

# **Информационно-аналитическая записка о переводе сектора торгового холодильного оборудования на озонобезопасные вещества и технологии**

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

В рамках сектора торгового холодильного оборудования (далее – ТХО) условно можно выделить два подсектора: производства ТХО (включая автономное оборудование, конденсаторные агрегаты, централизованные системы и холодильные установки для автомобильного транспорта) и сервисного обслуживания и ремонта ТХО.

Сектор ТХО включает в себя: торговое холодильное оборудование для хранения продуктов питания и напитков, их выкладки на витринах и обеспечения разных температурных уровней для охлажденных и замороженных продуктов питания; холодильные камеры небольших размеров; холодильное оборудование для технологических процессов в системе общепита; системы центрального холодоснабжения торговых предприятий. Основные потребители этого оборудования: магазины, супермаркеты, продуктовые рынки, предприятия общепита и небольшие пивоварни. Следует отметить, что на протяжении ряда последних лет российский сектор ТХО рос более быстрыми темпами, чем сектор промышленного холодильного оборудования (30-35 % к 20-25 % в год соответственно).

Холодопроизводительность ТХО может находиться в диапазоне от нескольких сотен Вт до 1,5 МВт. С учетом сложившейся структуры ТХО в Российской Федерации можно выделить четыре основных категории ТХО: автономное оборудование, конденсаторные агрегаты, централизованные холодильные системы для супермаркетов и холодильные установки для автомобильного транспорта. Выбор хладагента определяется его количеством, требуемой температурой, энергоэффективностью и регулируемыми нормами.

Современная ситуация на российском рынке ТХО характеризуется превышением предложения над платежеспособным спросом, что стимулирует рост конкуренции среди игроков рынка. В условиях переизбытка предложения отечественным предприятиям достаточно сложно составить конкуренцию зарубежным производителям. Наиболее экономически выгодным, как для поставщиков холодильного оборудования, так и для его потребителей, оказывается осуществление сборки в России зарубежного оборудования. Качество российской сборки вполне удовлетворительно, в то же время это позволяет производителям существенно снизить таможенные пошлины и транспортные расходы, а потребителям приобрести оборудование по более низкой цене и в более краткие сроки.

Следует отметить, что использование в Российской Федерации в качестве хладагентов ХФУ, ГХФУ и смесей на их основе в ТХО сокращается, что обусловлено проникновением на рынок более энергоэффективных альтернатив, а также широким применением компрессорных агрегатов импортного производства, рассчитанных для их применения.

С учетом того, что ввоз оборудования, содержащего ОРВ (ГХФУ), 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»), потенциально возможен ввоз в Российскую Федерацию до этой даты ТХО, пенополиуретановая изоляция которого была изготовлена с использованием ГХФУ-141b, а холодильный контур рассчитан на применение в качестве хладагента ГХФУ-22 или смесей на основе ГХФУ.

## Автономное оборудование

Под автономным оборудованием понимаются системы, где все компоненты составляют единое целое (моноблок).

До недавнего времени аммиак (R-717) не применялся в таких системах в силу ограничений на использование в зонах пребывания людей из-за его горючести и токсичности.

Диоксид углерода (R-744), как правило, используется в торговых автоматах и охлаждаемых витринах для бутылочных напитков. Эта технология отличается прекрасными эксплуатационными возможностями, но сложна в обслуживании. Энергоэффективность такого оборудования такая же, как у агрегатов, работающих на ГФУ-134а, однако при повышении температуры окружающей среды расход энергии увеличивается. Стоимость немного выше, однако транснациональные компании (Coca-Cola и др.), заказывающие такое оборудование, руководствуются в большей степени политическими и экологическими мотивами. Основным препятствием для широкого распространения этого хладагента на рынке является необходимость высокого уровня технической подготовки обслуживающего персонала. R-744 был выбран на замену углеводородам в силу меньшей угрозы безопасности в зонах общественного пользования.

ГФУ-134а может быть заменен хладагентом ГФУ-1234yf в любых сферах, где требуется низкий ПГП, однако из-за ограниченного предложения количество оборудования, работающего на нем, невелико. Опубликованные результаты ряда исследований показывают, что ГФУ-1234yf сопоставим с ГФУ-134а по уровню энергоэффективности. Уже разработаны поршневые компрессоры, в которых он может использоваться. В Японии этот хладагент уже применяется в торговых автоматах. Основными препятствиями для внедрения этого хладагента на рынке являются ограниченное предложение и стоимость.

Углеводороды R-600a и R-290 нашли применение в ТХО небольшого размера, при этом R-600a используется в агрегатах меньшей мощности. В охлаждаемых витринах для бутылочных напитков используются оба хладагента, в льдогенераторах и небольших холодильных витринах – R-290. Энергоэффективность углеводородных хладагентов либо эквивалентна энергоэффективности ГХФУ и ГФУ, обычно используемых в этой сфере, либо превышает ее. Небольшие дополнительные расходы на обеспечение безопасности включены в стоимость, которая почти не отличается от стоимости оборудования, работающего на ГФУ.

