,13	0,4978	1,9727
−80	0,016	−0,997	0,743	10,1452	1,347	0,09857	99,26	362,96	263,70	0,5645	1,9297
−70	0,035	−0,978	0,754	4,76489	1,326	0,20987	111,77	369,32	257,55	0,6276	1,8954
−60	0,072	−0,941	0,766	2,44287	1,305	0,40936	124,25	375,86	251,61	0,6875	1,8680
−50	0,135	−0,877	0,779	1,34787	1,283	0,74191	136,72	382,54	245,82	0,7447	1,8463
−40	0,240	−0,773	0,792	0,79112	1,262	1,26402	149,22	389,31	240,09	0,7994	1,8292
−30	0,402	−0,610	0,806	0,48922	1,240	2,04408	161,78	396,14	234,36	0,8521	1,8160
−20	0,642	−0,371	0,821	0,31618	1,218	3,16277	174,42	402,97	228,55	0,9030	1,8058
−10	0,983	−0,029	0,837	0,21213	1,195	4,71403	187,16	409,76	222,60	0,9521	1,7982
−5	1,200	+0,187	0,845	0,17589	1,184	5,68528	193,57	413,13	219,56	0,9763	1,7951
0	1,452	+0,439	0,853	0,14691	1,172	6,80685	200,00	416,48	216,48	1,0000	1,7925
10	2,079	+1,066	0,871	0,10451	1,148	9,56817	212,93	423,05	210,12	1,0463	1,7884
20	2,896	+1,883	0,890	0,076061	1,121	13,1474	225,94	429,41	203,47	1,0912	1,7853
30	3,938	+2,925	0,912	0,056425	1,097	17,7228	239,02	435,52	196,50	1,1347	1,7829
40	5,244	+4,231	0,935	0,042534	1,070	23,5106	252,14	441,27	189,13	1,1769	1,7809
50	6,856	+5,843	0,961	0,032491	1,041	30,7775	265,29	446,61	181,32	1,2178	1,7789
60	8,819	+7,806	0,991	0,025088	1,009	39,8593	278,47	451,42	172,95	1,2574	1,7765
70	11,182	+10,169	1,025	0,019536	0,976	51,1883	291,68	455,59	163,91	1,2958	1,7734
80	13,999	+12,986	1,066	0,015305	0,938	65,3388	294,97	459,01	154,04	1,3331	1,7693
90	17,329	+16,316	1,116	0,012032	0,896	83,1140	318,46	461,52	143,06	1,3697	1,7637
100	21,239	+20,226	1,179	0,0094567	0,848	105,746	332,45	462,90	130,45	1,4065	1,7661
110	25,802	+24,789	1,266	0,0073798	0,709	135,506	347,63	462,78	115,15	1,4452	1,7457

Характеристики хладагента R404A на линии насыщения

Температура, °С	Насыщенная жидкость: Давление насыщения, 10^5 Па	Насыщенная жидкость: Плотность, кг/м³	Насыщенная жидкость: Удельная энтальпия, кДж/кг	Насыщенная жидкость: Удельная энтропия, кДж/(кг·К)	Насыщенный пар: Давление насыщения, 10^5 Па	Насыщенный пар: Плотность, кг/м³	Насыщенный пар: Удельная энтальпия, кДж/кг	Насыщенный пар: Удельная энтропия, кДж/(кг·К)	Удельная теплота парообразования, кДж/кг
−50	0,851	1314,12	137,8	0,751	0,814	4,407	339,2	1,657	201,3
−45	1,081	1299,839	143,5	0,777	1,038	5,532	342,4	1,651	198,9
−40	1,358	1285,173	149,3	0,802	1,309	6,873	345,7	1,646	196,3
−35	1,688	1270,1	155,3	0,827	1,632	8,457	348,9	1,642	193,6
−30	2,077	1254,598	161,3	0,851	2,015	10,316	352,1	1,638	190,8
−25	2,532	1238,637	167,4	0,876	2,463	12,484	355,3	1,635	187,9
−20	3,061	1222,189	173,6	0,901	2,986	14,999	358,4	1,632	184,7
−15	3,671	1205,217	180,0	0,926	3,590	17,902	361,4	1,630	181,4
−10	4,371	1187,681	186,5	0,950	4,283	21,242	364,4	1,628	177,9
−5	5,167	1169,535	193,2	0,975	5,074	25,07	367,4	1,626	174,2
0	6,070	1150,724	200,0	1,000	5,970	29,447	370,2	1,624	170,2
5	7,088	1131,185	207,0	1,025	6,982	34,443	372,9	1,622	165,9
10	8,229	1110,838	214,2	1,050	8,118	40,141	375,5	1,621	161,4
15	9,504	1089,592	221,6	1,076	9,387	46,637	378,0	1,619	156,4
20	10,922	1067,331	229,2	1,101	10,800	54,048	380,3	1,617	151,1
25	12,493	1043,909	237,1	1,127	12,366	62,517	382,4	1,615	145,3
30	14,229	1019,138	245,3	1,154	14,096	72,226	384,3	1,613	139,0
35	16,140	992,77	253,8	1,181	16,000	83,404	385,9	1,610	132,1
40	18,237	964,463	262,7	1,209	18,090	96,357	387,2	1,607	124,5
45	20,533	933,725	272,1	1,238	20,377	111,504	388,0	1,603	115,9
50	23,041	899,803	282,2	1,268	22,875	129,45	388,4	1,597	106,2

