

ИНФОРМАЦИОННЫЙ ЛИСТОК 5

Промышленное холодильное оборудование

1. Описание сегмента холодильного оборудования

Данный сектор включает холодильные системы, используемые в производственной и перерабатывающей отраслях. Большая часть промышленного холодильного оборудования используется для переработки и хранения пищевых продуктов и напитков, а также производства нефтехимической продукции, химических веществ и фармацевтических препаратов. Холодильное оборудование используется в ряде других производственных процессов, а именно при производстве пластмассовых изделий и полупроводников. Промышленное холодильное оборудование также используется в больших холодильных складах, на ледовых катках и в крытых лыжных сооружениях.

Подсекторы сегмента холодильного оборудования

Сектор промышленного холодильного оборудования сложно охарактеризовать, поскольку существует очень широкий диапазон требований к охлаждению с точки зрения температурного уровня, требуемой холодопроизводительности и технологий производства. Многие промышленные системы – это оборудование с большой производительностью (несколько МВт) и объемом заправки хладагента в несколько тонн. Однако не все промышленные системы представляют собой агрегаты большой производительности – на многих заводах используются многочисленные холодильные системы малой и средней производительности.

Для облегчения понимания принципа использования хладагентов, сектор промышленного холодильного оборудования был разделен на три подсектора, для выделения сфер, в которых уже используются хорошие альтернативы ГФУ, и тех, которые могут оказаться более проблемными. Это:

- a) **Системы малой и средней производительности** - обычно предназначены для обеспечения конкретной требуемой холодопроизводительности. Эти системы часто расположены близко к объекту охлаждения.
- b) **Системы централизованного холодоснабжения большой производительности (с использованием первичного хладоносителя)¹**. Данные системы используются для охлаждения большой производительности в скороморозильных аппаратах с интенсивным движением воздуха, в технологических теплообменниках и хладокомбинатах. Первичный хладоноситель подается из центрального машинного отделения (в котором находятся холодильные компрессоры высокой производительности) в несколько испарителей, обслуживающих один или несколько объектов охлаждения. Первичный хладоноситель часто циркулирует на значительных расстояниях (сотен метров).
- c) **Холодильные системы большой производительности с вторичным контуром хладоносителя²**. Первичный хладоноситель используется для охлаждения вторичного хладоносителя, который подается к нескольким объектам охлаждения.

¹ Первичный хладоноситель - это вещество, используемое в парокомпрессионном цикле. Холодный жидкий первичный хладоноситель испаряется для обеспечения охлаждения. Полученный пар затем сжимается и конденсируется.

² Вторичный хладоноситель передает охлаждение объекту охлаждения. Он охлаждается в парокомпрессионном чиллере. Большинство вторичных хладоносителей представляют собой жидкости, такие как ледяная вода (при температуре выше 0°C) или антифриз, а именно гликоль или рассол (при температуре ниже 0°C). К остальным типам вторичных хладоносителей относятся водные/ледяные смеси (лед тает и обеспечивает охлаждение) и летучие жидкости, такие как CO₂ (жидкость испаряется и обеспечивает охлаждение).

Поддерживаемые температурные режимы

Промышленные системы работают в широком диапазоне температур. Значительная часть промышленных систем (особенно тех, которые используются для обработки пищевых продуктов и напитков) работают в тех же температурных режимах, что и торговое холодильное оборудование:

- среднетемпературном (СТ) для охлажденных продуктов, хранящихся при температуре от 0°C до +8°C
- низкотемпературном (НТ) для замороженных продуктов, хранящихся при температуре от -18°C до -25°C

Некоторые промышленные агрегаты работают при гораздо более низких температурах, от -25°C до ниже -150°C. В промышленных системах тепловых насосов может использоваться оборудование, аналогичное промышленному холодильному оборудованию - они работают при температурах намного выше, чем холодильные системы.

