

Информационно-аналитическая записка о переводе сектора промышленного холодильного оборудования на озонобезопасные вещества и технологии

Краткое описание сектора промышленного холодильного оборудования и перспективы использования альтернативных безопасных для озонового слоя и климата Земли хладагентов

К сектору промышленного холодильного оборудования (далее – ПХО) относятся: оборудование для заморозки и хранения при низких и средних температурах продуктов питания на складах хранения; оборудование для технологического кондиционирования коммерческой недвижимости и цехов производства; холодильное оборудование для сопровождения всевозможных процессов производства. Основными потребителями такого оборудования являются: склады, предприятия пищевой промышленности, промышленные предприятия, объекты коммерческой недвижимости, пивоваренные предприятия и предприятия по производству безалкогольных напитков. Преимущественную долю на российском рынке составляет ПХО – 60%, на ТХО приходится 40% рынка.

Хотя доля холодильного оборудования импортного производства в настоящее время на российском рынке невелика (20 %), преимущественную часть оборудования составляет продукция, собранная в России из импортных комплектующих (70 %), а доля оборудования, собранного из отечественных комплектующих, лишь 10 %.

Характеризуя некоторые основные тенденции спроса на ПХО в Российской Федерации, необходимо отметить, что основными потребителями холодильного оборудования являются сетевые супермаркеты, пищевые комбинаты, пивоваренные компании и холодильные склады, т.е. перспективы развития рынка ПХО будут и в дальнейшем связаны с перспективами развития средних и крупных предприятий перерабатывающей промышленности и торговли. В развитых же странах (ЕС, США, Канада, Япония и др.) основная доля поставок ПХО в стоимостном выражении приходится на масштабные проекты в химической, нефтеперерабатывающей и горнодобывающей отраслях.

В секторе ПХО величина холодопроизводительности систем, как правило, составляет от 10 кВт до 10 МВт, а температура испарения варьирует от -50 °С до +20 °С. Приблизительно 75 % всех промышленных холодильных установок в мире используются в пищевой промышленности, остальные – на производстве, для обеспечения функционирования спортивных сооружений и в организации досуга. Более 90 % крупных промышленных холодильных систем и от 5 % (в Индии и Китае) до 25 % (в Российской Федерации) систем меньшего размера работают на аммиаке (R-717). Промышленные аммиачные системы в среднем на 15 % более эффективны, чем системы, работающие на ГФУ, в связи с чем в 40 % промышленных холодильных систем в странах ЕС используется R-717. Из-за сильного запаха, присущего R-717, конструкция промышленных аммиачных холодильных систем отличается высокой герметичностью. Объем утечек из европейских систем, работающих на аммиаке, в настоящее время составляет 8-10 %.

С учетом того, что ввоз оборудования, содержащего ОРВ, на территорию Российской Федерации запрещен только с 1 января 2013 г. (Решение Коллегии Евразийской экономической комиссии № 158 от 18 сентября 2012 г. «О внесении изменений в разделы 1.1 и 2.1 Единого перечня товаров, к которым применяются запреты или ограничения на ввоз или вывоз государствами – членами Таможенного союза в рамках Евразийского экономического сообщества в торговле с третьими странами»), импорт до этой даты компонентов ПХО, рассчитанных на использование в качестве хладагента ГХФУ-22, наблюдался в значительных объемах.

Помимо широко распространенного аммиака к альтернативам ГХФУ-22 относятся углеводороды, диоксид углерода (R-744) – для работы с низкими температурами (заморозка), ГФУ и воздух – для работы с очень низкими температурами.

При замене холодильной системы на ГХФУ-22 на систему на R-717 с тепловыми насосами для рекуперации тепла и подогрева воды энергопотребление снижается на 40 %. Энергопотребление аммиачных установок может быть значительно снижено за счет использования дополнительных усовершенствований (понижения температуры конденсации, повышения температуры испарения, использования компрессоров с регулируемой скоростью и многоступенчатых систем).

Углеводороды используются только там, где они уже предусмотрены требованиями по безопасности (на газоперекачивающих станциях, на нефтехимических заводах и т.д.). Эти хладагенты обладают высокой эффективностью и совместимы с большинством материалов и смазочных материалов. Однако в них используются более дорогие, чем в аммиачных системах, средства противопожарной безопасности.

R-744 показал высокую эффективность при использовании в низкотемпературных ветвях каскадных аммиачных систем, в частности, в пищевой промышленности, где хладагент испаряется в морозильном оборудовании предприятия.

