



**Желиба Ю. А.** Промежуточные теплоносители и хладоносители : монография / Желиба Юрий Александрович, Войтко Дмитрий Андреевич ; Одес. гос. акад. холода. – Одесса : Фенікс, 2012. – 320 с. - Библиогр.: с. 318-319. – ISBN 978-966-438-672-9.

Представлен обширный информационный материал по свойствам теплотехнических жидкостей, которые широко используются в качестве промежуточных тепло-хладоносителей для систем холодоснабжения, теплоснабжения, нетрадиционной энергетики и технологических схем различного

назначения.

Справочный материал предназначен для инженерного персонала, занимающегося проектированием, эксплуатацией, исследованиями, вопросами производственной и техногенной безопасности различных теплотехнических и энергетических систем, а также для студентов и аспирантов холодильных, энергетических и экологических специальностей.

«Технология первична...»

В.П. Онищенко, д.т.н., проф.,  
заслуженный деятель науки  
и техники Украины

## Предисловие

В предлагаемой Вашему вниманию книге рассматриваются широко применяемые традиционные и менее известные теплотехнические жидкости (водные растворы, безводные вещества), применительно к возможности их использования в качестве однофазных промежуточных тепло- / хладоносителей вторичных контуров холодильных, теплотехнических, технологических систем.

По каждому рассмотренному веществу представлена информация, касающаяся его основных физических свойств, а также рабочих свойств полученных на его основе хладоносителей, указаны теплофизические и экологические характеристики в зависимости от температуры и концентрации, даны инженерные рекомендации по их использованию в циркуляционных системах тепло- / и холодоснабжения, нетрадиционной энергетики.

В книге также приведены информационные материалы по наиболее известным и присутствующим на рынке коммерческим продуктам, представляющим собой готовые к использованию рабочие вещества, их растворы либо концентраты. Материал подготовлен на основе общедоступных для инженеров информационных данных, технических описаний, паспортов безопасности продуктов от их изготовителей (представительств фирм), а также в соответствии с информацией, полученной по специальным запросам авторов у производителей. Представленный материал не претендует на фундаментально научное издание.

Основным отличием коммерческих продуктов (хладоносителей на водной основе и их концентратов) по сравнению с рабочими телами, приготовляемыми из базовых веществ (химреактивов) и воды в условиях производства (по месту предполагаемого последующего использования), является наличие специальных добавок (присадок) в строго рассчитанных количествах. Назначение присадок - оптимизация теплофизических свойств хладоносителя, улучшение эксплуатационных характеристик циркуляционного контура, защита оборудования и элементов инженерных коммуникаций от интенсивного коррозионного воздействия окружающей среды.

Безводные хладоносители, которые могут быть использованы для рассматриваемых целей, как правило, представляют собой сложные синтетические вещества (их смеси), разработанные специально под определённые эксплуатационные и функциональные требования. Такое их происхождение определяет достаточно высокую и неконкурентную на рынке стоимость на заполнение / пополнение объема циркуляционной системы, в связи, с чем и применение в холодильной технике и энергетике ограничено.

Использование доступных природных веществ в качестве промежуточных хладоносителей (например, жидкого CO<sub>2</sub>) сопряжено со специальными эксплуатационными требованиями к оборудованию, арматуре и циркуляционным системам в целом, что существенно ограничивает их практическое внедрение. Немаловажное значение имеют традиции.

Основная задача справочного издания - предоставление комплексной подробной информации по используемым в холодильной технике и теплотехнике хладоносителям, а также информационная помощь специалистам по выбору рабочего вещества для тех либо иных условий эксплуатации циркуляционной системы и особенностей технологического процесса использования холода либо теплоты.

Идеального тепло- / хладоносителя не существует! Перед проектировщиком, эксплуатационщиком, инвестором всегда будет стоять задача правильного выбора тепло- / хладоносителя. Она будет так или иначе решена в пользу того или иного рабочего вещества, свойства которого будут признаны либо оптимальными, либо просто удовлетворительными для той либо иной технологической системы с учётом множества взаимосвязанных факторов, влияющих на её решение.