Типичная конструкция систем

Учитывая широкий спектр направлений промышленного применения, в данном секторе также существует наибольшее разнообразие системных конструкций:

- в большинстве систем используется парокомпрессионный цикл.
- в большинстве систем малой и средней производительности используются воздухоохладители непосредственного испарения (НИ).
- во многих системах малой производительности используются конденсаторы воздушного охлаждения.
- в большинстве систем централизованного холодоснабжения большой производительности (с использованием первичного хладоносителя) используются затопленные испарители, циркуляция хладагента в которых осуществляется принудительно (насосами), либо самотеком за счет гравитации.
- в чиллерах большой производительности для систем с вторичным контуром хладоносителя часто используются затопленные испарители, при этом в чиллерах меньшей производительности могут использоваться воздухоохладители непосредственного испарения (НИ).
- в системах большой производительности обычно используются конденсаторы с испарительным или водяным охлаждением.
- в низкотемпературных системах (например, для охлаждения продуктов до температуры ниже -20°C) обычно используется двухступенчатая компрессия для повышения эффективности и снижения температуры нагнетания.
- в очень низкотемпературных системах (например, для охлаждения продуктов ниже -40°C) используются каскадные системы³.
- в криогенных системах большой производительности (например, установках для сжижения воздуха, которые производят жидкий кислород и жидкий азот) обычно используются воздушные холодильные установки⁴.

Альтернативные технологии

Тепловые абсорбционные и адсорбционные холодильные системы находят применение и экономически эффективны в том случае, если для обеспечения их работы используется источник бросового тепла. Сорбционные системы могут использоваться в регионах, где электрические сети ненадежны.

³ В каскадной системе низкотемпературный холодильный контур передает тепло в контур более высокой температуры. Два контура разделены и в них используются разные первичные хладоносители.

⁴ Воздушный цикл создает охлаждающий эффект за счет расширения сжатого воздуха.

Изменения, вызванные выводом из обращения ОРВ

Промышленность является единственным сектором использования холодильного оборудования, в котором до 1990 года применялось значительное количество природных хладагентов. В частности, широко использовался R-717 (аммиак). Также, в нефтехимическом секторе, было специализированное применение углеводородов (УВ) и применение воздушного цикла в криогенных агрегатах. В большинстве систем малой и средней производительности до 1990 года использовались ХФУ-12, ГХФУ-22 и R-502. Начиная с 1997 года, в странах, не действующих в рамках статьи 5, применяются различные ГФУ, включая R-404A⁵ и R-134a. ГХФУ-22 был выведен из обращения и повсеместно заменен в странах, не действующих в рамках статьи 5. В странах статьи 5, R-22 продолжает широко использоваться, при этом в некоторых промышленных чиллерах используется ГХФУ-123.

Технические характеристики ГФУ-систем

Основные характеристики приведены в табл.1.

В значительной доле новых холодильных **систем малой и средней производительности** в странах, не действующих в рамках статьи 5, используются ГФУ. В данном диапазоне производительности использование R-717 часто считается экономически неэффективным. R-404A является доминирующим ГФУ-хладагентом, используемым в промышленных системах малой и средней производительности. Его ПГП⁶ - 3922.

Во многих **промышленных холодильных системах** используются ГФУ, в частности R-134a используется в чиллерах большой производительности и R-407C и R-410A в установках малой и средней производительности. В значительной доле промышленных чиллеров большой производительности используется R-717.

В большинстве **систем централизованного холодоснабжения большой производительности** используется либо R-717, либо R-22. ГФУ-смеси не подходят для использования в системах большой производительности из-за температурного гистерезиса (который может привести к фракционированию в затопленных испарителях).

⁵R-507A также используется в промышленных системах, хотя и не так широко, как R-404A. Замечания относительно R-404A в этом информационном листке касаются также R-507A.

⁶ Все значения ПГП приведены в Четвертом докладе об оценке МГЭИК

Таблица 1: Промышленное холодильное оборудование: характеристики оборудования, работающего на ГФУ