В условиях холодного и умеренного климата большинства регионов России целесообразно использовать R-744 в качестве единственного хладагента.

Рядом исследований было показано, что в низкотемпературных установках возможно использование воздуха, обладающего высокой энергоэффективностью при температуре ниже -60 °С.

С 2001 г. компания Nestlé использует в своем промышленном холодильном оборудовании природные хладагенты и системы, работающие на R-717 и R-744. По мнению компании, в низкотемпературных установках следует по возможности применять диоксид углерода (CO₂) в сочетании с аммиаком (NH₃). Помимо множества технических и экономических преимуществ диоксид углерода является более безопасным для окружающей среды, людей и товаров.

Чиллеры

Для кондиционирования воздуха в больших коммерческих зданиях и комплексах зданий (гостиницы, офисные здания, больницы, университеты и др.) обычно используются чиллеры. Они охлаждают воду или другой теплоноситель (например, смесь воды и антифриза), который подается в теплообменники блоков подготовки воздуха или фанкойлов для охлаждения и осушения воздуха. Чиллеры также используются для технологического охлаждения на таких коммерческих и промышленных объектах, как центры обработки данных, узлы связи, электростанции, литейные цеха и т.д. Еще одной сферой применения чиллеров являются централизованные системы холодоснабжения, которые обеспечивают кондиционирование воздуха в нескольких зданиях при помощи одной системы распределения охлажденной воды, а не отдельных систем для каждого здания. Основной задачей чиллера является охлаждение, однако его можно использовать и для рекуперации тепла. Основными компонентами парокомпрессионного чиллера являются: один или более компрессоров с электродвигателями (или, реже, двигателями или турбинами с открытым приводом), охладитель жидкости (испаритель), конденсатор, трубопровод хладагента, маслосистема, дроссельное устройство, расходомер, силовая установка (обычно пусковое устройство или частотно-регулируемый электропривод) и блок защиты и управления. Как правило, чиллеры изготавливаются и проходят испытания в процессе производства на предприятии – изготовителе. Работы по соединению компонентов чиллера, содержащих хладагент, на площадке не требуются, за исключением чиллеров очень большого размера, которые поставляются в виде нескольких аппаратов. Монтаж и установка заключаются в подключении к источникам воды, электроэнергии и системам управления. Парокомпрессионные чиллеры разделяются по типам компрессоров: на чиллеры с центробежными и объемными компрессорами. Чиллеры могут разделяться и по типам теплообменников конденсатора. Наиболее распространены чиллеры с водяным или воздушным охлаждением, реже встречаются чиллеры с испарительным охлаждением и сухие охладители.

Чиллеры с объемными компрессорами

К чиллерам с объемными компрессорами относятся чиллеры с поршневыми, винтовыми и спиральными компрессорами. Модели небольшой производительности в большинстве случаев охлаждаются воздухом, модели мощностью более 350 кВт чаще оснащаются водяным охлаждением. Производительность чиллеров может превышать несколько МВт.

Аммиак (R-717) широко применяется в поршневых и винтовых чиллерах, используемых в технологическом охлаждении, кондиционировании воздуха и на складах хранения пищевых продуктов. В силу высокой токсичности и горючести хладагента такие системы размещаются снаружи или в специальных машинных залах. Высокий уровень шума систем большой производительности обуславливает необходимость их установки в звукоизолированном помещении. Чиллеры такого типа широко применяются в ЕС в аэропортах и аналогичных зонах, требующих большой производительности климатического оборудования. R-717 эффективен при использовании как в средне-, так и в высокотемпературных сферах применения. Системы на R-717 холодопроизводительностью более 200 кВт и приблизительно до 6 МВт по экономической эффективности аналогичны системам, работающим на ГХФУ-22. Барьеры в применении чиллеров такие же, как и в использовании систем на R-717 в целом. Однако следует отметить, что R-717 более пригоден для применения в промышленных системах и системах большой производительности. Соответствующие законодательные нормы успешно действуют в ЕС уже много лет, однако наблюдается интерес в других странах к внесению соответствующих поправок в некоторые стандарты. R-717 является перспективным хладагентом для использования в коммерческих и промышленных установках большой производительности и, если не учитывать действующие в Российской Федерации нормативные требования, пригоден для большинства сфер применения.