Требования к хладоносителю на этапе его выбора определяются

технологическим назначением системы, условиями эксплуатации, экологическими и санитарно-эпидемиологическими нормами, инвестиционными намерениями Заказчика, множеством других требований и ограничений, в том числе условиями рыночной экономики и законами психологии.

Попробуем сформулировать простой перечень основных требований для выбора хладоносителя, осуществляющего, например, посредническую миссию по обеспечению теплообмена между рабочими средами испарительного оборудования агрегатированных холодильных машин (чиллеров) и аппаратов пищевого технологического производства.

Необходимые свойства - физиологическая и экологическая безопасность, подтвержденная соответствующими санитарно-гигиеническими заключениями; расчётная температура начала кристаллизации на 8 К ниже минимальной рабочей температуры; стабильность свойств, в том числе при возможном нагреве в системе; высокая температура кипения, исключая возможность вскипания хладоносителя в контуре циркуляции (в том числе, например, при выполнении технологической операции по размораживанию инея с теплообменных поверхностей).

Желательные свойства - "теплофизическая" эффективность (совокупность свойств, обеспечивающих оптимальную теплопередачу и хорошую "прокачиваемость" хладоносителя во всём диапазоне рабочих температур), инертность (низкая коррозионная активность) по отношению к конструкционным и уплотнительным материалам циркуляционного контура, взрывопожаробезопасность, приемлемая стоимость, долговечность и прочее.

Конечно, применительно к холодильным системам иного технологического назначения набор требований к хладоносителю изменится, но необходимость обеспечения высокой энергоэффективности, низкой металлоёмкости оборудования и систем, незначительных эксплуатационных расходов сохранится для любого циркуляционного контура. Эти требования, в первую очередь, определяются теплофизическими свойствами тепло- / хладоносителя.

Важное значение при сравнении различных жидкостей как вторичных тепло- / хладоносителей имеют температура замерзания, плотность, вязкость, теплоемкость и теплопроводность. Другие физические свойства, на которые также следует обратить внимание - температура кипения, свойства теплового расширения, коэффициент поверхностного натяжения. Прокомментируем на инженерном языке основные теплофизические свойства, по которым традиционно оцениваются хладоносители.

*Температура замерзания* - температура, при которой начинают образовываться ледяные кристаллы. Температура точки замерзания должна быть ниже рабочей температуры используемого хладоносителя, чтобы не создавать проблем при перекачивании жидкости насосом и не вызвать опасность замораживания хладоносителя в циркуляционном контуре и теплообменных аппаратах. Небольшое количество ледяных кристаллов в

хладоносителе может быть приемлемо в некоторых областях технологического применения и в системах аккумуляции искусственного холода.

Низкая *температура кипения* хладоносителя может создавать проблемы в системе, связанные со вскипанием рабочего вещества. Необходимо учитывать, что вскипание хладоносителя возможно при температуре ниже точки кипения, если жидкость контактирует с атмосферным воздухом.

*Поверхностное натяжение* жидкости - сила на единицу длины, которая стремится сохранить поверхность как можно меньшей. Низкое поверхностное натяжение может увеличивать возможность утечки раствора, а также риск вспенивания и кавитацию в насосе.

Точное значение *плотности*,  $\rho$ , важно для определения концентрации водного раствора хладоносителя. Плотность, обычно, определяется с помощью ареометра или взвешиванием известного объёма жидкости (оба метода обычно используются при температуре  $+20^{\circ}\text{C}$ ). Однако, эти методы неточны в случае со спиртами и гликолями, так как их плотность близка к плотности чистой воды и вследствие того, что ингибиторы и другие добавки могут изменить значение плотности. Концентрация гликоля может быть определена точнее преломляющим индексом или газовой хроматографией.

Важно знать *динамическую вязкость*,  $\mu$ , и-или *кинематическую вязкость*, и  $\nu = \mu/\rho$ , жидкости. Вязкость не должна быть слишком высока при рабочей температуре хладоносителя, поскольку она непосредственно связана с энергетическими затратами на привод насосного оборудования. Величина вязкости также определяет режим течения жидкости (ламинарный или турбулентный), от которого зависит эффективность теплообменных процессов в аппаратах системы.

Высокая *теплоёмкость* - важная характеристика, поскольку определяет эффективность теплопередачи потока для обеспечения заданного переноса теплоты.

