

Герметичный компрессор на диоксиде углерода для установки экстракции растительного сырья

В.А.ПРОНИН, Д.В.ШЛЯХОВЕЦКИЙ

Санкт-Петербургский государственный университет низкотемпературных и пищевых технологий

In the past years carbon dioxide has been used as a refrigerant in extraction installation of transcritical pressure in the mode of a heat pump for heating micelle up to 40...50 °C. An analysis of compressors used for compression of CO₂ is made and it is shown that the hermetic compressors required for extraction plants. An oil free hermetic reciprocating compressor for CO₂ on the basis of mass produced compressors, designed for R22, has been considered. It is indicated that starting of commercial production of such compressors for extraction installations will not require redesigning of compressor production.

В технике экстракции уже достаточно давно используется экологически чистый диоксид углерода (R744), характеризующийся низкими стоимостью и токсичностью, а также отсутствием взаимодействия с традиционными конструкционными материалами [1]. Начиная с 80-х годов XX в. было известно использование R744 в качестве хладагента в нижнем цикле каскадной холодильной машины и в транскритическом цикле газопарожидкостной холодильной машины [3, 6].

В отличие от уже ставшего традиционным применения R744 в составе экстракционных установок докритического давления в последние годы активно рассматривается возможность его использования в экстракционных установках транскритического давления при работе в режиме теплового насоса [4, 8]. Для классических циклов (Perkins-циклов) при работе в режиме холодильной установки холодильный коэффициент на R744 весьма невелик по сравнению с аммиачными циклами, циклами на R134a и других хладагентах. Но применение теплового насоса на R744 для подогрева мисцелы в интервале температур до 40...50 °C энергетически становится эффективнее других способов подвода тепловой энергии.

Так, система [5] с тепловым насосом в автомобиле использовалась в концепции образца, выполненного Г. Лоренценом в сотрудничестве с компанией HydroAluminium (Норвегия), которая лицензировала коммерческие права на технологию. Обширные лабораторные испытания и проверенные в реальных условиях эксплуатации опытные образцы демонстрировали даже более низкое потребление

ние энергии, чем обычные коммерческие системы с тепловыми насосами на R12 [9].

При применении в экстракционных схемах максимально эффективных обратных циклов на R744 условия работы компрессора определяют давления всасывания в интервале 3...6,8 МПа и давления нагнетания 8,3...13,8 МПа (при максимально допустимом давлении 14 МПа). Эти давления приблизительно в 5 – 6 раз выше, чем при использовании аммиака или R22. Более высокая плотность CO₂ приводит к более высокой температуре нагнетания, что, однако, не является недостатком при работе в режиме теплового насоса.

Удельная объемная холодопроизводительность R744 существенно выше, чем у других хладагентов (например, по сравнению с аммиаком более чем в 5,2 раза), а удельный расход энергии на сжатие увеличивается максимально на 10 – 15 %, хотя среднее индикаторное давление в компрессорах для CO₂ в 6 – 8 раз выше, чем при сжатии других хладагентов. С другой стороны, из-за более высокой плотности R744 скорости движения пара в элементах компрессора и трубопроводах теплового насоса и потери давления меньше, чем для других хладагентов. При высоком уровне давлений в таком цикле затрачивается меньшая доля работы компрессора на преодоление гидравлических сопротивлений и улучшается теплопередача. Высокое давление всасывания улучшает работу компрессора (при достаточно больших объемных расходах). Таким образом, снижение технических потерь может повысить эксергетический КПД транскритического цикла теплового насоса на R744. Кроме того,

большая удельная объемная холодопроизводительность R744 позволяет уменьшить габариты оборудования.

Относительно малые объемные расходы хладагента, обусловленные высокой объемной удельной холодопроизводительностью, и значительные различия в давлениях всасывания и нагнетания предопределили использование поршневых и мембранных компрессоров для реализации цикла на R744 в схемах экстракции [1, 8].

Анализ компрессоров, выпускавшихся в 30 – 80-х годах для сжатия R744, показал, что открытые поршневые и мембранные компрессоры, в том числе многоступенчатого сжатия, нашли широкое применение в системах производства «сухого льда», и принципы их конструирования известны [2]. Компрессоры на CO₂ за рубежом и в нашей стране проектируют, как правило, на базе аммиачных поршневых компрессоров, учитывая высокие давления, которые представляют очевидные проблемы с точки зрения обеспечения прочности. Так, цилиндры компрессоров выполняют в виде кованых стальных болванок с рабочими втулками из чугуна; применяют стальные толстостенные трубопроводы. Все это обусловило неоптимальные конструктивные решения.