Характеристики хладагента R408A на линии насыщения

Насыщенная жидкость					Насыщенный пар				
Температура, °С	Давление насыщения, 10^5 Па	Плотность, кг/м³	Удельная энтальпия, кДж/кг	Удельная энтропия, кДж/(кг·К)	Давление насыщения, 10^5 Па	Плотность, кг/м³	Удельная энтальпия, кДж/кг	Удельная энтропия, кДж/(кг·К)	Удельная теплота парообразования, кДж/кг
−50	0,774	1312,754	140,0	0,760	0,748	3,598	369,5	1,790	229,6
−45	0,985	1298,161	145,5	0,784	0,955	4,513	372,5	1,781	227,0
−40	1,239	1283,39	151,2	0,809	1,204	5,602	375,5	1,772	224,3
−35	1,542	1268,423	156,9	0,833	1,502	6,887	378,4	1,764	221,5
−30	1,900	1253,239	162,7	0,857	1,854	8,393	381,3	1,757	218,6
−25	2,320	1237,814	168,6	0,881	2,268	10,147	384,2	1,751	215,6
−20	2,809	1222,123	174,7	0,905	2,751	12,178	387,0	1,745	212,4
−15	3,374	1206,136	180,8	0,929	3,309	14,519	389,8	1,739	209,0
−10	4,023	1189,819	187,1	0,952	3,951	17,204	392,5	1,734	205,5
−5	4,763	1173,133	193,5	0,976	4,684	20,274	395,2	1,729	201,7
0	5,603	1156,033	200,0	1,000	5,517	23,773	397,7	1,725	197,7
5	6,551	1138,468	206,7	1,024	6,457	27,753	400,2	1,720	193,5
10	7,616	1120,376	213,5	1,048	7,515	32,27	402,5	1,716	189,0
15	8,807	1101,685	220,5	1,072	8,698	37,393	404,7	1,712	184,2
20	10,133	1082,309	227,8	1,096	10,016	43,201	406,8	1,708	179,0
25	11,604	1062,143	235,2	1,121	11,479	49,786	408,7	1,703	173,5
30	13,229	1041,057	242,9	1,146	13,097	57,264	410,4	1,699	167,5
35	15,019	1018,891	250,8	1,171	14,880	65,774	411,8	1,694	161,0
40	16,984	995,436	259,0	1,197	16,838	75,491	413,0	1,689	154,0
45	19,136	970,424	267,6	1,223	18,984	86,644	413,9	1,683	146,3
50	21,484	943,488	276,7	1,251	21,327	99,534	414,4	1,677	137,8

Характеристики хладагента R407C на линии насыщения

Насыщенная жидкость					Насыщенный пар				
Температура, °С	Давление насыщения, 10^5 Па	Плотность, кг/м³	Удельная энтальпия, кДж/кг	Удельная энтропия, кДж/(кг · К)	Давление насыщения, 10^5 Па	Плотность, кг/м³	Удельная энтальпия, кДж/кг	Удельная энтропия, кДж/(кг · К)	Удельная теплота парообразования, кДж/кг
–50	0,735	1399,335	136,0	0,743	0,492	2,322	384,9	1,878	248,9
–45	0,939	1384,623	141,9	0,770	0,646	2,997	388,1	1,866	246,2
–40	1,187	1369,646	148,0	0,796	0,838	3,822	391,3	1,856	243,3
–35	1,483	1354,386	154,1	0,822	1,074	4,821	394,5	1,846	240,4
–30	1,833	1338,825	160,4	0,848	1,361	6,017	397,7	1,837	237,3
–25	2,246	1322,942	166,7	0,873	1,704	7,437	400,8	1,829	234,2
–20	2,728	1306,713	173,1	0,899	2,112	9,108	403,9	1,822	230,8
–15	3,288	1290,112	179,6	0,924	2,593	11,061	407,0	1,815	227,3
–10	3,933	1273,11	186,3	0,949	3,153	13,328	410,0	1,809	223,7
–5	4,673	1255,673	193,1	0,975	3,801	15,944	412,9	1,803	219,8
0	5,518	1237,761	200,0	1,000	4,545	18,947	415,7	1,797	215,7
5	6,475	1219,33	207,1	1,025	5,394	22,383	418,4	1,792	211,4
10	7,557	1200,329	214,3	1,051	6,357	26,299	421,1	1,788	206,8
15	8,772	1180,695	221,7	1,076	7,444	30,755	423,6	1,783	201,9
20	10,132	1160,357	229,3	1,102	8,663	35,817	426,0	1,779	196,7
25	11,647	1139,227	237,1	1,128	10,028	41,568	428,2	1,774	191,1
30	13,327	1117,197	245,2	1,154	11,549	48,108	430,3	1,770	185,1
35	15,182	1094,138	253,5	1,180	13,241	55,561	432,1	1,765	178,7
40	17,222	1069,88	262,1	1,207	15,119	64,088	433,8	1,760	171,7
45	19,455	1044,209	271,0	1,235	17,200	73,896	435,1	1,755	164,1
50	21,891	1016,836	280,3	1,263	19,504	85,269	436,0	1,749	155,7