В настоящее время в поршневых чиллерах разных производителей используется диоксид углерода (R-744). Мощность таких машин может достигать нескольких сотен киловатт. Сфера применения включает в себя как кондиционирование воздуха, так и охлаждение. В системах других типов эффективность падает с ростом температуры окружающей среды. Таким образом, чиллеры с водяным охлаждением лучше подходят для использования в странах с жарким климатом. Однако использование чиллеров не только для охлаждения, но и для обогрева, позволяет увеличить их сезонную эффективность. В настоящее время ведутся разработки новых моделей, в которых используются новые знания о термодинамических свойствах и особенностях систем. Такие модели обещают быть более эффективными, чем современные системы на ГХФУ и ГФУ. Стоимость чиллеров небольшой производительности, работающих на R-744, выше, чем стоимость систем на ГХФУ-22, поскольку используемые в них трубопроводы и детали должны выдерживать высокое давление. Однако относительная стоимость систем производительностью около 100 кВт приближается к стоимости систем на ГХФУ-22. В последние годы в странах ЕС производство чиллеров с объемным компрессором, работающих на R-744, увеличилось. Такие чиллеры широко распространены и все чаще применяются как для кондиционирования воздуха, так и для охлаждения. Однако эффективность ограничивает их использование преимущественно в странах прохладного климата.

Многие производители в ЕС, США и Японии поставляют чиллеры на R-290 и R-1270. Углеводороды с давних пор широко используются в газоперекачивающих установках и нефтехимической промышленности, а в настоящее время стали применяться для кондиционирования воздуха, хранения пищевых продуктов и охлаждения технологических процессов. В большинстве случаев они применяются в поршневых и винтовых чиллерах. В настоящее время отсутствуют чиллеры, работающие на смесевых углеводородных хладагентах. Эффективность R-290 и R-1270 как в средне-, так и в высокотемпературных сферах применения такая же, как у ГХФУ-22, или выше. Многие производители указывают, что COP (англ. Coefficient of Performance – коэффициент преобразования теплоты, холодильный коэффициент) чиллеров на углеводородах выше, чем у аналогичных моделей, работающих на ГХФУ или ГФУ. Как правило, расходы на перевод чиллеров на УВ невысоки, несмотря на необходимость применения защитных мер, определяющих размер дополнительных издержек. Препятствия для использования углеводородов зависят от конфигурации чиллера. Существенных препятствий для использования чиллеров с воздушным или водяным охлаждением, размещаемых на открытом воздухе (с определенными интервалами) нет. Электрооборудование систем в машинных залах должно быть пригодным для использования в опасных зонах. Кроме того, данные системы оснащают системами обнаружения утечки углеводородного хладагента и аварийной вентиляции (как и в случае чиллеров, работающих на других хладагентах). Основным препятствием является невозможность размещения чиллеров на углеводородах ниже уровня земли (например, в подвальных этажах), если в конструкции системы не предусмотрены дополнительные защитные

меры. Кроме того, необходимо специальное обучение техников. В Европе и некоторых других регионах расширяется использование чиллеров на углеводородах, однако их общее количество до сих пор меньше, чем систем на ГХФУ-22 и ГФУ. Таким образом, углеводородные хладагенты являются перспективной, экономически и энергетически эффективной альтернативой для использования в коммерческой и промышленной сферах, за исключением случаев, требующих размещения чиллеров ниже уровня земли.

ГФО-1234ze(E) пригоден для использования в чиллерах. Испытания оборудования на этом хладагенте уже проведены в ряде стран ЕС. При использовании в поршневых, спиральных или винтовых компрессорах этот хладагент показал такую же эффективность, как ГФУ-134а. В спиральных и поршневых компрессорах возможно использование прежнего полиэфирного смазочного масла. В винтовых компрессорах возможно использование полиэфирного масла того же типа, однако степень вязкости должна соответствовать требованиям производителя оборудования. Несмотря на то что ГФО-1234ze(E) является трудновоспламеняемым хладагентом, как минимум наружная установка должна производиться в соответствии с определенными руководствами и стандартами. ГФО-1234ze(E) может заменить ГФУ-134а в действующих системах при условии незначительных переделок (изменения размера компрессоров). Благодаря высокой критической температуре этот хладагент показывает высокую эффективность в условиях теплого климата.

В чиллерах с объемными компрессорами широко применяются R-407C и R-410A. Особенности использования таких систем такие же, как у сплит-систем и тепловых насосов.

ГФУ-134а нашел широкое применение в поршневых, спиральных и винтовых чиллерах разной производительности. В силу низкого рабочего давления конструкция деталей системы немного отличается от конструкции деталей, предназначенных для работы на ГХФУ-22, R-407C и R-410A. Этот хладагент относится к классу безопасности A1 (низкотоксичное и трудногорючее вещество), следовательно, его использование не представляет угрозы для безопасности. ГФУ-134а менее эффективен, чем ГХФУ-22, однако при внесении соответствующих изменений в конструкцию системы возможно достичь более высокого COP. Стоимость систем, работающих на ГФУ-134а, существенно выше, чем у систем на ГХФУ-22, в силу их большего размера. Так как ГФУ-134а широко распространен, очевидно, что для его использования отсутствуют существенные препятствия.