Подсектор:		Системы малой и средней производительности	Системы централизованного холодоснабжения большой производительности	Промышленные чиллерные системы
Стандартное количество хладагента	количество	10 - 100 кг	250 - 5000 кг	100 - 2000 кг
Стандартная холодопроизводительность		20 - 100 кВт	100 - 5000 кВт	200 - 5000 кВт
Широко используемые ГФУ-хладагенты (с ПГП)		R-404A (3922) ГФУ-134а (1430)	Не используются мало используются R-404A и R-507A; широко используется ГХФУ-22	ГФУ-134а (1430) ГФУ-407С (1774) ГФУ-410А (2088)
Холодильный контур		Непосредственное испарение	Подача вторичного хладоносителя	Затопленный чиллер
Изготовление/монтаж		Разводка трубопроводов по месту монтажа оборудования		Заводского изготовления
Стандартное размещение оборудования		Помещения категории С (разрешенный доступ для лиц, ознакомленных с мерами предосторожности)		
Типичная годовая интенсивность утечек		5% - 10%	4% - 8%	2% - 5%
Основной источник выбросов ГФУ		Эксплуатационные утечки	Эксплуатационные утечки	Эксплуатационные утечки
Приблизительная разбивка годовой потребности в хладагенте	Новые системы	30%	30%	40%
	Обслуживание	70%	70%	60%



Промышленная система малой производительности - испаритель в холодильной камере

Компрессоры системы централизованного холодоснабжения большой производительности



Промышленный гликолевый чиллер

2. Альтернативы ныне используемым ГФУ-хладагентам

Таблица 2: Альтернативы с более низким ПГП для промышленного холодильного оборудования

Хладагент	ПГП	Класс воспламеняемости ⁷	Примечания
Альтернативы для замены R-404A (могут использоваться и в новом оборудовании, и для ретрофита существующего оборудования)			
R-407A	2107	1	В Европе эти смеси широко используются как альтернативы R-404A (как в новых системах, так и для ретрофита). Могут иметь более высокую энергоэффективность, чем системы на R-404A.
R-407F	1825	1	
R-448A	1387	1	Недавно разработанные смеси, по свойствам похожие на R-404A и R-407F, но с более низким ПГП. На данный момент опыт их промышленного применения или доступность ограничены.
R-449A	1397	1	
Альтернативы – только для нового оборудования			
R-717 (аммиак)	0	2L	Широко используемый хладагент в системах большой производительности и чиллерах. Данный хладагент является важной альтернативой для промышленного применения. Он имеет высокую токсичность и сильный едкий запах. Требуется соблюдение различных мер безопасности, что может затруднить экономически эффективное использование R-717 для систем малой и средней производительности.
УВ-290	3	3	Используются в промышленных системах большой производительности (централизованных и чиллерах), в частности на нефтехимических заводах, которые перерабатывают сырье с высокой воспламеняемостью. Необходимо соблюдать соответствующие меры безопасности. УВ реже используются в промышленных системах малой и средней производительности.
УВ-1270	2	3	

⁷ Классы воспламеняемости в соответствии со стандартами ISO 817 и ISO 5149

3 = высокая воспламеняемость; 2 = воспламеняемые; 2L = низкая воспламеняемость; 1 = без распространения огня

R-744 (CO ₂)	1	1	Последние 10 лет R-744 используется в ряде промышленных агрегатов большой производительности, а именно в холодильных складах и сублимационных сушилках. Возможность применения R-744 можно рассматривать для некоторых систем малой и средней производительности.
ГФО-1234ze	7	2L	Применяется в промышленных чиллерах в качестве альтернативы ГФУ-134а. Также разрабатываются другие ГФО, а именно ГФО-1233zd и ГФО-1336mzz, которые подходят для чиллеров низкого давления (в качестве альтернативы для ГХФУ-123).
R-450A R-513A R-451A R-451B	601 631 140 150	1 1 2L 2L	Недавно разработанные смеси, по свойствам похожие на ГФУ-134а. Рассматривается возможность их применения в среднетемпературных системах малой и средней производительности.
Смеси, ожидающие присвоения номера ASHRAE	150 to 300	2L	Разрабатываемые смеси, по свойствам похожие на ГФУ-404А. Рассматривается возможность их применения в низкотемпературных системах малой и средней производительности.
R-446A R-447A	460 582	2L 2L	Недавно разработанные смеси, по свойствам похожие на ГФУ-410А. Рассматривается возможность их применения в системах малой и средней производительности.
ГФУ-32	675	2L	Рассматривается возможность применения в системах малой и средней производительности.