Характеристики хладагента R507 на линии насыщения

Температура, °С	Абсолютное давление, 10^5 Па	Удельный объем, м³/кг		Плотность, кг/м³		Удельная энтальпия, кДж/кг		Удельная теплота парообразования, кДж/кг	Удельная энтропия, кДж/(кг · К)	
		жидкости	пара	жидкости	пара	жидкости	пара		жидкости	пара
–50	0,882	0,757	206,306	1320,9	4,847	138,9	336,2	197,4	0,755	1,640
–45	1,119	0,766	165,203	1305,303	6,053	144,5	339,4	195,0	0,780	1,635
–40	1,404	0,776	133,603	1289,482	7,485	150,2	342,7	192,5	0,805	1,630
–35	1,743	0,785	109,027	1273,407	9,172	156,0	345,8	189,9	0,829	1,627
–30	2,143	0,796	89,707	1257,046	11,147	161,9	349,0	187,1	0,854	1,623
–25	2,611	0,806	74,366	1240,361	13,447	167,9	352,1	184,2	0,878	1,620
–20	3,155	0,817	62,069	1223,311	16,111	174,1	355,2	181,2	0,902	1,618
–15	3,782	0,829	52,126	1205,846	19,184	180,3	358,3	177,9	0,927	1,616
–10	4,501	0,842	44,02	1187,911	22,717	186,8	361,2	174,5	0,951	1,614
–5	5,320	0,855	37,36	1169,439	26,766	193,3	364,1	170,8	0,976	1,612
0	6,249	0,869	31,848	1150,353	31,399	200,0	366,9	166,9	1,000	1,611
5	7,295	0,885	27,255	1130,561	36,691	206,9	369,6	162,7	1,025	1,609
10	8,470	0,901	23,401	1109,952	42,734	213,9	372,1	158,2	1,049	1,608
15	9,872	0,919	20,147	1088,39	49,634	221,1	374,5	153,4	1,074	1,606
20	11,243	0,938	17,384	1065,709	57,525	228,5	376,7	148,3	1,099	1,605
25	12,861	0,96	15,022	1041,698	66,569	236,1	378,7	142,7	1,124	1,603
30	14,649	0,984	12,991	1016,083	76,974	243,9	380,5	136,6	1,150	1,600
35	16,618	1,012	11,235	988,506	89,009	252,0	382,0	130,0	1,176	1,597
40	18,779	1,043	9,705	958,474	103,041	260,4	383,1	122,7	1,202	1,594
45	21,144	1,081	8,362	925,279	119,584	269,2	383,7	114,5	1,229	1,589
50	23,726	1,126	7,173	887,852	139,412	278,5	383,8	105,3	1,257	1,583

Характеристики хладагента R410A на линии насыщения

Температура, °С	Насыщенная жидкость				Насыщенный пар				
	Давление насыщения, 10^5 Па	Плотность, кг/м³	Удельная энтальпия, кДж/кг	Удельная энтропия, кДж/(кг · К)	Давление насыщения, 10^5 Па	Плотность, кг/м³	Удельная энтальпия, кДж/кг	Удельная энтропия, кДж/(кг · К)	Удельная теплота парообразования, кДж/кг
−50	1,123	1339,761	131,4	0,726	1,122	4,526	401,5	1,936	270,1
−45	1,417	1325,036	137,8	0,754	1,415	5,616	404,6	1,924	266,8
−40	1,770	1309,941	144,2	0,782	1,767	6,909	407,5	1,913	263,4
−35	2,191	1294,45	150,7	0,809	2,187	8,435	410,5	1,902	259,8
−30	2,689	1278,534	157,3	0,837	2,683	10,224	413,3	1,891	256,0
−25	3,273	1262,162	164,0	0,864	3,265	12,312	416,1	1,882	252,0
−20	3,954	1245,297	170,9	0,891	3,944	14,738	418,8	1,872	247,8
−15	4,743	1227,897	177,9	0,918	4,730	17,546	421,3	1,863	243,4
−10	5,651	1209,914	185,1	0,945	5,635	20,785	423,8	1,854	238,7
−5	6,690	1191,292	192,5	0,973	6,670	24,511	426,1	1,846	233,6
0	7,872	1171,968	200,0	1,000	7,849	28,79	428,3	1,837	228,3
5	9,211	1151,863	207,7	1,028	9,184	33,696	430,2	1,829	222,5
10	10,719	1130,887	215,7	1,055	10,688	39,317	432,0	1,821	216,3
15	12,410	1108,928	223,9	1,084	12,375	45,759	433,6	1,812	209,6
20	14,299	1085,849	232,5	1,112	14,260	53,149	434,8	1,803	202,4
25	16,399	1061,481	241,3	1,141	16,357	61,643	435,8	1,794	194,5
30	18,725	1035,603	250,5	1,171	18,681	71,44	436,4	1,785	185,9
35	21,293	1007,926	260,2	1,202	21,247	82,798	436,6	1,774	176,4
40	24,116	978,057	270,4	1,233	24,070	96,062	436,2	1,763	165,9
45	27,211	945,435	281,2	1,266	27,165	111,722	435,2	1,750	154,0
50	30,592	909,218	292,8	1,301	30,549	130,504	433,4	1,736	140,6

Физические свойства хладагентов SUVA®

Свойства	Хладагенты							
Торговая марка	FREON22	ГФУ23	SUVA®123	SUVA®124	SUVA®125	SUVA®9000	SUVA®9100	SUVA®95
Международное название	R22	R23	R123	R124	R125	R407C	R410A	R508A
Молекулярная масса, г/моль	86,47	70,02	152,93	136,5	120	86,2	72,58	95,39
Температура кипения при 1,0325 $\cdot 10^5$ Па, °С	–40,80	–82,03	–27,9	–12,1	–48,1	–43,56	–51,58	–88,3
Температура замерзания, °С	–160	–155,2	107,0	–199,0	–103,0	—	—	—
Критическая температура, °С	96	25,9	183,7	122,5	66,2	86,7	72,1	145
Критическое давление, 10^5 Па	49,77	48,36	36,68	363	36,3	46	49,2	39,2
Критическая плотность, кг/м^3	525	525	550	5538	571,9	506,8	488,9	5588,76
Плотность жидкости при 25 °С, кг/м^3	1194	670	1463	1364	1189,7	1136	1062	335
Теплота парообразования при температуре кипения, кДж/кг	233,5	239,4	174,2	167,9	164,4	246,1	264,3	167,1
Плотность насыщенного пара при –25 °С, кг/м^3	12,88	71,45	1,146	5,996	25,68	11,14	18,5	121,8

Продолжение

Свойства	Хладагенты							
Торговая марка	FREON22	ГФУ23	SUVA®123	SUVA®124	SUVA®125	SUVA®9000	SUVA®9100	SUVA®95
Давление пара при 25 °С, 10^5 Па	1,04	4,74	0,091	0,383	1,381	1,185	1,653	4,25
Предельная воспламеняемость в воздухе, % объема	Нет	Нет	Нет	Нет	Нет	Нет	Нет	Нет
Температура самовоспламенения, °С	635	765	730	—	733	733	—	> 750
Потенциал разрушения озона ODP	0,05	0	0,02	0,02	0	0	0	0
Потенциал глобального потепления HGPW	0,34	—	0,02	0,1	0,84	0,38	0,45	—
Потенциал глобального потепления за 100 лет GWP	1700	12100	90	3200	3200	1600	1890	12300
Предельно допустимая концентрация на рабочем месте, ppm	1000	1000	30	1000	1000	1000	1000	1000