Европейский стандарт EN-378 разрешает применять углеводородные хладагенты в размере заправки до 1,5 кг в зонах общественного пользования, если площадь помещения достаточно велика. Крупные транснациональные компании решили отказаться от использования ГФУ в новых системах. В этой связи углеводородные хладагенты широко применяются в небольших системах ТХО, содержащих от 15 г до 1,5 кг хладагента.

Основными хладагентами в автономном оборудовании пока остаются ГФУ-134а и R-404A, но эта ситуация сохранится в течение максимум 5-7 лет. Последний хладагент в Европе уже рассматривается в качестве краткосрочного варианта конверсии. Главным препятствием для использования обоих хладагентов является их высокий ПГП, в силу чего существующие и будущие международные соглашения в сфере регулирования обращения парниковых газов антропогенного происхождения потребуют отказа от использования ГФУ-134а во всем мире и R-404A как минимум в Европе. В настоящее время существует:

Две возможных альтернативы R-404A:

- негорючие смеси (N-40 и DR-33);
- горючие хладагенты класса 2L с низким ПГП (L-40).

Две альтернативы ГФУ-134а:

- негорючие смеси (N-13 и XP-10);
- горючие хладагенты класса 2L (ГФУ-1234yf и ГФУ-1234ze(E)).

## Конденсаторные агрегаты

Холодопроизводительность конденсаторных агрегатов, как правило, составляет от 1 до 20 кВт. Под конденсаторными агрегатами подразумевают устройство, состоящее из одного или двух компрессоров, конденсатора и ресивера и размещаемое обычно за пределами торговой площади. Конденсаторные агрегаты устанавливаются в специализированных магазинах (булочных, мясных лавках и небольших продовольственных магазинах).

Аммиак (R-717) в таких системах не используется в силу опасности. В Северной Европе продается несколько новых моделей конденсаторных агрегатов, работающих на диоксиде углерода (R-744), однако их продвижение на рынок идет медленно. При высоких температурах наружного воздуха применяют двухступенчатые системы на R-744, в холодных странах – одноступенчатые. Установка двухступенчатой системы требует значительных дополнительных расходов, поэтому стоимость является основным препятствием для использования систем, работающих на R-744. Если будет принято решение о полном отказе от углеводородных хладагентов, то возможно продолжение разработок в этом направлении, но при этом рыночная доля таких систем останется ограниченной.

В Европе эксплуатируется несколько моделей конденсаторных агрегатов холодопроизводительностью от 1 до 20 кВт с наружным охлаждением, работающих на R-290 и R-1270. Опыт эксплуатации этих установок показал их высокую энергоэффективность. Чтобы ограничить увеличение расхода энергии, системы с наружным охлаждением оснащают вторичным контуром с увеличенной площадью теплообменников. Стоимость таких систем, работающих на вышеуказанных углеводородных хладагентах, как правило, на 5-15 % выше, чем у систем на ГФУ.

Углеводороды рассматриваются как долгосрочное решение и требуют усовершенствования холодильного контура в связи с требованиями к безопасности при обслуживании.

Оптимальными хладагентами на основе ГФУ для конденсаторных агрегатов являются ГФУ-134а, R-404А и в некоторой степени R-410А. ГФУ-134а используется в маломощных системах с температурой испарения более -15 °С. В системах большей мощности на всех температурных уровнях используются R-404А и R-410А. Данные по энергоэффективности ГФУ широко применяются для сравнительного анализа других альтернативных хладагентов. Как и в других категориях ТХО, ГФУ с высоким ПГП рассматриваются лишь в качестве краткосрочных вариантов, хотя они все еще занимают лидирующие позиции на рынке.

## Централизованные системы

Централизованные системы являются оптимальным вариантом охлаждения продуктов питания для супермаркетов. Они состоят из многокомпрессорных агрегатов, установленных в машинном зале. Существует два основных вида таких установок: системы непосредственного охлаждения и системы с промежуточным хладоносителем.

По состоянию на сегодняшний день наиболее распространены системы непосредственного охлаждения. Хладагент подается в жидком виде из машинного зала в торговый зал, где испаряется в теплообменниках витрин и в газообразной форме возвращается к всасывающим коллекторам многокомпрессорных агрегатов. Охлаждение морозильных камер происходит аналогичным образом.

В мощных системах с промежуточным хладоносителем используется аммиак, а на низкотемпературном уровне, как правило, диоксид углерода. Действующими требованиями к безопасности количество таких установок пока ограничено. Аммиак рассматривается в качестве эффективного хладагента в централизованных системах ТХО. При этом дополнительные расходы составят 10-15% от стоимости систем с промежуточным хладоносителем, работающих на ГФУ и R-744, и связаны с использованием стали вместо меди. Однако при мощности более нескольких сотен кВт такие системы становятся более конкурентоспособными с точки зрения цены. В странах с холодным климатом конкуренцию аммиаку составляют ГФУ, углеводороды и даже диоксид углерода, однако пользователи могут продолжать выбирать решения на аммиаке.

Уверенное положение на европейском рынке заняли двухступенчатые системы, в которых R-744 используется как на среднетемпературном (от -10 до -15 °С), так и на низкотемпературном (от -35 до -38 °С) уровнях: на сегодняшний день такие системы установлены более чем в 1 000 магазинов стран ЕС.