Системы малой и средней производительности

Сложный подсектор с точки зрения наличия альтернатив с более низким ПГП, поскольку объем заправляемого хладагента относительно велик, а воспламеняемость – весьма важный вопрос. Многие из этих систем имеют недостаточно большую производительность для обеспечения экономической эффективности использования R-717. Возможной стратегией может быть отказ от использования R-404A (как в новом оборудовании, так и для ретрофита существующего оборудования) на раннем этапе. В некоторых регионах доступны различные невоспламеняющиеся альтернативы с ПГП в диапазоне 1400-2100. Для использования в среднетемпературных агрегатах, появляются новые невоспламеняющиеся смеси с ПГП около 600. Достижение более низкого ПГП возможно при использовании смесей ГФО/ГФУ, обладающие низкой воспламеняемостью. Для промышленных систем малой и средней производительности возможным вариантом является R-744, технология применения которого разрабатывается для супермаркетов.

Системы централизованного холодоснабжения большой производительности

R-717 часто является лучшей альтернативой, поскольку уже широко используется. R-744 имеет практические преимущества при использовании в некоторых агрегатах (например, он хорошо подходит для комбинированных нагревательно - охладительных установок) и может иметь очень высокую эффективность при использовании в морозильных агрегатах.

Холодильные системы

Существует несколько экономически эффективных альтернатив. R-717 уже используется в промышленных чиллерах большой производительности, и можно рассматривать возможность использования углеводородов (чиллеры могут быть размещены в специальных машинных

отделениях или на открытом воздухе, что поможет решить вопросы безопасности). Чиллеры на ГФО-1234ze используются и подходят для многих промышленных холодильных агрегатов. Также могут использоваться чиллеры низкого давления на других ГФО.

Альтернативная конструкция систем

Выбор подходящего хладагента с низким ПГП может быть облегчен путем выбора альтернативной конструкции системы. В особенной степени это касается систем малой и средней производительности:

- на заводах, где используется большое количество систем малой и средней производительности, можно заменить несколько систем малой производительности на центральную систему большей производительности. Использование R-717 и/или R-744 во многих случаях может быть более экономически эффективным и обеспечит более высокую энергоэффективность. Тем не менее, следует соблюдать осторожность, если объекты охлаждения работают при разных температурных режимах, поскольку эффективность системы может снизиться при использовании центральной системы на самом низком температурном режиме.
- также можно рассмотреть переход от воздухоохладителей непосредственного испарения (НИ) или систем централизованного холодоснабжения (с первичным хладоносителем) к использованию центрального чиллера с вторичным контуром хладоносителя. Это уменьшит объем первичного хладоносителя и упростит решение проблем, связанных с воспламеняемостью, путем ограничения доступа в машинное отделение. Опять же, следует учитывать вопрос энергоэффективности, поскольку некоторые системы с вторичным контуром хладоносителя, в которых используется гликоль или рассол, менее эффективны, чем воздухоохладители непосредственного испарения или системы централизованного холодоснабжения. Также может быть рассмотрено использование R-744 в качестве летучего вторичного хладоносителя для некоторых промышленных агрегатов - это может повысить эффективность систем с вторичным контуром хладоносителя.

3. Рассмотрение основных вопросов

Безопасность и практичность

Системы малой и средней производительности. В случае выбора невоспламеняющихся ГФУ-альтернатив, новых проблем в сфере безопасности не возникнет. Для минимизации ПГП может потребоваться использование смесей ГФО/ГФУ, обладающих низкой воспламеняемостью – необходимо обеспечить соблюдение соответствующих стандартов безопасности. R-744 - возможная альтернатива для некоторых промышленных систем малой и средней производительности, в которых используются компоненты и технологии, применяемые в настоящее время в супермаркетах.

Системы централизованного холодоснабжения большой производительности. R-717 уже широко используется, и существует должное понимание вопросов безопасности. На промышленных аммиачных заводах в странах статьи 5, недавно были зафиксированы несчастные случаи со смертельным исходом, связанные с несоблюдением стандартов и правил безопасности. Необходимо обеспечить хорошую подготовку конструкторов и проектировщиков, а также техников по обслуживанию и ремонту. Стоит отметить, что многие новые ГФУ- и ГФО/ГФУ-смеси не подходят для использования в системах большой производительности с затопленными испарителями из-за температурного гистерезиса.