Обозначения хладагентов

Хладагент	Условное обозначение по Международному стандарту	Химическая формула
Воздух	R729	—
Вода	R718	H_2O
Диоксид углерода	R744	CO_2
Аммиак	R717	NH_3
Сернистый ангидрид	R764	SO_2
Водород	R702	H_2
Гелий	R704	He
Неон	R720	Ne
Азот	R728	N_2
Кислород	R732	O_2
Аргон	R740	Ar
Шестифтористая сера	R846	SF_6
Метан	R50	CH_4
Этан	R170	C_2H_6
Пропан	R290	C_3H_8
Бутан	R600	C_4H_{10}
Изобутан	R600a	$CH(CH_3)_3$
Этилен	R1150	C_2H_4
Пропилен	R1270	C_3H_6
Фреоны	R10	CCl_4
	R11	CCl_3F
	R12	CCl_2F_2
	R13	CF_3Cl
	R14	CF_4
	R13B1	CF_3Br
	R20	$CHCl_3$
	R21	$CHCl_2F$
	R22	$CHClF_2$
	R23	CHF_3
	R30	CH_2Cl_2
	R31	CH_2ClF_2
	R32	CH_2F_2
	R40	CH_3Cl
	R41	CH_3F
	R110	C_2Cl_6
	R111	C_2FCl_5
	R112	$C_2F_2Cl_4$
	R112a	CCl_3CClF_2
	R113	CCl_2FCClF_2
	R113a	CCl_3CF_3

Продолжение

Хладагент	Условное обозначение по Международному стандарту	Химическая формула
	R114	$CClF_2CClF_2$
	R114a	CCl_2FCF_3
	R114B2	$CBrF_2CBrF_2$
	R115	$CCl_2F_2CF_3$
	R116	C_2F_6
	R120	C_2HCl_5
	R123	$C_2HCl_2F_3$
	R124	C_2HClF_4
	R124a	$CHF_2CCl_2F_2$
	R125	CHF_2CF_3
	R133a	CH_2ClCF_3
	R134a	CF_3CFH_2
	R140a	CH_3CCl_3
	R142b	CH_3CClF_2
	R143a	CH_3CF_3
	R150a	CH_3CHCl_2
	R152a	CH_3CHF_2
	R160	CH_3CH_2Cl
	R218	C_3F_8
	RC316	$C_4Cl_2F_6$
	RC317	C_4ClF_7
	RC318	C_4F_8
	R500	CCl_2F_2 (73,8 %) + $C_2H_4F_2$ (26,2 %)
	R501	R22(75 %) + R12 (25 %)
	R502	R22 (48,8 %) + R115 (51,2 %)
	R503	R23 (40,1 %) + R13 (59,9 %)
	R504	R32 (48,2 %) + R115 (51,8 %)
	R505	R12 (78,0 %) + R31 (22,0 %)
	R506	R31 (55,1 %) + R114(44,9 %)
	R507	R125 (50 %) + R143 (50 %)
	R508	R23 (46 %) + R116b (54 %)
Зеотропные смеси группы ГХФУ	R401A	R22 (53 %) + R152 (13 %) + R124 (34 %)
	R401B	R22 (61 %) + R152 (11 %) + R124 (28 %)
	R401C	R22 (33 %) + R152 (15 %) + R124 (52 %)
	R409A	R22 (60 %) + R124 (25 %) + R124b (15 %)
	C10M1	R22 (65 %) + R21 (5 %) + R142b (30 %)
	R402A	R22 (38 %) + R125 (60 %) + R290 (2 %)
	R402B	R22 (60 %) + R125 (38 %) + R290 (2 %)
	R408A	R22 (44 %) + R143a (4 %) + R125 (52 %)
	R403B	R22 (56 %) + R218 (39 %) + R290 (5 %)
Зеотропные смеси группы ГФУ	R404A	R125 (44 %) + R143a (52 %) + R134a (4 %)
	R407C	R32 (23 %) + R125 (25 %) + R134a (52 %)
	R407A	R32 (20 %) + R125 (40 %) + R134a (40 %)
	R410A	R32 (50 %) + R125 (50 %)
	R413A	R134a (88 %) + R218 (9 %) + R600a (3 %)
	FX40	R32 (10 %) + R125 (45 %) + R143a (45 %)