Крупные европейские компании на среднетемпературном уровне используют холодильные машины на ГФУ-134а и на низкотемпературном – системы непосредственного охлаждения, работающие на R-744, или системы с промежуточным хладагентом. Такое сочетание применяется в разных климатических условиях. R-744 эффективен при температуре конденсации ниже 25 °С. При высокой температуре окружающей среды значительно увеличивается энергопотребление транскритического цикла. В настоящее время ведется работа над повышением их энергоэффективности. Дополнительные расходы и в этом случае составляют 10-15 %.

Низкая энергоэффективность при работе в жарком климате является одним из препятствий для продвижения диоксида углерода в подсекторе централизованных систем ТХО. В силу того, что R-744 в системе находится под высоким давлением, прочность пайки должна быть выше, чем в обычных системах, работающих на ГФУ. R-744 рассматривается в качестве долгосрочного решения для нижней ветви каскадных систем, работающих на среднетемпературном хладагенте. С учетом климатических условий R-744 может стать основным вариантом для использования в Российской Федерации.

Углеводороды (R-290 или R-1270) применяются менее чем в 100 централизованных системах в странах ЕС. R-290 и R-1270 эффективны при использовании как на средне-, так и на низкотемпературном уровнях охлаждения. Дополнительные расходы связаны с предотвращением утечек и обеспечением безопасности. Нормы и стандарты ограничивают содержание хладагента в системе и тем самым создают препятствие для использования углеводородов. Распространение централизованных систем, работающих на углеводородах, сдерживается конкуренцией со стороны R-744, обладающего низким ПГП.

Положение ГФУ с низким ПГП такое же, как описано выше. В настоящее время отсутствуют ГФУ с низким ПГП, пригодные для использования в централизованных системах. Для модернизации действующих систем потенциально возможно использование негорючих смесей (N-40 и DR-33), которые повысят энергоэффективность приблизительно на 7 %. Трудногорючие хладагенты (L-40) могут найти применение в системах с промежуточным хладагентом, в частности, работающих на рассоле или диоксиде углерода под давлением, где становится возможным снизить горючесть. Другими альтернативами ГФУ-134а являются следующие варианты: негорючие смеси (N-13 и XP-10) для модифицированных систем и трудногорючие хладагенты (ГФУ-1234yf и ГФУ-1234ze(E)) для каскадных систем.

Самый распространенный хладагент с относительно низким ПГП в настоящее время – R-404А, однако в новых установках на низкотемпературном уровне вместо него используется ГФУ-134а. Попытки применения R-410А в новых установках не увенчались успехом. В качестве промежуточных вариантов предлагаются R-407А и R-407F. Стоимость R-404А в настоящее время снижается. Следует отметить, что все развитые страны будут сокращать использование ГФУ с высоким ПГП по мере вступления в силу новых международных норм в сфере сокращения производства и потребления ГФУ.

К системам охлаждения на транспортных средствах предъявляются крайне высокие технические требования. Оборудование должно быть пригодно для работы при самых разных температурах окружающей среды и в разных природных условиях (ветер, солнечное излучение, дождь, брызги морской воды и т. д.) и для перевозки разных грузов при разных температурах, иногда одновременно в разных отсеках.

### **Холодильные установки для автомобильного транспорта**

В развитых странах предпочтительными хладагентами для охлаждения на транспортных средствах пока являются ГФУ. Количество хладагента может составлять от менее 1 кг (фургоны-рефрижераторы) до нескольких кг (грузовики, трейлеры и рефрижераторные контейнеры). По имеющимся оценкам объем утечек хладагентов составляет 20 % в грузовиках и трейлерах и 30 % в фургонах. Во всех контейнерах для смешанной перевозки используются герметичные или полугерметичные системы, объем утечек в которых составляет менее 5 %.

Практически во всех трейлерах и большегрузных автомобилях используется R-404А. В Германии один из производителей холодильного оборудования этого типа применяет в качестве хладагента R-410А. ГФУ-134а широко распространен в малогабаритных грузовиках и фургонах, так как он пока еще может использоваться в автомобильных кондиционерах. ГФУ-134а не является идеальным решением, но он удобен. При необходимости увеличить холодопроизводительность, малогабаритные

грузовики и фургоны могут оснащать системами на R-404A. ОРВ в новом оборудовании не используются более десяти лет.

Перспектива необходимости отказа от использования хладагентов с высоким ПГП создает проблемы в секторе ТХО на автотранспортных средствах. Испытания альтернатив с низким ПГП проводятся в ряде развитых стран, но в ближайшем будущем появления подходящего альтернативного варианта не предвидится. Основная проблема заключается в получении хладагента с такими же высокими рабочими характеристиками, что и у R-404A. Более эффективный R-410A отличается высоким давлением (из-за чего большинству производителей приходится вносить изменения в технологию) и относительно высоким ПГП.

ГФУ-134a и альтернативные хладагенты с низким ПГП представляют интерес, однако на данный момент они пригодны только для перевозки охлажденных грузов, а для проверки их пригодности к перевозке замороженных грузов необходимы дополнительные испытания.

Использование R-744 в автомобильном транспорте по-видимому станет возможным после появления на рынке более эффективных многоступенчатых компрессоров, которые в настоящее время находятся в стадии разработки.