Высокий *коэффициент теплопроводности* является желательным, поскольку это создает условия для хорошей теплопередачи и уменьшает разность температур между жидкостью и стенкой трубы, между средами, обменивающимися теплотой.

*Тепловое объемное расширение*, представленное на графиках (см. Приложение А) - величина, характеризующая увеличение объёма рабочих веществ при нагревании (отеплении) от температуры точки замерзания и до рассматриваемой температуры (для хладоносителей на водной основе) и увеличение объёма от температуры  $-50^{\circ}\text{C}$  до рассматриваемой температуры (для безводных хладоносителей). Эти данные необходимы для определения объёма расширительного бака при проектировании энергетических, теплонасосных и холодильных систем.

В качестве хладоносителей возможно использование и *двухфазных сред* (рабочих веществ изменяющих агрегатное состояние в циркуляционном контуре). Например, водно-ледяной гидросмеси, парожидкостной смеси  $\text{CO}_2$  — в таком случае важной характеристикой хладоносителя является *скрытая*

*теплота фазового перехода* или *разность энтальпий при кипении либо кристаллизации*. Использование скрытой теплоты фазового перехода существенно сокращает объёмный расход хладоносителя в системе при отведении заданной тепловой нагрузки.

Используемые в охлаждающих системах жидкие хладоносители можно распределить по группам:

- вода (в том числе "ледяная вода", ледяная гидросмесь);
- водные растворы неорганических солей;
- водные растворы гликолей и спиртов;
- водные растворы на основе солей органических кислот;
- вещества на безводной основе.

Всем хладоносителям характерны негативные и опасные эксплуатационные свойства, независимо от функционального назначения и конструктивного исполнения систем охлаждения, которые необходимо учитывать:

- вода — замерзает при температуре  $0^{\circ}\text{C}$  или незначительно ниже, характеризуется высокими коррозионными свойствами при наличии растворённого кислорода (данными свойствами обладает большинство хладоносителей на водной основе при отсутствии в их составе эффективных ингибиторов);
- хлорид кальция - высокая коррозионная активность при наличии кислорода; опасно применение ингибиторов коррозии с хроматами (особенно при смешении ингибиторов);
- хлорид магния - аналогично хлориду кальция, эвтектическая точка при минус  $33,5^{\circ}\text{C}$ ;
- хлорид натрия - аналогично хлориду кальция, эвтектическая точка при минус  $20,7^{\circ}\text{C}$ ;
- этиленгликоль - опасность для здоровья, риск загрязнения окружающей среды;
- пропиленгликоль - высокая вязкость при низких температурах, существует риск загрязнения окружающей среды;
- этиловый спирт - риск воспламеняемости, низкая температура кипения, опасность интоксикации;
- метиловый спирт - аналогично этиловому спирту, высокая опасность для здоровья;
- глицерин - высокая вязкость при низких температурах;
- аммиак - низкая температура кипения, резкий запах, риск воспламенения/взрыва воздушно-аммиачной смеси в помещении;
- углекислый калий - опасность для глаз (при попадании) вследствие высокого значения pH, эвтектическая точка при минус  $37,5^{\circ}\text{C}$ ;
- ацетат калия - долгосрочные последствия использования изучены недостаточно, характеризуется достаточно высокими значениями pH;
- безводные хладоносители - обычно характеризуются относительно низкими теплопередающими свойствами, некоторые жидкости дорогостоящие и обладают другими негативными свойствами (например, возможны

коррозионные процессы при использовании терпенов citrusовых масел; системы с жидкой углекислотой работают под высоким избыточным давлением); при выборе безводных жидкостей в качестве хладоносителей необходимо внимательно изучать их свойства, учитывать технологические и технические данные, информацию паспорта безопасности, предоставляемые производителями.

Выбор потребителем тепло- / хладоносителя также предполагает принятие решения о его происхождении: самостоятельная подготовка тепло- / хладоносителя (растворение твёрдого вещества в воде / разведение концентрата) либо использование готового продукта, подготовленного в условиях специальных химических производств.