Диаграммы h — lg$p$ для некоторых альтернативных хладагентов

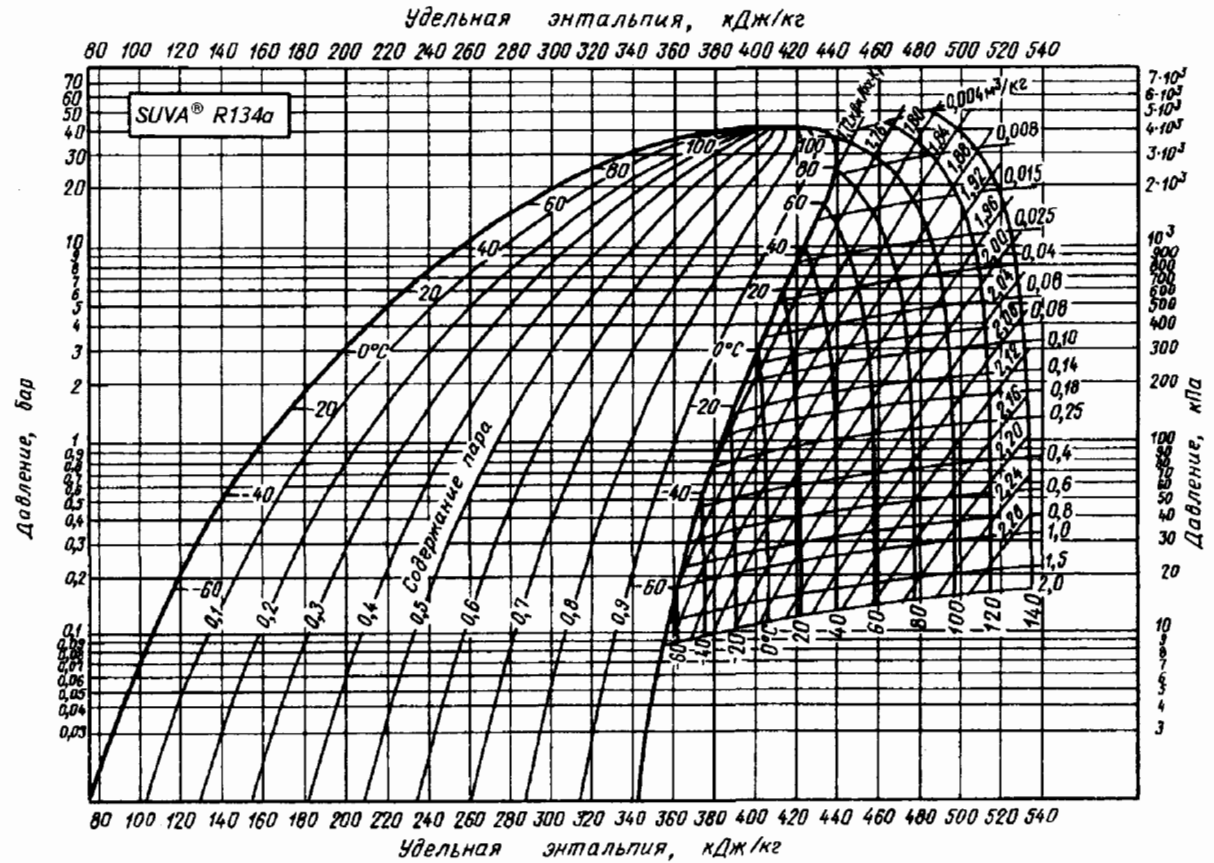


Рис. П1. Диаграмма «удельная энтальпия — давление» для SUVA®R134a

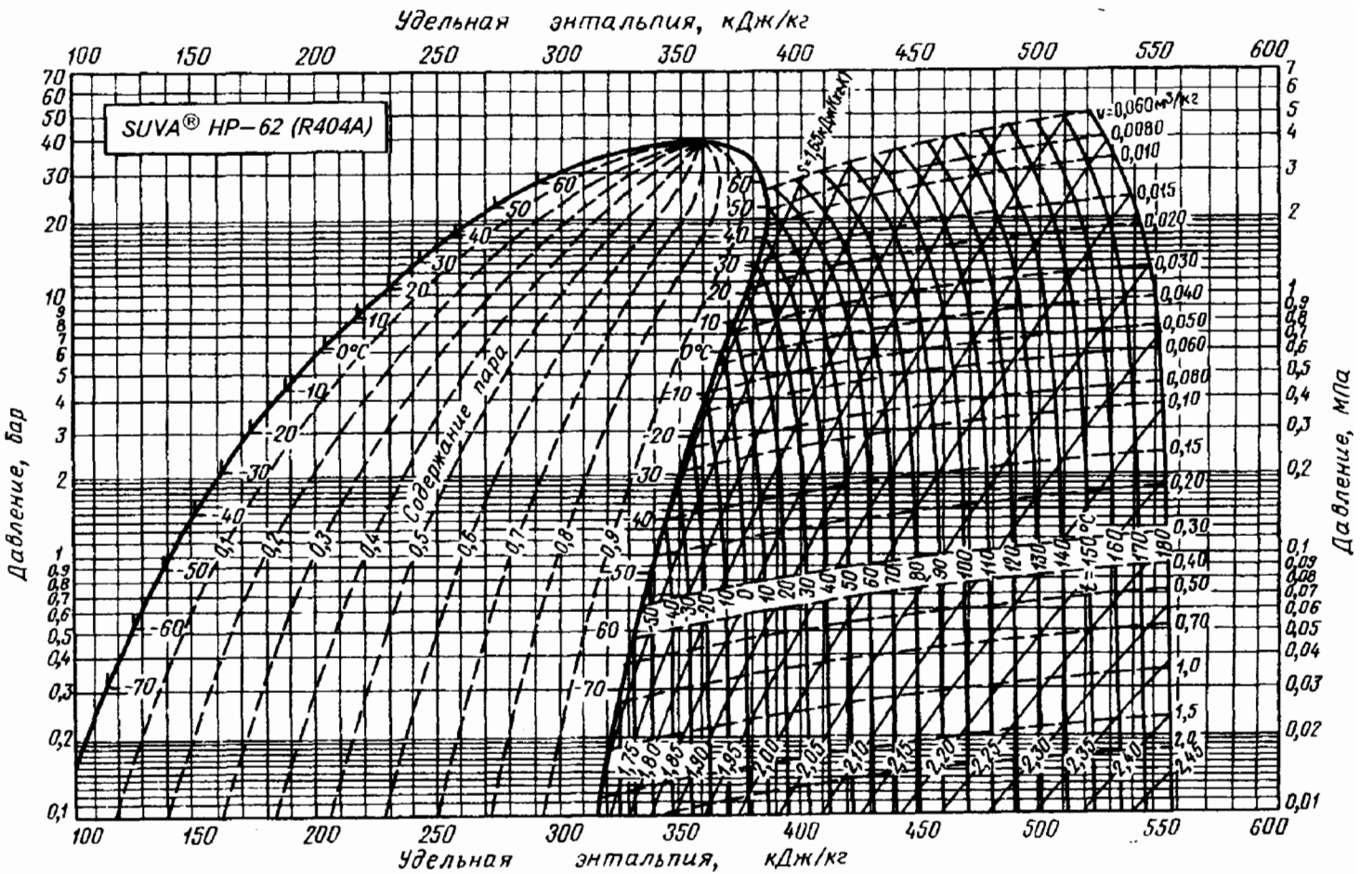


Рис. П2. Диаграмма «удельная энтальпия — давление» для SUVA®HP-62 (R404A)