В Великобритании, Австралии и Германии проводились испытания сравнительно небольшого количества автомобилей, оборудованных холодильными системами на углеводородах (в основном на R-290). По их результатам было установлено, что применение углеводородов является предпочтительным вариантом, так как они позволяют снизить энергопотребление на 20 и более %. В Германии разработан грузовик-рефрижератор на пропене (R-1270), который в настоящее время проходит полевые испытания в сети супермаркетов. По показателям эта система превосходит R-404A и сравнима с R-410A. Для более широкого внедрения на рынок производителям и покупателям требуются особые правила и стандарты, обеспечивающие безопасность использования углеводородов в транспортных холодильных системах.

В отличие от трейлеров, в контейнерах для смешанной перевозки в основном используется ГФУ-134a и в некоторых случаях R-404A. Выбор ГФУ-134a объясняется его широкой доступностью и относительно низкой ценой, несмотря на то, что R-404A (или в настоящее время R-410A) лучше подходит для этой сферы применения. Благодаря более низкому давлению объем утечек ГФУ-134a меньше, чем у R-404A, однако выше риск попадания воздуха в контур охлаждения при перевозке замороженных продуктов. Имеются успехи в продвижении R-744 в качестве хладагента в контейнерах. Благодаря двухступенчатому сжатию, разгрузке цилиндров и двигателя с регулируемой скоростью, эффективность системы на R-744 оказалась такой же, как у лучших в своем классе установок, работающих на ГФУ.

Токсичность и проблемы совместимости с материалами делает аммиак (R-717) непригодным для использования в грузовиках, трейлерах и контейнерах для смешанной перевозки.

Альтернативой парокompрессионным установкам на автомобильном транспорте являются криогенные системы или системы с разомкнутым контуром, в которых жидкий диоксид углерода или азот испаряется в изотермическом контейнере, установленном в грузовике. Такие системы отличаются низким уровнем шума и надежностью, а также обладают постоянной холодопроизводительностью, независимой от частоты вращения двигателя. С другой стороны, системы, подающие диоксид углерода или азот в грузовой отсек (а это происходит не во всех подобных системах), должны быть оснащены датчиками газа, чтобы исключить риск отравления хладагентами. Сжижение криогенной жидкости требует дополнительного расхода энергии, что в зависимости от источника энергии может увеличить или уменьшить эксплуатационные затраты. Системы требуют регулярной дозаправки, для чего необходимо создание соответствующей инфраструктуры для хранения и дозаправки сжиженных газов. Помимо всего прочего, такие системы отличаются самой низкой эффективностью и экологичностью. Это связано с тем, что используемая в них рабочая жидкость должна извлекаться из окружающей среды или определенных процессов, что означает компрессию в условиях, где минимальное давление практически равно атмосферному, и, следовательно, такие системы расходуют во много раз больше энергии, чем системы с закрытым компрессионным контуром. Таким образом, с учетом энергопотребления в течение срока службы эти системы нерентабельны.

## Отказ от использования ГХФУ-141b в качестве вспенивателя теплоизоляции в производстве торгового холодильного оборудования

В секторе производства ТХО вопросы конверсии на альтернативные вспениватели во многом уже решены. Перевод на циклопентан и другие озонобезопасные вещества оставшихся крупнейших производителей этого сектора – ОАО «Полюс» (г. Йошкар-Ола, Республика Марий Эл), ООО «ПК «Совиталпродмаш» (г. Волжск, Республика Марий Эл) и др. запланировано на 2015-2016 гг. как за счет собственных средств предприятий, так и за счет безвозмездной помощи, которая будет оказана в рамках Проекта ЮНИДО / ГЭФ – Минприроды России «Поэтапное сокращение потребления ГХФУ и стимулирование перехода на не содержащее ГФУ энергоэффективное холодильное и климатическое оборудование в Российской Федерации посредством передачи технологий»

К настоящему времени практически все производители ТХО в мире отказались от использования ГХФУ-141b в качестве вспенивающего агента и осуществили конверсию на циклопентан. Переход на циклопентан, предприятие получает целый ряд преимуществ, таких как существенное повышение качества и класса энергопотребления выпускаемой холодильной техники, освоение современных технологий, не оказывающих отрицательного воздействия на озоновый слой и климат Земли, возможность экспорта выпускаемой продукции за пределы Российской Федерации, а также возможность сотрудничества и совместной деятельности с основными мировыми производителями ТХО.

Перевод предприятия, производящего ТХО, на циклопентан представляет собой довольно сложную с технической точки зрения задачу, поскольку речь идет о замене/модернизации всей технологической линии. Более того, из-за взрывоопасности циклопентана на всех стадиях подготовки и реализации проекта по отказу от ГХФУ-141b предприятие должно уделяться особое внимание вопросам безопасности.