Самостоятельное изготовление вторичного хладагента предполагает: выполнение поиска и закупки необходимых компонентов; разработку и соблюдение соответствующих технологических инструкций по приготовлению; выполнение требований действующих ССБТ, отраслевых правил и норм (возможны специальные требования к помещениям, установкам и технологическим операциям при разведении взрывопожароопасных, опасных или/и токсичных веществ / компонентов / реактивов); наличие требуемой квалификации производственного персонала, разрешений на специальные виды работ.

Готовые хладоносители отечественного и импортного производства, как правило, отличаются хорошими эксплуатационными характеристиками за счёт использования специальных присадок и ингибиторов коррозии, но, при этом, они более дорогостоящие; традиционно изготовители не указывают полные данные по химическому и компонентному составу, поддержание концентрации раствора при эксплуатации может быть выполнено только с использованием фирменного концентрата либо с привлечением инженеров сервисных служб производителей.

Отечественные хладоносители характеризуются более доступной ценой, однако не всегда содержат присадки, улучшающие теплофизические и гидродинамические свойства и, как правило, не гарантируют высокой степени защиты от коррозии и обеспечения задекларированных свойств.

В любом случае, если перед Вами стоит задача выбора тепло- / хладоносителя и существуют сомнения относительно вида хладоносителя который лучше использовать в новой либо эксплуатировавшейся ранее холодильной системе, обратитесь за консультацией к профессионалам, у которых накоплен значительный практический опыт проектирования и эксплуатации теплотехнического и холодильного оборудования. Мнение квалифицированного специалиста позволит сделать Ваш выбор более осознанным и рациональным.

## Содержание

Предисловие.....	6
<b>1. ХЛАДОНОСИТЕЛЬ - ВОДА.....</b>	<b>12</b>
1.1.ВОДА, "ЛЕДЯНАЯ ВОДА", ЛЕДЯНАЯ ГИДРОСМЕСЬ.....	12
<b>2. ХЛАДОНОСИТЕЛИ - ВОДНЫЕ РАСТВОРЫ.....</b>	<b>27</b>
2.1.ХЛОРИД НАТРИЯ (поваренная соль, каменная соль), водный раствор хлорида натрия.....	27
2.1.1. Хладоноситель КАЛЬТОНАТ на основе водного раствора хлористого натрия.....	33
2.2.ХЛОРИД МАГНИЯ, водный раствор хлорида магния.....	35
2.2.1. Хладоноситель БИШОФРИЗ на основе водного раствора хлористого магния.....	40
2.3.ХЛОРИД КАЛЬЦИЯ, водный раствор хлорида кальция.....	44
2.3.1. Хладоноситель КАЛЬТОЗИН на основе водного раствора хлористого кальция.....	51
2.4.ГЛИЦЕРИН, водный раствор глицерина.....	55
2.4.1. Тепло- / хладоносители ТЕПРО-Г на основе водного раствора глицерина.....	61
2.5.МЕТИЛОВЫЙ СПИРТ (метанол, карбинол, "древесный" спирт), водный раствор метилового спирта.....	62
2.6.ЭТИЛОВЫЙ СПИРТ (этанол, метилкарбинол, винный спирт), водный раствор этилового спирта.....	71
2.6.1. Хладоноситель ЭКОФРОСТ на основе водного раствора этилового спирта.....	79
2.7.ЭТИЛЕНГЛИКОЛЬ (гликоль, этандиол-1,2), водный раствор этиленгликоля.....	81
2.7.1. Хладоноситель TYFOCOR на основе водного раствора этиленгликоля.....	90
2.7.2. Хладоноситель NEUTRAGEL на основе водного раствора моноэтиленгликоля.....	99
2.7.3. Хладоноситель ANTIFROGEN N на основе водного раствора моноэтиленгликоля.....	106
2.7.4. Тепло- / хладоносители ТЕПРО-Е на основе водного раствора этиленгликоля.....	113
2.7.5. Тепло- / хладоносители ZITREC MC на основе водного раствора моноэтиленгликоля.....	114
2.8.Хладоносители на основе водного раствора этилкарбитола.....	117
2.8.1. Хладоноситель ЭКОСОЛ на основе водного раствора этилкарбитола (моноэтилового эфира диэтиленгликоля).....	117
2.9.ПРОПИЛЕНГЛИКОЛЬ (пропандиол), водный раствор	