Смесевой хладагент L-20 может заменить ГХФУ-22 и R-407C в чиллерах с поршневыми или спиральными компрессорами. В силу того, что величины давления у этой смеси такие же, как у ГХФУ-22 и R-407C, внесения значительных изменений в конструкцию не требуется. Хотя L-20 является трудновоспламеняемым хладагентом, установка должна производиться в соответствии с определенными руководствами и стандартами. Эти требования совпадают с требованиями к конструкции и машинным залам для чиллеров, работающих на R-717. Существенными ограничениями для проектирования систем и внедрения L-20 на сегодняшний день являются его доступность на российском рынке и цена.

Смесевой хладагент N-13 пригоден для использования в чиллерах с объемными компрессорами и может заменить ГФУ-134а в действующих системах при условии незначительных переделок (изменения размера компрессоров). При использовании в поршневых, спиральных или винтовых компрессорах этот хладагент показал такую же эффективность, как ГФУ-134а. В спиральных и поршневых компрессорах возможно использование прежнего полиэфирного смазочного масла. В винтовых компрессорах возможно использование полиэфирного масла того же типа, однако степень вязкости должна соответствовать требованиям производителя оборудования. Благодаря высокой критической температуре этот хладагент показывает высокую эффективность в теплом климате. В настоящее время производители в ЕС и США проводят испытания и разрабатывают прототипы чиллеров с поршневыми и винтовыми компрессорами.

Смесевой хладагент XP-10 также потенциально пригоден для использования в чиллерах с объемными компрессорами и при условии незначительных переделок может заменить ГФУ-134а в действующих системах (в первую очередь, изменения размера компрессоров). При использовании в поршневых или спиральных компрессорах этот хладагент показал такую же эффективность, как ГФУ-134а. В спиральных и поршневых компрессорах возможно использование прежнего полиэфирного смазочного масла.

Возможен перевод чиллеров с объемным компрессором с R-410A на ГФУ-32 с учетом его горючести. Благодаря лучшим характеристикам теплопередачи энергоэффективность таких систем такая же, как

у систем на ГХФУ-22 и R-410A, или немного выше. Повышение производительности на единицу рабочего объема компрессора считается положительным аспектом при использовании чиллеров со спиральными компрессорами большой производительности и, наоборот, отрицательным при использовании чиллеров с винтовыми компрессорами малой производительности. Поскольку в случае водяных теплообменников характеристики теплопередачи являются ограничивающим фактором, их улучшение у этого хладагента считается преимуществом. ГФУ-32 хорошо подходит для чиллеров большой производительности с воздушным охлаждением из-за меньшего падения давления. Требования к машинным залам, обусловленные горючестью хладагента, аналогичны требованиям к системам на R-717. Электрические переключатели чиллеров большой производительности могут быть источником воспламенения ГФУ-32. Однако поскольку машинные залы в обязательном порядке оснащаются вентиляционными системами для предотвращения возникновения опасной концентрации, особые требования к переключателям применительно к хладагентам класса A2L не предусмотрены. В настоящее время в Японии проводится оценка рисков использования чиллеров, работающих на хладагентах класса A2L. ГФУ-32 пригоден для использования в чиллерах малой производительности, а хладагенты серии ГФО-1234 предпочтительны для более крупных систем.

Центробежные чиллеры

К центробежным относятся чиллеры, оснащенные одно-, двух- или трехступенчатыми центробежными компрессорами. Такие компрессоры, как правило, используются в системах с водяным охлаждением производительностью более 1 МВт. Центробежные чиллеры с воздушным охлаждением менее распространены и используются, как правило, для кондиционирования воздуха в очень больших зданиях и централизованных системах холодоснабжения.

Центробежные чиллеры, работающие на R-717, встречаются редко, однако они доступны на рынке и используются в некоторых сферах. R-744 в центробежных чиллерах не применяется.

Углеводороды в незначительном объеме используются в центробежных чиллерах, как правило, на нефтехимических заводах, где соблюдаются меры безопасности при работе в опасных зонах.