**Таблица 1 – Сравнение озонобезопасных альтернативных вспенивателей, рекомендуемых для применения в секторе ТХО**

| Вспениватель                                  | Преимущества                                                           | Недостатки                                                                               | Примечание                                                                                                                                                                        |
|-----------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Циклопентан и смеси циклопентана и изопентана | Низкий ПГП                                                             | Горючи                                                                                   | Высокие суммарные капитальные затраты, которые оказываются приемлемыми для большинства крупных предприятий сектора ТХО и не приемлемыми для предприятий малого и среднего бизнеса |
|                                               | Низкие эксплуатационные затраты                                        |                                                                                          | Отработанная технология в секторе ТХО                                                                                                                                             |
|                                               | Хорошие термоизоляционные и механические характеристики пеноматериалов |                                                                                          |                                                                                                                                                                                   |
| ГФУ-245fa, ГФУ-365mfc / ГФУ-227ea             | Негорючи                                                               | Высокий ПГП                                                                              | Низкие суммарные капитальные затраты                                                                                                                                              |
|                                               | Хорошие термоизоляционные и механические характеристики пеноматериалов | Высокие эксплуатационные затраты                                                         | Высокие термоизоляционные характеристики (по сравнению с углеводородами)                                                                                                          |
| CO2 (вода)                                    | Низкий ПГП                                                             | Средние характеристики пеноматериалов: высокая теплопроводность и высокая плотность пены | Низкие суммарные капитальные затраты                                                                                                                                              |

|              |                                                     |                                                                                          |                                                                                                    |
|--------------|-----------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|
|              | Негорючи                                            | Высокие эксплуатационные затраты                                                         | Улучшенные рецептуры второго поколения, не увеличивающие плотность ППУ-изоляции по сравнению с ГФУ |
| Метилформиат | Низкий ПГП                                          | Средние характеристики пеноматериалов: высокая теплопроводность и высокая плотность пены | Средние суммарные капитальные затраты (рекомендована защита от коррозии)                           |
|              | Горюч, но в смесях с полиолами может быть негорючим | Высокие эксплуатационные затраты                                                         |                                                                                                    |
| ГХФО / ГФО   | Низкий ПГП                                          | Высокие эксплуатационные затраты                                                         | Апробированная в последние годы технология                                                         |
|              | Негорючи                                            |                                                                                          | Многообещающие показатели энергоэффективности (равны или лучше, чем у насыщенных ГФУ)              |
|              |                                                     |                                                                                          | Низкие суммарные капитальные затраты                                                               |

## **Перечень основного технологического оборудования, которое необходимо заменить/модернизировать в рамках отказа от ГХФУ-141b и перехода на циклопентан в секторе торгового холодильного оборудования**

### **Склад хранения циклопентана**

В большинстве случаев речь идет о емкостях для хранения циклопентана объемом 30-40 куб. м, вынесенных за пределы заводских помещений. В зависимости от географического положения, а также местных норм и требований органов сертификации и контроля емкости могут быть расположены как на поверхности, так и полностью или частично под землей. Как правило, требуется не менее двух таких емкостей: одна – для непосредственного использования, другая – для аварийного слива циклопентана в случае аварии. К установке подготовки рабочей смеси циклопентан подается соответствующими насосами.

Если предполагаемые объемы потребления циклопентана относительно невелики, возможен более экономичный вариант склада. Циклопентан в бочках объемом чуть более 200 л складывается в специально отведенном для хранения месте на открытом воздухе, но обязательно под навесом, обеспечивающим защиту бочек от осадков и солнечных лучей. Со склада бочки поступают к станции смешивания, где в условиях, обеспечивающих необходимую безопасность, циклопентан посредством специального насоса подается для подготовки смеси с полиолом. На всех этапах хранения, транспортировки и смешивания циклопентана должна быть обеспечена надежная система защиты от возможного воспламенения и взрыва.

### **Станция смешивания полиола с циклопентаном**

Станции смешивания полиола с циклопентаном устанавливаются в специальном помещении с повышенной степенью защиты. Назначением этой станции является замешивание циклопентана в полиол, являющийся одним из двух компонентов в составе полиуретана. Подача и смешивание компонентов осуществляются в полностью автоматическом режиме, после чего смесь поступает либо напрямую к пенозаливочным машинам или же, в зависимости от особенностей производства, в цеховую рабочую емкость объемом от 500 до 1 000 л.

Станции смешивания изолируются от основного помещения специальным защитным боксом, оснащенным датчиками-газоанализаторами, системой вентиляции с двухскоростным режимом, системой освещения во взрывобезопасном исполнении, а также пультом управления всеми системами контроля и обеспечения безопасности.

## **Система подачи смеси полиола и циклопентана к пенозаливочной технике**

Полученная в цехе (участке) подготовки смесь полиола с циклопентаном подается к пенозаливочным машинам по системе трубопроводов, соединяющей все пенозаливочные машины. Данный трубопровод изготавливается из высококачественной стали, все сварочные работы производятся на месте специалистами высшей категории с целью полного исключения возможных протечек.

### **Пенозаливочная техника**

Традиционные заливочные машины, как правило, не предназначены для работы с циклопентаном (за исключением машин, изготовленных в «предпентанизированном» исполнении). Для этого используются машины, все части и узлы которых, находящиеся в контакте с циклопентаном, имеют специальное взрывобезопасное исполнение и защиту, в частности:

- электрооборудование в варианте исполнения по классу «EX»;
- клапанные системы во взрывобезопасном исполнении как на подаче компонента в расходную емкость, так и между самой емкостью и насосом;
- система поддержания азотной среды в расходной емкости с компонентом;
- система заземления всех частей машины;
- сливной поддон под расходной емкостью с компонентом в комплекте с соответствующими датчиками уровня на случай пролива компонента;
- защитный бокс;
- система двухскоростной вентиляции бокса на случай аварийной ситуации.