пропиленгликоля.....	121
2.9.1. Тепло- / хладоносители ТЕПРО-П на основе водного раствора пропиленгликоля.....	128
2.9.2. Хладоносители ХНТ на основе водного раствора пропиленгликоля.....	129
2.9.3. Тепло- / хладоносители НОРДВЕЙ-ПРО на основе водного раствора пропиленгликоля.....	133
2.9.4. Хладоносители TYFOCOR L на основе водного раствора пропиленгликоля.....	138
2.9.5. Хладоносители ZITREC FC на основе водного раствора монопропиленгликоля.....	146
2.9.6. Хладоносители ZITREC LC на основе водного раствора монопропиленгликоля.....	150
2.9.7. Хладоносители FRIOGEL на основе водного раствора монопропиленгликоля.....	153
2.9.8. Хладоносители ANTIFROGEN L на основе водного раствора 1,2-пропиленгликоля.....	159
2.10. КАРБОНАТ КАЛИЯ, водный раствор карбоната калия.....	167
2.11. АММИАЧНАЯ ВОДА, водный аммиак.....	173
2.12. КАЛИЯ АЦЕТАТ (калий уксусно-кислый), водный раствор ацетата калия.....	180
2.12.1. Тепло- / хладоносители Нордвей-ХН на ацетатной основе....	186
2.13. Тепло- / хладоносители на формиатной основе.....	191
2.13.1. Хладоноситель Нордвей-ФОРМ на основе водного раствора формиата калия.....	191
2.13.2. Хладоноситель TYFOXIT на основе водного раствора формиата калия.....	196
2.13.3. Тепло- / хладоноситель FREEZIUM на основе водного раствора формиата калия.....	205
2.13.4. Хладоноситель NYCOOL на основе водного раствора формиата калия.....	211
2.13.5. Хладоноситель ANTIFROGEN KF на формиатной основе....	224
2.14. Хладоносители на основе водного раствора ацетата и формиата калия.....	227
2.14.1. Хладоноситель TEMPER.....	227
2.14.2. Хладоноситель PEKASOL 2000 на основе водного раствора ацетата и формиата калия.....	232
2.15. Хладоносители на основе водного раствора формиата калия и пропионата натрия.....	243
2.15.1. Хладоноситель ZITREC S.....	243

2.16. Хладоносители на основе водного раствора бетаина.....	249
2.16.1. Хладоноситель THERMERA.....	249
<b>3. ХЛАДОНОСИТЕЛИ - БЕЗВОДНЫЕ ЖИДКОСТИ.....</b>	<b>255</b>
3.1. ДИЭТИЛБЕНЗОЛЫ.....	255
3.1.1. Хладоноситель DOWTHERM J на основе смеси изомеров алкилированных ароматических соединений.....	258
3.2. ДВУОКИСЬ УГЛЕРОДА (угольный ангидрид, углекислый газ).....	265
3.3. ПОЛИДИМЕТИЛСИЛОКСАН.....	278
3.4. ТЕРПЕНЫ из цитрусовых масел (d-Limonene).....	281
3.5. УГЛЕВОДОРОДНЫЕ СМЕСИ (Therminol D-12, Gilotherm D12).....	284
3.6. Гидрофторэфир HFE-7100 (hydrofluoroether).....	286
3.7. ТЕТРАХЛОРСИЛАН (четырёххлористый кремний, кремния тетрахлорид, кремния хлорид).....	290
Приложения.....	294
Приложение А - Графики термического объёмного расширения хладоносителей.....	294
Приложение Б - Графики теплофизических свойств безводных хладоносителей.....	300
Приложение В - Графики сравнения теплофизических свойств водных хладоносителей.....	302
Приложение Г - Графики сравнения теплофизических свойств хладоносителей на водной основе ( $t_{\text{замерзания}} = -30^{\circ}\text{C}$ ) и безводных рабочих веществ.....	306
Приложение Д - Графики сравнения теплофизических свойств хладоносителей на водной основе ( $t_{\text{замерзания}} = -40^{\circ}\text{C}$ ) и безводных рабочих веществ.....	308
Соотношения между единицами измерения.....	310
Условные обозначения.....	312
Термины, определения, сокращения.....	313
Указатель тепло- / хладоносителей и базовых веществ.....	316
Информационные источники, рекомендуемая литература.....	318