

Переход на CO₂: теплообменные аппараты для высоких давлений

О. С. Апицына, канд. техн. наук, инженер 1 категории ООО «Терма»

Глобальный тренд на энергоэффективность и переход к «зеленой» экономике диктуют новые требования к инженерным системам. Для российской холодильной и климатической отрасли конкретным вызовом стала ратификация Кигалийской поправки, предписывающей сокращение потребления гидрофторуглеродов на 85 % от базового уровня к 2036 году. Такой подход выдвигает природные хладагенты на передний план благодаря низкому потенциалу глобального потепления (GWP) и разрушения озонового слоя (ODP).

Особое место среди них занимает диоксид углерода (CO₂, R744). С позиции нормативов и безопасности CO₂ – эталонный хладагент: нулевой ODP, GWP = 1, класс безопасности A1 по классификации ASHRAE 34 (низкотоксичен, негорюч), а также химически стабилен и совместим с большинством конструкционных материалов. Кроме того, CO₂ является одним из самых доступных по стоимости хладагентов, а российское производство обеспечивает стабильность поставок.

Особенности применения CO₂ в холодильных системах определяются его уникальной термодинамикой. Ключевым параметром является низкая критическая точка: +31,1 °C при давлении 73,8 бар. Выше этой температуры четкая граница между жидкостью и паром стирается: вещество переходит в сверхкритическое состояние.

В климатических условиях России, где температура нередко превышает эти пределы, наибольшее распространение получил транскритический цикл с охлаждением сверхкритического флюида в газоохладителе. В этом режиме давление в газоохладителе достигает 80–120 бар и более, что в 5–8 раз превышает давление в системах на распространенных хладонах, таких как R410a или R134a.



Следовательно, ключевая инженерная задача при переходе на CO₂ – обеспечение прочности, надежности и безопасности всех компонентов при экстремальных давлениях. Именно здесь накопленный инженерный опыт становится критическим: как показывает практика компании «Терма», до 70 % проблем с надежностью систем на CO₂ связано с неоптимальным выбором или расчетом теплообменника.

Данные условия требуют применения материалов, рассчитанных на повышенные нагрузки. Для обеспечения необходимого запаса прочности в теплообменных аппаратах «Терма» традиционные медные трубы заменяются нержавеющими сталью (AISI 304, AISI 316), обладающими повышенной прочностью. Альтернативой служат специализированные медные сплавы, например K65. Легирование железом (до 3 %) значительно повышает его прочность, сохраняя основные преимущества меди.

Отдельного внимания требует надежность соединений. Статистические данные, собранные нашими специалистами, свидетельствуют, что в системах на CO₂ частота утечек может быть на 15–20 % выше, чем в классических фреоновых системах. Для решения этой задачи «Терма» применяет паяные соединения, которые обеспечивают гарантированную герметичность контура. Чтобы минимизировать риски в течение всего жизненного цикла системы, в конструкцию наших аппаратов заложена специальная защита от перетирания и вибрационной усталости труб, исключающая риски, возникающие в процессе длительной эксплуатации.

Помимо механической прочности выбор материалов диктуется требованиями химической стойкости. При попадании влаги в контур CO₂ возможно образование угольной кислоты (H₂CO₃). Хотя применение нержавеющей стали существенно снижает



риски коррозии, инженеры компании «Терма» подчеркивают важность контроля влажности в системе на всех этапах ее эксплуатации и обслуживания.

С инженерной и юридической точки зрения теплообменник для транскритического цикла CO₂ является сосудом, работающим под избыточным давлением. Его производство в России должно соответствовать Техническому регламенту ТР ТС 032/2013. Наличие у «Терма» сертификата соответствия этому регламенту – не просто формальность, а документальное подтверждение отлаженных процессов: применение аттестованных технологий сварки и пайки, обязательные расчеты на прочность и систему контроля качества на всех этапах производства.

Отдельное и критически важное преимущество CO₂ – его превосходные теплофизические свойства, ключевым из них является высокий коэффициент теплопередачи, обусловленный низкой вязкостью и высокой теплопроводностью. Данное свойство позволяет нашим аппаратам работать с минимальным перепадом температур. Такой режим дает двойной выигрыш: стабилизирует уровень влажности в камере благодаря уменьшению образования конденсата на ламелях воздухоохладителя, что, в свою очередь, снижает усушку продукции, а также позволяет проектировать более компактные газоохладители, что оптимизирует габариты и стоимость всей системы.

Еще один аспект, влияющий на компактность и экономию, – высокая плотность CO₂, создающая возможность использовать трубопроводы в два-три раза меньшего диаметра. Это снижает затраты на материалы и монтаж, а также позволяет создавать компактные линии. Теплообменные аппараты проектируются с учетом этой особенности: патрубки и коллекторы оптимизированы под работу с малыми диаметрами и высокими скоростями потока, что позволяет заказчику в полной мере реализовать потенциал экономии.

С экономической точки зрения внедрение CO₂ – это баланс между повышенными первоначальными вложениями и долгосрочной экономией:



- 1) капитальные затраты: первоначальные вложения в оборудование для CO₂, особенно в ключевые компоненты, такие как теплообменные аппараты, могут быть выше (в 1,2–1,7 раза) из-за необходимости применения специализированных материалов и более сложного проектирования;
- 2) эксплуатационные расходы: низкая стоимость и доступность самого хладагента, а также экономия электроэнергии (до 30 % в средне- и низкотемпературном диапазоне) за счет высокой эффективности теплообмена. Кроме того, правильно интегрированные теплообменники позволяют утилизировать брошенное тепло от газоохладителей для ГВС или отопления, добавляя статью экономии.

Именно здесь становится очевидной важность грамотно спроектированной системы. Любые просчеты могут нивелировать все потенциальные выгоды. В то же время профессиональный подход становится основой для достижения заявленной экономии и сокращения срока окупаемости до трех-пяти лет.

Таким образом, успешный переход на CO₂ – это стратегическое решение. Оно требует не только выбора хладагента, но и уверенности в поставщике ключевого оборудования. Важно, чтобы производитель обладал необходимым опытом, знаниями в области термодинамики и прочностных расчетов, а также собственным сертифицированным производством.

Разрабатывая и производя теплообменные аппараты в соответствии с описанными принципами, компания «Терма» готова стать вашим надежным партнером в проектах по внедрению экологичных и энергоэффективных систем на диоксиде углерода.

Следите за проектами и новостями на сайте terma.pro.

ООО «Терма»
+7 495 125-20-55
info@terma.pro

Авторские права на изображения принадлежат ООО «Терма»