При разработке проекта конверсии предприятия сектора ТХО следует принимать во внимание то обстоятельство, что с учетом морального и физического износа пенозаливочной техники ее модернизация при переходе на циклопентан зачастую не представляется экономически обоснованной, а иногда и технически возможной. В каждом отдельном случае данный вопрос требует отдельного рассмотрения с участием специалистов компании – изготовителя пенозаливочного оборудования.

### **Линии изготовления ППУ теплоизоляции холодильных шкафов и боксов**

Если степень износа оборудования не слишком высока, существует потенциальная возможность технического перевооружения, включающего в себя перевод электрооборудования во взрывобезопасное исполнение, заземление всех основных частей установки, оборудование защитного бокса с системой вентиляции и установку датчиков газоанализаторов в местах возможной утечки компонента.

### **Инертизация азотом**

При использовании циклопентана в качестве вспенивающего агента вместо обычной воздушной среды в складских, промежуточных и расходных емкостях должен использоваться азот, создающий инертную невзрывоопасную среду.

Азот может поставляться в стандартных баллонах или производиться непосредственно на месте использования. Имеет смысл поставлять азот в баллонах в случае потребления в небольших и средних объемах, в то время как при больших объемах потребления рекомендуется производить азот с помощью специального оборудования и распределять его по системе трубопроводов непосредственно к потребителям. Кроме того, азот используется для продувки («инертизации») проемов шкафов/холодильных боксов непосредственно перед заливкой пенополиуретана. Выполняется это с помощью специального азотного клапана, смонтированного непосредственно на заливочной головке или на борту тележки, обеспечивающей загрузку заготовок шкафов/холодильных боксов в линию заливки. При этом автоматически будет выбрана правильная доза азота для продувки шкафа холодильника в зависимости от его модели и объема.



## **Защитный вентилируемый бокс**

Все части и узлы линии заливки шкафов/холодильных боксов и дверей, где предполагается наличие циклопентана в чистом виде или в смеси с полиолом, должны быть изолированы с целью предельного сокращения зон с повышенным классом пожаро- и взрывоопасности. Для этой цели используются специальные боксы, внутри которых поддерживается разряженная среда, а в конструкции применяются исключительно материалы, обладающие антистатическими свойствами. Кроме того, боксы имеют аварийные системы доступа и снабжаются системой вытяжной вентиляции, а сама система вентиляции – дублирующим двухскоростным вентиляционным оборудованием.

Основная система вентиляции работает в постоянном режиме, в случае же появления паров циклопентана и срабатывания системы аварийной безопасности к ней подключается и вторая, аварийная, система вентиляции. Благодаря этому даже в случае выброса смеси с циклопентаном или циклопентана в чистом виде низший взрывной предел LEL (англ. Low Explosion Limit) не будет превзойден ни при каких обстоятельствах, что гарантирует безопасность персонала и производственного оборудования.

## **Система обеспечения безопасности**

Система аварийной безопасности предполагает наличие датчиков газоанализаторов, датчиков уровня на случай возможной утечки компонента, датчиков входных дверей и датчиков наличия инертной среды и работоспособности вентиляционного оборудования. Показания всех этих систем слежения выводятся на один общий или несколько локальных пультов управления и контроля.

Сами пульты управления системой безопасности оснащаются двойной системой электропитания – основной и аварийной, переключение с первой на вторую производится в автоматическом режиме. При этом обеспечивается поддержание в активном режиме всех аварийных и вентиляционных систем в момент отключения электроэнергии.

Все аварийные сигналы дублируются на специальном пульте управления, устанавливаемом в таком месте, где гарантируется постоянное нахождение оператора. Таким образом обеспечивается своевременное оповещение службы безопасности о наступлении аварийной ситуации даже в ночные часы, а также в праздничные и выходные дни.

## **Система электроснабжения**

С целью гарантии максимального уровня безопасности предусматривается двойная (основная и аварийная) система электроснабжения на основе двух независимых источников питания. При этом подключение аварийной системы энергоснабжения произойдет автоматически, что, с одной стороны, подстрахует работу основной в случае выхода ее из строя, а с другой – исключит даже малейшую возможность отключения оборудования и в первую очередь оборудования системы безопасности от источника энергоснабжения.

В случае отсутствия двух независимых линий подачи электроэнергии необходимо обеспечить наличие специального источника питания, который будет автоматически введен в действие в случае отключения электроэнергии от основного источника.

## **Производственные помещения**

Производственные помещения, в которых устанавливается технологическое оборудование по запениванию пенополиуретаном шкафов и дверей холодильников и морозильников, оборудуются системой аварийного выхода, системой освещения во взрывобезопасном исполнении и системой аварийной безопасности в полном соответствии с требованиями общих и местных правил и норм.

## **Обучение персонала**

Включение в технологический цикл такого взрывоопасного вещества, как циклопентан, предполагает повышенный уровень ответственности со стороны как руководящего, так и обслуживающего персонала предприятия. В этой связи важным компонентом проекта конверсии становится обучение персонала всех уровней правилам эксплуатации оборудования и систем безопасности, а также действиям в условиях наступления аварийной ситуации.