Холодильные системы. R-717 уже широко используется, и существует должное понимание вопросов безопасности. Некоторые новые ГФО хорошо подходят для холодильных систем, и их использование может быть проще, чем R-717 (поскольку они менее токсичны). Следует учитывать более низкую воспламеняемость ГФО (это не сложнее, чем использование R-717, который также обладает низкой воспламеняемостью). УВ-чиллеры также иногда используются в агрегатах малой, средней и большой производительности в

нефтеперерабатывающей и нефтехимической отраслях, где соблюдаются меры безопасности при работе с углеводородами.

Наличие на рынке

Системы малой и средней производительности. Обеспечена хорошая доступность некоторых невоспламеняющихся альтернатив R-404A с ПГП в диапазоне 1800-2100. В настоящее время опыт использования альтернатив с более низким ПГП, подходящих для промышленных систем малой и средней производительности (например, ГФО/ГФУ-смесей или R-744) ограничен. Необходима работа по разработке промышленных компонентов, оптимизированных для данных хладагентов.

Системы централизованного холодоснабжения большой производительности. Системы на R-717, широко доступны. R-744 гораздо менее распространен, хотя его использование в ряде агрегатов рассматривается. Многие компоненты R-744 доступны, но требуется разработка дополнительных компонентов для широкого спектра промышленных агрегатов.

Холодильные системы. Чиллеры на R-717 широко доступны. В 2014 году был представлен ряд новых моделей чиллеров на ГФО, и в течение 5 лет будет доступен широкий спектр промышленных чиллеров на ГФО. УВ-чиллеры доступны в Европе и во многих других странах.

Стоимость

Системы малой и средней производительности. В отношении новых систем, переход от R-404A к R-407A или R-407F практически не влияет на стоимость. Вопросы стоимости, связанные с использованием альтернатив с более низким ПГП, представленных в таблице 2, пока не ясны. При использовании невоспламеняющихся альтернатив, основные дополнительные затраты, вероятно, будут связаны с хладагентом, хотя это лишь небольшая доля от общей стоимости. Для использования альтернатив, обладающих низкой воспламеняемостью существует потребность в дополнительных инвестициях, связанных с мерами безопасности, но они не должны быть значительными. Системы на R-744, вероятно, будут более дорогостоящими в данном диапазоне производительности - возможно увеличение стоимости на 20-40%, хотя пока нет данных о расходах в данном секторе.

Системы централизованного холодоснабжения большой производительности. R-717 - это самая дешевая альтернатива для многих агрегатов.

Холодильные системы. В случае если ранее использовался чиллер на ГФУ-134a, УВ-чиллер имеет аналогичную стоимость, и вполне вероятно, что ГФО-чиллер также будет иметь аналогичную стоимость.

Энергоэффективность

Системы малой и средней производительности. Использование R-407A и R-407F вместо R-404A, вероятно, приведет к повышению энергоэффективности, особенно для СТ-систем. Опыт использования новых ГФО/ГФУ-смесей ограничен, хотя ранние испытания показывают, что они, вероятно, будут иметь аналогичную или более высокую эффективность по сравнению с существующими системами, в которых используется R-404A. R-744, вероятно, будет иметь хорошую эффективность при соответствующей конструкции системы.

Системы централизованного холодоснабжения большой производительности. Системы на R-717 хорошо подходят для обеспечения высокой эффективности как в средне-, так и в низкотемпературном режиме. R-744 может быть очень эффективным и обеспечить дополнительные возможности для регенерации тепла.

Холодильные системы. Чиллеры на ГФО-1234ze, как ожидается, будут иметь эффективность, аналогичную существующим системам на ГФУ-134a. ГФО-1233zd может обеспечить повышенную эффективность, которая обеспечивалась чиллерами низкого

давления на ГХФУ-123. Углеводороды (УВ) имеют аналогичную или более высокую эффективность, чем ГФУ-134а. R-744 может использоваться в качестве летучего вторичного хладоносителя вместо гликоля или рассола - это может обеспечить значительное повышение эффективности.