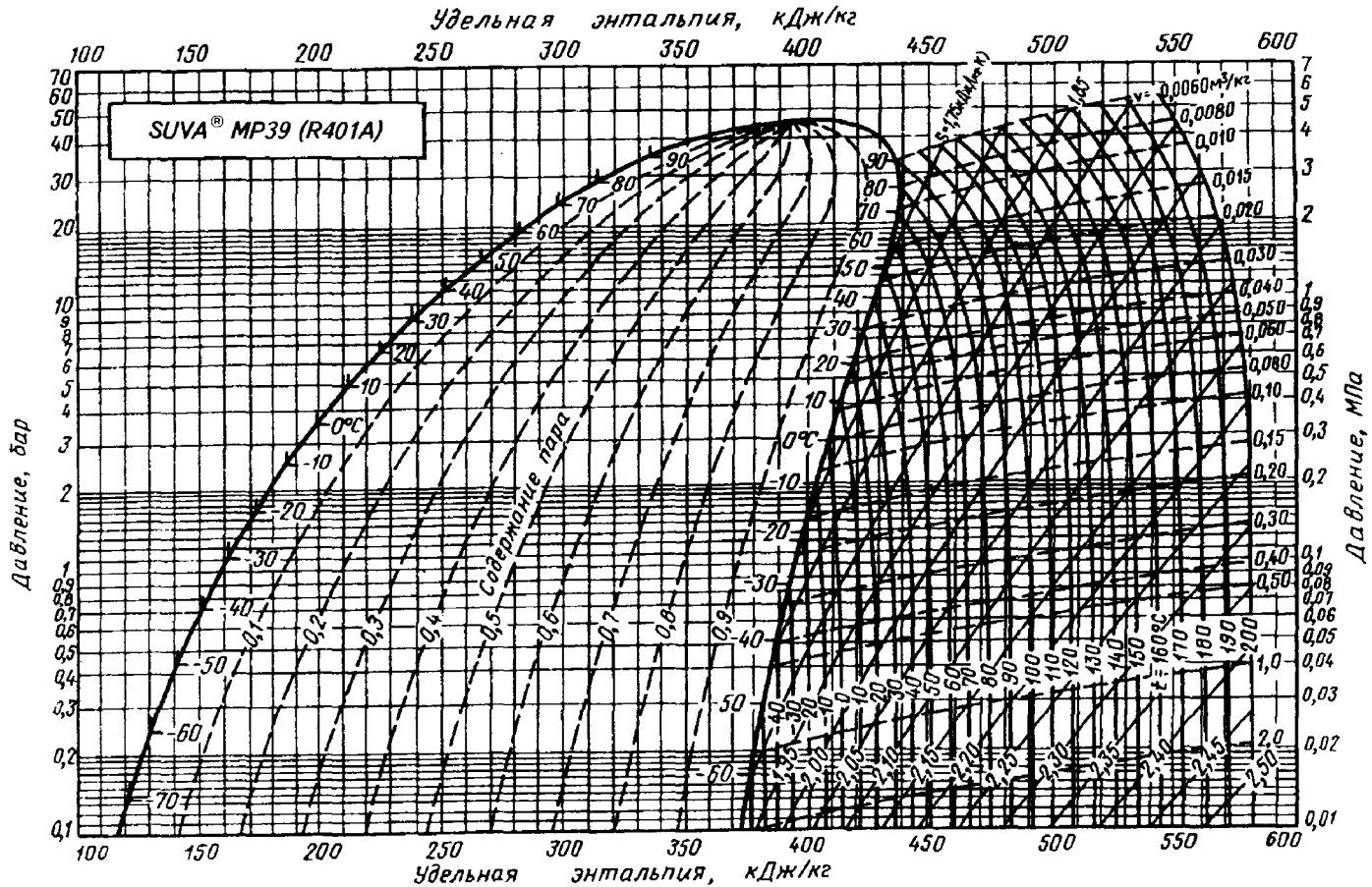


Рис. П3. Диаграмма «удельная энтальпия — давление» для SUVA®MP39 (R401A)