## **Проектная, нормативная и разрешительная документация**

Компания – поставщик оборудования обязана предоставить предварительный проект (план) мероприятий по переводу оборудования на циклопентан. При этом данный проект, как правило, выполненный на основе зарубежных норм, непременно должен быть адаптирован к требованиям действующих российских правил, что подразумевает непременно подключение российских проектных учреждений и организаций, имеющих соответствующие разрешения и лицензии.

Кроме того, все помещения, задействованные под хранение, смешивание и заливку систем с циклопентаном, должны соответствовать требованиям российских общих и местных правил и норм.

Ведущими производителями пенозаливочного оборудования являются преимущественно итальянские компании (Cannon Afros Spa., SAIP S.u.r.l. и др.).

## **Оценка затрат на осуществление конверсии на озонобезопасный циклопентан в секторе торгового холодильного оборудования**

С учетом перечня основного технологического оборудования, которое необходимо заменить / модернизировать в рамках отказа от ГХФУ-141b и перехода на циклопентан в секторе ТХО, была осуществлена усредненная оценка затрат. В связи с тем, что оборудование для вспенивания ППУ-изоляции в Российской Федерации не производится, все оценки были сделаны в долл. США.

Устанавливаемое оборудование должно соответствовать следующим европейским и российским нормам:

- IEC 79-16 «Оборудование электрическое для взрывоопасных газовых сред»;
- IEC 79-10 «Классификация взрывоопасных зон»;
- IEC 79-14 «Электрооборудование во взрывоопасных зонах»;
- EN 50054 «Электрооборудование для обнаружения и измерения горючих газов, Общие требования и методы испытаний»;
- EN 50057 «Электрооборудование для обнаружения и измерения горючих газов – эксплуатационные требования для группы II с указанием нижнего предела взрываемости на 100 %»;
- VDMA 24 169 «Bauliche Explosionsschutzmaßnahmen an Ventilatoren»;
- Заключение № 330056, выданное итальянским экспериментальным центром по топливу: «Химические и физические свойства смесей полиола и циклопентана»;
- Заключение № SIN 93/026498, выданное итальянским экспериментальным центром по электротехнике (CESI) «Классификация зон с опасностью взрыва в связи с работой заливочных машин для ППУ в составе следующих агрегатов: система смешивания полиола-циклопентана, заливочная машина, емкость, смесительная головка».

Компания, осуществляющая модернизацию имеющихся у российских предприятий заливочных машин в «предпентанизированном» исполнении должна их оснастить оборудованием, соответствующим нормам АTEX. В подтверждение этого на оборудование должна быть нанесена маркировка: Ex II 3/-G IIA T3 (0°C ≤ Tamb ≤ +40°C) X.

**Таблица 2 – Оценка затрат на осуществление конверсии на озонобезопасный циклопентан среднемасштабного предприятия сектора торгового холодильного оборудования**

| №№ | Наименование | Кол-во, | Стоимость, | Общая | Примечание |
|----|--------------|---------|------------|-------|------------|
|----|--------------|---------|------------|-------|------------|

| п/п |                                                                                                           | шт | долл. США            | стоимость,<br>долл. США |  |
|-----|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|----------------------|-------------------------|--|
| 1.  | Оборудование склада хранения циклопентана                                                                 |    |                      |                         |  |
| 1.1 | Сменный пневматический подающий насос для подачи циклопентана в бочки станции предварительного смешивания | 1  | 5 000 –<br>5 500     | 5 000 –<br>5 500        |  |
| 1.2 | Комплект оборудования для инертизации азотом                                                              | 1  | 2 000 –<br>2 500     | 2 000 –<br>2 500        |  |
| 2.  | Зона предварительного смешивания циклопентана и полиола                                                   |    |                      |                         |  |
| 2.1 | Станция предварительного смешивания циклопентана и полиола                                                | 1  | 70 000 –<br>80 000   | 70 000 –<br>80 000      |  |
|     | Модуль полиола со шкафом управления                                                                       | 1  | 30 000 –<br>35 000   | 30 000 –<br>35 000      |  |
| 3.  | Модернизация существующей линии для запенивания холодильных шкафов / боксов ТХО                           |    |                      |                         |  |
| 3.1 | Комплект оборудования для перевода на циклопентан существующих машин запенивания шкафов /боксов ТХО       | 2  | 100 000 –<br>110 000 | 200 000 –<br>220 000    |  |
| 3.2 | Комплект оборудования для инертизации азотом существующей машины запенивания                              | 2  | 30 000 –<br>35 000   | 60 000 –<br>70 000      |  |
| 4   | Замена заливочной машины высокого давления                                                                |    |                      |                         |  |
| 4.1 | Заливочная машина высокого давления                                                                       | 1  | 190 000 – 200<br>000 | 190 000 – 200<br>000    |  |
| 5.  | Электронный эксплозиметр                                                                                  |    |                      |                         |  |
| 5.1 | Электронный эксплозиметр для тестирования датчиков циклопентана                                           | 1  | 2 500 –<br>3 000     | 2 500 –<br>3 000        |  |
| 6.  | Система безопасности                                                                                      | 1  | 50 000 –<br>60 000   | 50 000 –<br>60 000      |  |
| 7.  | Инжиниринг                                                                                                | 1  | 40 000 –<br>50 000   | 40 000 –<br>50 000      |  |
| 8.  | Комплект запасных частей и расходных материалов                                                           |    |                      |                         |  |
| 8.1 | Комплект запасных частей и расходных материалов на 2 года работы                                          | 1  | 35 000 –<br>40 000   | 35 000 –<br>40 000      |  |
|     |                                                                                                           |    |                      |                         |  |
|     | ИТОГО:                                                                                                    |    |                      | 684 500 – 766<br>000    |  |