Эффективность ГФО-1234ze(E) в центробежных компрессорах немного выше, чем у ГФУ-134a. В силу наружного размещения требования к безопасности к таким чиллерам аналогичны требованиям к чиллерам с объемными компрессорами. Благодаря высокой критической температуре этот хладагент показывает высокую эффективность в теплом климате. В настоящее время в эксплуатации находятся несколько чиллеров на ГФО-1234ze(E).

Для замены ГХФУ-123 в центробежных чиллерах низкого давления может использоваться ГХФО-1233zd(E). При использовании в центробежных компрессорах эффективность этого хладагента немного выше, чем у ГХФУ-123, что позволяет проектировать системы с высокими показателями энергоэффективности. Этот хладагент является новым веществом, и, следовательно, его стоимость существенно выше, чем у ГХФУ-123. Однако в перспективе она может быть снижена и окупиться в разумный период времени благодаря высоким показателям энергоэффективности, которые приводят к снижению затрат конечных пользователей. В настоящее время производители в развитых странах оценивают возможности использования этого хладагента.

ГФУ-134a широко применяется в центробежных чиллерах разной производительности. В силу более высокого рабочего давления конструкция деталей таких систем немного отличается от систем на ГХФУ-123. Этот хладагент относится к классу безопасности A1 (низкотоксичное и трудногорючее вещество), следовательно, его использование не представляет угрозы для безопасности. Энергоэффективность значительно ниже, чем у ГХФУ-123. Общая конструкция систем схожа с конструкцией систем на ГХФУ-123. Так как ГФУ-134a широко распространен, очевидно, что для его использования отсутствуют существенные препятствия.

Использование ГФУ-32 в центробежных чиллерах возможно с учетом его горючести. Теплопроводность этого хладагента выше, чем у R-410A, однако из-за высокой внутренней утечки, большого перепада давления и меньшей молярной массы эффективность компрессора снижается по сравнению с системами на ГФУ-134a и других хладагентах низкого давления (например, ГФО-1234ze). Кроме того, точка кипения этого хладагента не такая высокая, как у ГФУ-134a и ГФО-1234ze, поэтому системы, работающие на ГФУ-32, требуют испарителя большего размера. Таким образом, применение ГФУ-32 в центробежных чиллерах существенно ограничено и практически не встречается.

Выводы

Более 90 % крупных промышленных холодильных систем и от 5 % (в Индии и Китае) до 25 % (в Российской Федерации) систем меньшего размера работают на аммиаке (R-717). Энергоэффективность таких систем на 15 % выше, чем систем с применением ГФУ.

Углеводородные хладагенты в ПХО используются только там, где уже предусмотрены требования к безопасности (на нефтехимических и др. предприятиях).

R-717 широко используется в технологическом охлаждении, кондиционировании воздуха и хранении пищевых продуктов.

R-717 эффективен при использовании как в средне-, так и в высокотемпературных сферах применения.

Многие производители в ЕС, США и Японии поставляют чиллеры на R-290 и R-1270. Определенные препятствия для использования чиллеров, работающих на углеводородах, обусловлены конфигурацией агрегатов.

ГФО-1234ze(E) может заменить ГФУ-134а в действующих системах с незначительными изменениями (размер компрессора). По сравнению с ГФУ-134а этот хладагент имеет аналогичную эффективность при использовании в поршневых, спиральных и винтовых компрессорах и более высокую – в центробежных.

ГХФО-1233zd(E) может заменить ГХФУ-123 в центробежных чиллерах низкого давления с незначительным повышением эффективности. В силу высоких критических температур чиллеры на ГФУ-1234ze(E) и ГХФО-1233zd(E) демонстрируют высокие показатели в теплом климате.

В чиллерах с объемными компрессорами наряду с ГФУ-134а широко используются R-407C и R-410A. ГФУ-134а также широко применяется в центробежных чиллерах разных мощностей.

Углеводородные хладагенты в незначительном объеме используются в центробежных чиллерах на нефтехимических заводах, где соблюдаются меры безопасности при работе в опасных зонах.

Преимущественную долю на российском рынке составляет промышленное холодильное оборудование – 60%, на торговое холодильное оборудование приходится 40% рынка.

На российском рынке преимущественную долю занимает холодильное оборудование, собранное в России из импортных комплектующих.

Доля холодильного оборудования импортного производства на российском рынке составляет около 20 %.

На ПХО, собранное из отечественных комплектующих, приходится лишь около 10 % рынка.

Основными потребителями ПХО в России являются сетевые супермаркеты, пищевые комбинаты, пивзаводы и промышленные холодильники.

Наиболее привлекательным сегментом рынка ПХО является изготовление новых и модернизация имеющихся холодильных складов и камер.