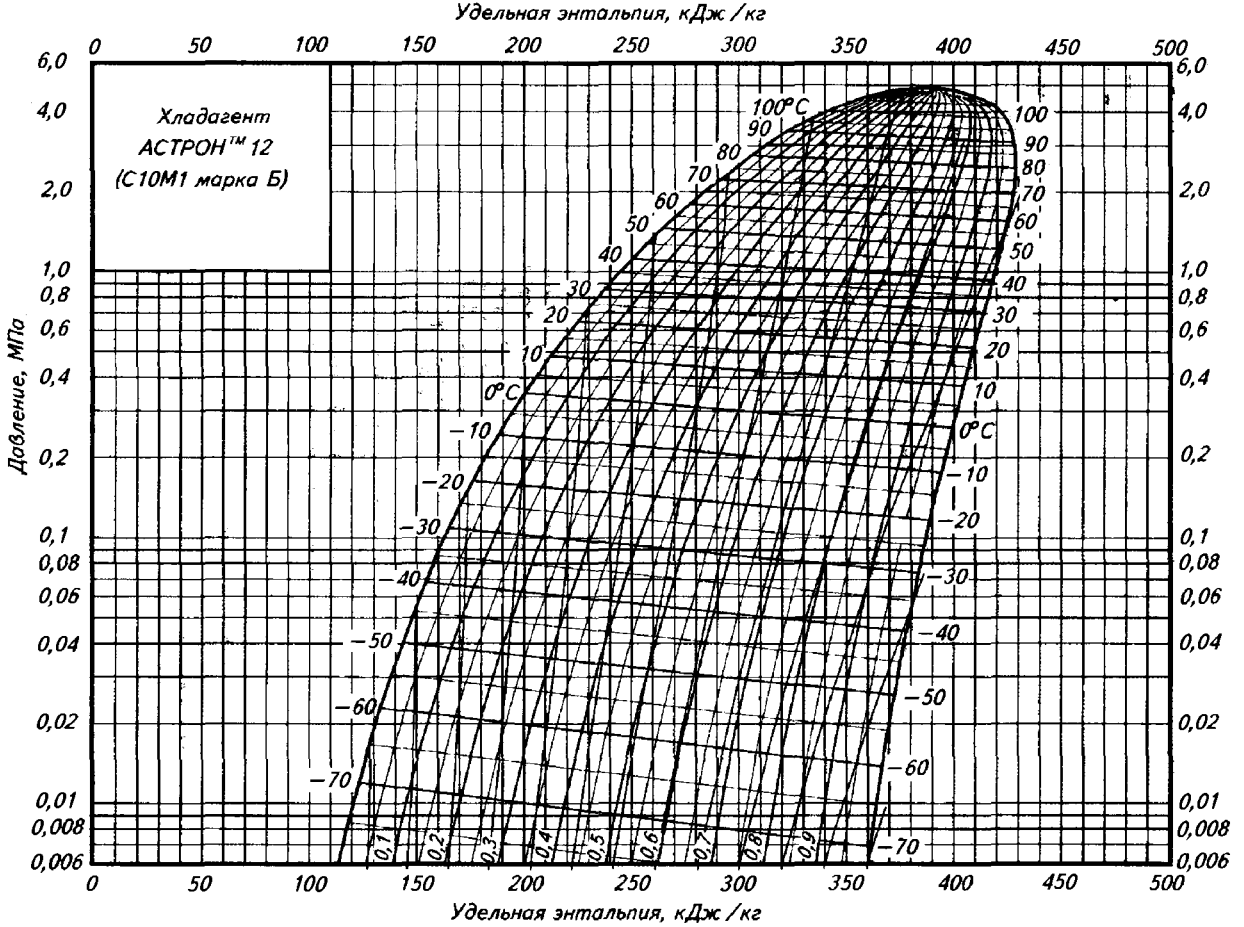


Рис. П4. Диаграмма «удельная энтальпия — давление» для хладагента АСТРОН™12 (С10М1 марки Б)

Список использованной литературы

Ананьев В. С. Хладагенты фирмы «Дюпон»//Холодильная техника. — 1998. — № 1. — С. 19—22.

Афанасьева И. А., Лунин А. И. Применение озонобезопасных смесевых хладагентов в бытовых холодильных приборах//Холодильная техника. — 1997. — № 3. — С. 5—7.

Бабакин Б. С., Выгодин В. А. Бытовые холодильники и морозильники: Справочник. — М.: Колос, 1998. — 631 с.

Богданов С. Н., Иванов О. П., Куприянова А. А. Холодильная техника. Свойства веществ: Справочник. — 3-е изд., перераб. и доп. — М.: Агропромиздат, 1985. — 208 с.

Венгер К. П., Выгодин В. А. Машинная и безмашинная системы хладоснабжения для быстрого замораживания пищевых продуктов. — Рязань: Узоречье, 1999. — 143 с.

Гаврилов А., Капица А. Дыра в здравом смысле//Холодильный бизнес. — 1999. — № 3. — С. 31—34.

Железный В. П., Жидков В. В. Эколого-энергетические аспекты внедрения альтернативных хладагентов в холодильной технике. — Донецк: Донбасс, 1996. — 144 с.

Железный В. П., Лысенко О. В. Эколого-энергетический анализ перспектив замены R22 альтернативными хладагентами//Холодильная техника. — 1999. — № 7. — С. 26—29.

Клименко В. В., Терешин А. Г. Монреальский протокол и проблемы глобального потепления климата планеты//Холодильная техника. — 1996. — № 5. — С. 15—17.

Маake В., Эккерт Г.-Ю., Кошпен Ж.-Л. Польманн. Учебник по холодильной технике. — М.: Изд-во МГУ, 1998. — 1142 с.

Мензер М., Мур Э. Замена HCFC: опыт США в области кондиционирования воздуха и холодильной техники//Холодильное дело. — 1996. — № 5—6. — С. 4—5.

Морли Дж. Хладагенты для рефрижераторного транспорта//Холодильная техника. — 1999. — № 8. — С. 20—22.

Морли Дж. Хладагенты — важное дело//Холодильная техника. — 1999. — № 3. — С. 20—23.

Приборы для проверки работоспособности холодильных установок и кондиционеров//Холодильная техника. — 1997. — № 3. — С. 28—29.

Переход на озонобезопасные хладагенты в условиях России/И. М. Калнинь, В. В. Катерухин, И. К. Савицкий и др.//Холодильная техника. — 1997. — № 1. — С. 17—19.

Подчерняев О. Н. Характеристики озонобезопасных хладагентов, альтернативных R502 и R22//Холодильная техника. — 1998. — № 3. — С. 10—12.

Семинар в Московском представительстве фирмы «Дюпон»//Холодильная техника. — 1999. — № 7. — С. 26.

Смесь R22/R142b — хладагент, альтернативный R12/А. Ю. Кузьмин, В. Г. Букин, А. В. Ежов и др.//Холодильная техника. — 1999. — № 5. — С. 9—10.

Состояние европейского холодильного рынка//Холодильная техника. — 1997. — № 3. — С. 23.

Управление окружающей средой. Поэтапное сокращение потребления озоноразрушающих веществ в Российской Федерации. А. А. Аверченков, Е. А. Коныгин, Р. Кук, В. И. Целиков//Проект ГЭФ: Информационный бюллетень. — 1996. — № 2. — 152 с.

Цветков О. Б. Хладагенты и экологическая безопасность//Холодильная техника. — 1997. — № 1. — С. 20—22.