Ориентировочная стоимость оборудования, которое необходимо приобрести среднему предприятию – производителю торгового холодильного оборудования для осуществления конверсии на озонобезопасный циклопентан может составить в среднем от 680 до 770 тыс. долл. США. Эта сумма зависит от количества заливочных машин для запенивания боксов / шкафов / дверей ТХО на предприятии и стратегии их конверсии (модернизация и / или замена, см. пп. 3.1 и 4.1 таблицы).

Дополнительные расходы предприятия на проведение строительных и монтажных работ, приобретение вентиляционного оборудования, переобучение персонала и т.д. могут составить до 50 % от стоимости основного оборудования.

Таким образом, суммарные затраты предприятия сектора БХО на осуществление конверсии на озонобезопасный циклопентан могут составить от 1 до 1,2 млн долл. США.

## Выводы

В секторе ТХО в настоящее время в основном используется автономное оборудование, работающее на ГФУ-134а и R-404А.

R-600a и R-290 применяются в секторе ТХО в небольших системах, содержащих от 15 г до 1,5 кг хладагента.

R-744 в секторе ТХО в основном используется в торговых автоматах. Несмотря на преимущества, применение R-744 связано с техническими сложностями.

Стоимость оборудования в секторе ТХО, работающего на углеводородных хладагентах, с учетом затрат на обеспечение его безопасности практически не отличается от стоимости оборудования на ГФУ.

ГФУ-134a в секторе ТХО потенциально может быть заменен на ГФО-1234yf, обладающий схожими показателями энергоэффективности. Основным препятствием для внедрения ГФО-1234yf является его цена.

Продвижение на рынок конденсаторных агрегатов, работающих на альтернативных хладагентах R-744, R-290 и R-1270, идет медленно. Такие установки демонстрируют высокие показатели энергоэффективности, однако их стоимость, как правило, на 5-15 % выше, чем у систем на ГФУ.

Оптимальными ГФУ-хладагентами для конденсаторных агрегатов в настоящее время являются ГФУ-134a, R-404A и в некоторой степени R-410A.

В целом в развитых странах применение в ТХО ГФУ с высоким ПГП рассматриваются в качестве краткосрочных вариантов.

В настоящее время для охлаждения супермаркетов крупные европейские компании на среднетемпературном уровне используют холодильные машины на ГФУ-134a, а на низкотемпературном – системы непосредственного охлаждения, работающие на R-744, или системы с промежуточным хладоносителем.

Аммиак применяется в централизованных системах с промежуточным хладоносителем большой мощности, в которых на низкотемпературном уровне используется R-744. В силу требований техники безопасности количество таких установок пока ограничено.

Снижения ПГП можно достичь путем замены ГФУ-134a на ГФО-1234yf или ГФО-1234ze при условии учета низкой воспламеняемости этих хладагентов на этапе проектирования. В действующих установках в качестве негорючих хладагентов могут использоваться смеси с малым температурным гистерезисом, например, N-13 или ХР-10.

Уверенное положение в секторе ТХО на европейском рынке заняли двухступенчатые системы, в которых R-744 используется как на среднетемпературном, так и на низкотемпературном уровнях.

В странах ЕС и США в настоящее время ведется разработка транскритических систем, работающих на R-744, в которых будут достигнуты более высокие показатели энергоэффективности при высокой температуре окружающей среды. Дополнительные расходы в этом случае составят 10-15 %. Среди хладагентов со средним или высоким ПГП основным остается R-404A, однако в новых установках на среднетемпературном уровне вместо него используется ГФУ-134a. В качестве промежуточного варианта предлагается R-407F. Существуют также негорючие варианты с относительно низким ПГП: ГФО-смеси N-40 и DR-33.

Оптимальными хладагентами для охлаждения на автотранспортных средствах пока продолжают являться ГФУ. Практически во всех автоприцепах и большегрузных автомобилях используется R-404A. В малогабаритных автомобилях и фургонах – ГФУ-134a. В настоящее время ведутся испытания альтернативных ГФО с низким ПГП и хладагентов, не содержащих ГФУ, однако появление конкурентоспособной альтернативы в ближайшем будущем маловероятно.

Использование R-744 в холодильных агрегатах на автомобилях станет возможным после появления на рынке более эффективных многоступенчатых компрессоров, которые на данный момент находятся на стадии разработки.

Испытания углеводородов (в основном R-290) в автомобильных холодильных установках показали, что благодаря меньшему потреблению энергии (на 20 и более %) они могут стать предпочтительной альтернативой.