Возможность применения в странах с жарким климатом

Системы малой и средней производительности. Может быть разработано новое оборудование для эффективной работы в условиях жаркого климата с использованием ГФУ-407А, ГФУ-407F, УВ и различных невоспламеняющихся и низковоспламеняющихся ГФО/ГФУ-смесей. R-744 может эффективно использоваться в условиях жаркого климата только в каскадной конфигурации - это может быть слишком дорого для промышленных систем малой и средней производительности.

Системы централизованного холодоснабжения большой производительности. Системы, в которых используется R-717, могут применяться в условиях жаркого климата при условии использования конденсаторов с водяным охлаждением или испарительных конденсаторов. Для работы в НТ-диапазоне важно использовать двухступенчатое сжатие. Системы на R-744 могут эффективно использоваться в условиях жаркого климата только при условии каскадной конфигурации, например, в каскаде с R-717 на высокой ступени и R-744 на низкой ступени.

Холодильные системы. Чиллеры на R-717, УВ и ГФО могут быть спроектированы для работы в условиях жаркого климата без снижения эффективности по сравнению с ГФУ-134а.

Возможности ретрофита существующих систем

Системы малой и средней производительности. Ретрофит существующих систем на R-404А может быть проведен с использованием различных хладагентов с гораздо более низким ПГП в диапазоне 1400-2100 (см. табл. 2). Ретрофит промышленных систем малой и средней производительности может привести к значительному сокращению потребления ГФУ уже на раннем этапе.

Ретрофит систем централизованного холодоснабжения и холодильных систем большой производительности обычно не является подходящим решением.

Обучение

R-717. Техники по обслуживанию и ремонту должны пройти обучение работе с R-717, а именно в части использования хладагента, обладающего повышенной токсичностью. Во многих странах существует хорошая практика проведения учебных курсов для техников по работе с R-717.

ГФУ/ГФО с низкой воспламеняемостью. Для обслуживания систем, в которых используются хладагенты, обладающие низкой воспламеняемостью, обучение также играет важную роль. Эти системы еще широко не применяются, поэтому учебных курсов на данный момент мало.

R-744. Системы на R-744 находятся под намного более высоким давлением, чем системы на ГФУ, значительно отличаясь от последних конструкционно. Для работы с такими системами техническому персоналу необходимо пройти основательное дополнительное обучение. В регионах, где этот хладагент уже применяется, существует хорошая практика проведения курсов повышения квалификации техников-холодильщиков для монтажа и обслуживания торгового холодильного оборудования. При этом учебные курсы для техников по промышленным холодильным установкам менее распространены.

Углеводороды. Техники по обслуживанию и ремонту должны пройти обучение работе с хладагентами, обладающими высокой воспламеняемостью. Существует хорошая практика проведения учебных курсов, однако лишь небольшая часть техников по промышленным холодильным установкам имеют навыки работы с УВ-системами большой

производительности.

По всем новым хладагентам необходимо также обеспечить подготовку конструкторов и проектировщиков.

Сведение к минимуму выбросов ГФУ из существующего оборудования

Системы малой и средней производительности. Большей частью выбросы ГФУ имеют место из-за утечек в конце срока службы. В промышленных системах малой производительности по месту монтажа оборудования часто используются медные трубопроводы и прессовое соединение, которые могут быть подвержены утечкам. Применение передового опыта в проектировании и обслуживании может обеспечить значительное сокращение утечек. Выбросов ГФУ во время обслуживания и в конце срока службы можно избежать за счет использования эффективных процедур извлечения и восстановления хладагента с использованием соответствующего оборудования.

Системы централизованного холодоснабжения большой производительности. Во всех системах на R-717 используются стальные трубопроводы. Интенсивность утечек относительно низкая из-за прочности стальных трубопроводов и предотвращения утечек хладагента повышенной токсичности. Некоторые промышленные системы на ГХФУ-22 имеют гораздо более высокий уровень утечек, который можно предотвратить за счет улучшения обслуживания.

Холодильные системы. Чиллерные системы – это оборудование заводского изготовления, имеющее потенциал очень низкого уровня утечек при условии применения современных практик проектирования и технического обслуживания.