В работе [2] были изложены основанные на публикациях в немецких журналах требования к проектированию современных полугерметичных компрессоров на R744, необходимые меры безопасности, а также проанализированы некоторые конструктивные решения, позволяющие снизить стоимость таких компрессоров. Отмечается, что полугерметичные компрессоры при работе на R744 из-за высоких нагрузок должны иметь повышенную прочность и ряд конструктивных особенностей. Так, компрессор должен иметь наименьший (по возможности) диаметр поршня, что позволит снизить нагрузку на подшипники и изгибающие нагрузки на коленчатый вал. Корпус должен выполняться с пятикратным запасом прочности по давлению, что подтверждается регулярными испытаниями. При оснащении такого компрессора встроенным разгрузочным вентилем и предохранительным клапаном, настроенным на соответствующее давление, можно расширить границы давлений нагнетания и всасывания соответственно до 1,9 и 18 МПа. Дополнительный потенциал для уве-

личения рабочего давления при использовании стандартной толщины стенок корпуса компрессора обеспечивается заменой чугуна с пластинчатой структурой на «сферический» чугун. Но это требует специального исполнения ряда деталей корпуса и значительно удорожает компрессор. Охлаждение электродвигателя всасываемыми парами R744 протекает достаточно интенсивно, но из-за необходимости создавать мощные встроенные электродвигатели серийные полугерметичные компрессоры на R22 как база для создания аналогичных полугерметичных компрессоров на R744 могут быть использованы только в очень редких случаях.

Применение открытых компрессоров на R744 в экстракционных установках транскритического давления недопустимо по условиям эксплуатации и техники безопасности, а полугерметичные компрессоры не в полной мере отвечают предъявляемым требованиям. Это вынуждает разрабатывать герметичные поршневые компрессоры.

Фирма SANYO Electric Co (Япония) рекламировала через Internet первый в мире герметичный компрессор для работы на R744 в системах охлаждения и кондиционирования воздуха. Поршневой, двухцилиндровый двухступенчатый компрессор номинальной холодопроизводительностью 750 Вт имеет диаметр 117,2 мм, высоту 244,3 мм и массу 11,5 кг. Рекламный проспект сообщал о высокой эффективности, низких вибрации и уровне шума, высокой надежности при работе под большим давлением.

С учетом результатов проведенных исследований герметичных компрессоров для CO₂ и в соответствии с выработанными концепциями ввода компрессора в схемы экстракционных установок выполнена конструктивная разработка такого компрессора [7]. Проанализированы конструктивная компоновка и режимные показатели малогабаритного поршневого компрессора без смазки для работы на R744. Был сделан вывод о целесообразности размещения компрессора в герметичном кожухе, внутри которого вследствие использования паров R744 автоматически поддерживается максимальное рабочее давление. По этому давлению и рассчитывается прочность кожуха. Размещение компрессора в кожухе исключает опасность взрыва, поскольку отсутствуют большие перепады давлений с окружающей средой, снижается металло-

емкость деталей компрессора, прочность которых рассчитывается на меньшие перепады давлений.

В качестве исходной базы для разработки использован серийный компрессор, предназначенный для работы на R22. Расчеты были произведены по общепринятой методике с использование ЭВМ в широком диапазоне режимных параметров (температура кипения мисцелы, конденсации R744 и окружающей среды) для работы в режимах одно- и двухступенчатого сжатия, с изменяющимися частотами вращения вала компрессора. Получены традиционные по форме зависимости для оценки эффективности работы компрессора, температуры конца сжатия, расхода в зависимости от степени сжатия, построены диаграммы изменения давления по углу поворота. Анализ результатов численных экспериментов показал, что значения параметров R744 при работе компрессора в режимах теплового насоса (особенно в схемах экстракции при транскритических давлениях) обусловливают ряд конструктивных, но не кардинальных изменений в отдельных узлах компрессора. Таким образом, по мнению авторов, для налаживания выпуска герметичных холодильных компрессоров без смазки для CO₂ с целью их

широкого использования в экстракционных установках не потребуется коренной перестройки технологии производства.

Список литературы

1. Касьянов Е.И. Технологические основы CO₂-обработки растительного сырья. – М.: Россельхозакадемия, 1994.
2. Коптелов К.А. Полугерметичные поршневые и винтовые компрессоры для каскадных холодильных систем на CO //Компрессорная техника и пневматика. 2001. № 1.
3. Мартыновский В.С. Холодильные машины. – М.: Пищепромиздат, 1990.
4. Патент 4278012 США, МКИ, C12 C3/00. 1981
5. Патент WO 90/077683. Lorenzen G. Transcritical compression cycle device. 1990.
6. Цыдзик В.Е., Вейберг Б.С., Бармин М.Н. Холодильные машины и аппараты. – М.: Машиностроение, 1946.
7. Шляховецкий В.М. Современные тенденции развития охлаждающих углекислотных машин // Тезисы докл. Междунар. НТК «Научные основы высоких технологий и техники использования диоксида углерода». – Краснодар: Изд-во СНИИХП, 1995.
8. Clarke Meiler. How Carlton and United made hop extract history //Brew.Quard,1981,V.110
9. Neska P., Rekstad H., Zakeri G.H. CO Prototip Hot Water Pump characteristics, system design and experimental results /Proceedings: Heat Pump Systems, Energy, Efficiency, and Global Warming.- Linz, Austria, 1997.