Цветков О. Б. Теплопроводность холодильных агентов. — Л.: Изд-во Ленинградского ун-та, 1984. — 220 с.

Эльф Л. «ATOKEM» на рынке переходных хладагентов//Холодильный бизнес. — 1999. — № 5. — С. 6—7.

Alternative Refrigerant Bends//Elf Atochem North America/Inc Product Information, 1996.

An Experimental Evalution of Flammable and Non-Flammable High Pressure HFC Replacements for R22/M. Pande, Y. H. Hwang, J. Judge at al.//Proc. 1998 Int. Refrig. Conf. at Purdue. — Purdue (USA): Purdue Univ. 1998.

Calm J. M. Refrigerants and Lubricants — Data for Screening and Application//Proceedings of the 1995 Intern. CFC and Halon Alternatives Conference 1995. Washington DC.

Chitti M. S., Bivens D. B. Perfomans of R407C and HCFC22 in Chillers with Brazed Plate Heat Excangers//Proc. 1998 hit. Refrig. Conf. at Purdue. — Purdue (USA): Purdue Univ. 1998.

Comparison of R407 compound and R410A with R22 in a 10,5 kW (3,0 TR) Residental Central Heat Pump/J. W. Linton, W. K. Snelson, P. F. Hearty et al.//Proc. 1998 Int. Refrig. Conf. at Purdue. — Purdue (USA): Purdue Univ. 1998.

Fisher S. K., Fairchild P. P., Hughes P. S. Global warming implications of replacing CFC//ASHRAE J. April 1992.

Fisher S. et. al. Energy and Global Warming Impasts of CFC Alternatiive Technologies. AFEAS/US DoE, 1991.

Green J. The Energy Alternatives for a Sustainable Europe (EASE) Project//Stepping Towards Sustainability in Energy: pratical proposalts for Europe. Nain report. — Edinburgh (Scotland): Friends of the Earth Scotland, 1997.

Keller F. et al. Assessment of Propane as a Refrigerant in Residential Airconditioning and Heat Pump Applications, Proc. ASHRAE/NIST Rearigerants Conf. Gaithersburg, 1997.

Keller F. J., Sullivan L. Assessment in North American Residental Air Conditioning//Proc. 1998. Int. Refrig. Conf. at Purdue. — Purdue (USA): Purdue Univ. 1998.

Montzka S. et. al. Declin in the Tropospheric Abundance of Halogen from Halocarbons: Implications for Stratospheric Ozone Depletion, Scence, 1996, 272.

Morley J. et. al. Environmental Aspects of New Working Fluids, Proc. Heat Pump Conference. Gothenberg. 1994.

Sheehan J. Meeting diverse Reefer Cargo Demands With Marine Container Refrigeration Equipment. Proc. Inst. R. 1997—98, 4.

Stera A. Ammonia in Ships, Proc. R. 1993—94, 5.

Sundaresan S. G. A Comparison of the Effects of POE and Mineral Oil Lubricants on the in-tube Evaporation of R22, R407C fnd R410A//Proc. 1996. Int. Refrig. Conf. at Purdue. — Purdue (USA): Purdue Univ. 1996.

Оглавление

Предисловие 4

1. Экологическая целесообразность применения альтернативных хладагентов в холодильных системах 9

2. Общие сведения о хладагентах 14

3. Традиционные хладагенты групп ХФУ и ГХФУ 19

4. Альтернативные однокомпонентные хладагенты 22

5. Альтернативные многокомпонентные хладагенты на основе углеводородов 32

6. Альтернативные многокомпонентные хладагенты группы ГХФУ 37

6.1. Хладагенты среднего давления 37
6.2. Хладагенты высокого давления 48

7. Альтернативные многокомпонентные хладагенты группы ГФУ 55

8. Совместимость хладагентов с пластмассами, эластомерами и металлами 62

9. Альтернативные хладагенты для холодильного транспорта 64

10. Сервис холодильных систем 68

10.1. Замена R12 на R134a 68
10.2. Замена R502 на R404A или R507 76
10.3. Замена R12 на R401A, R409A, R401B. Замена R500 на R401B 78
10.4. Замена R502 на R402A, R408A, R402B 91
10.5. Замена R22 на R407C 103

11. Емкости для хладагентов 106

12. Технические средства для сервиса холодильных систем 109

13. Правила безопасности при работе с альтернативными хладагентами 122

13.1. Воздействие хладагентов на организм человека 123
13.2. Обеспечение безопасности при работе с хладагентами и сосудами под давлением 126

14. Современное состояние и перспективы применения альтернативных хладагентов 128

Приложения 132

Список использованной литературы 157

Справочное издание

Бабакин Борис Сергеевич
Стефанчук Владимир Игоревич
Ковтунов Евгений Ефимович

АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ ХЛАДАГЕНТЫ И СЕРВИС ХОЛОДИЛЬНЫХ СИСТЕМ НА ИХ ОСНОВЕ

Справочное руководство

Художественный редактор *Н. Л. Минаева*
Технические редакторы *Н. Н. Лопашова, Н. Н. Зиновьева*
Корректоры *Л. Г. Новожилова, В. Н. Маркина, Т. Т. Талдыкина*

Лицензия № 010159 от 06.03.97 г.

Сдано в набор 06.07.2000. Подписано в печать 22.08.2000.
Формат 60 × 88$^{1}/_{16}$. Бумага офсетная № 1. Гарнитура Ньютон.
Печать офсетная. Усл. печ. л. 9,8. Усл. кр.-отт. 21,08.
Уч.-изд. л. 12,04. Тираж 3000 экз. Изд. № 050.
Заказ № 1899 . «С» № 071.

Федеральное государственное ордена Трудового Красного Знамени унитарное предприятие «Издательство «Колос»,
107807, ГСП-6, Москва, Б-78, ул. Садовая-Спасская, 18.

Типография ОАО «Внешторгиздат»,
127576, Москва, Илимская, 7.