

Спиральные компрессоры благодаря многочисленным преимуществам нашли широкое применение во многих холодильных установках коммерческого и промышленного назначения и в системах кондиционирования воздуха. Со времени внедрения миллионы спиральных компрессоров несут службу во всем мире, успешно работая в пищевой промышленности, судовых холодильных установках, системах кондиционирования жилых зданий и торговых предприятий. Основные преимущества спиральных компрессоров: высокий холодильный коэффициент, малый уровень шума и вибрации, большой ресурс работы. В связи с этим представляет интерес сравнение спиральных компрессоров различных производителей, а также спиральных компрессоров с компрессорами других типов.

В данной статье рассматриваются преимущества спиральных компрессоров марки Performer производства компании Danfoss. Источником информации для этой публикации стали данные конструкторского бюро компании «Данфосс» и опыт нашего партнера, компании Carrier, по разработке и эксплуатации чиллеров на базе спиральных компрессоров.

Спиральные компрессоры Performer доказали свою надежность, при этом не уступая, а чаще превосходя по эффективности компрессоры других типов.

Чем отличаются спиральные компрессоры разных производителей?

Основное отличие – в принципе уплотнения спиральных элементов. Производители спиральных компрессоров используют термин «совмещение» (compliance).

В компрессоре с радиальным совмещением подвижная спираль движется по извилистой траектории, которая определяется ее контактом с неподвижной спиралью. Разгрузочное устройство, установленное между подвижной спиралью и валом электродвигателя, сглаживает изменения радиуса подвижной спирали, которые возникают из-за отклонений при машинной обработке поверхностей и сборке деталей.

Принцип осевого совмещения спиралей основан на способности подвижной и неподвижной спиралей разделяться в осевом направлении.

Компания Danfoss в компрессорах марки Performer использует так называемый «принцип контролируемого вращения» (controlled orbiting), что подразумевает движение спиралей по фиксированной траектории без соприкосновения подвижной и неподвижной спиралей. Такой принцип движения сохраняется при любых условиях эксплуатации компрессора.

Уплотнение компрессоров

Эффективность компрессоров во многом определяется величиной внутренних радиальных и осевых утечек газа в процессе сжатия. Радиальные утечки происходят между соприкасающимися боковыми поверхностями спиралей, осевые – между верхним торцом одной спирали и опорной плитой другой (рис. 1). Осевые

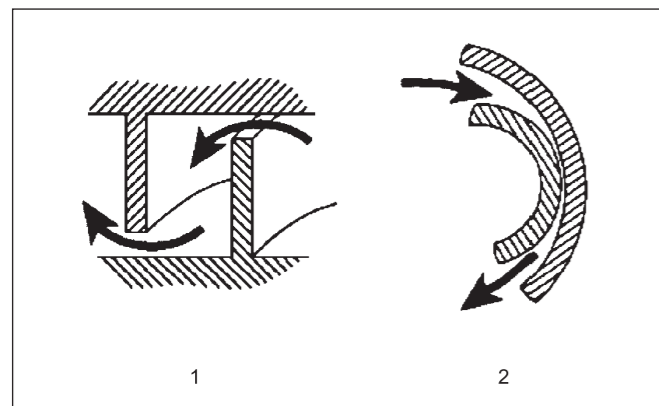


Рис. 1. Утечки в спиральном компрессоре: 1 – осевые; 2 – радиальные

утечки обычно более значительные, чем радиальные (ASHRAE, 2004 г.). Утечки ведут к увеличению потребляемой мощности компрессора, снижению его холодопроизводительности и эффективности работы.

Радиальное уплотнение

Принцип совмещения спиралей подразумевает контакт подвижной и неподвижной спиралей. Однако только что изготовленные компрессоры обычно не создают эффективного однородного уплотнения во всех точках контакта, так как для этого необходим период «притирки», в процессе которого между поверхностями образуется необходимый контакт. Касание боковых поверхностей спиралей является обязательным условием для таких компрессоров.

Компрессоры Performer с контролируемым вращением для получения гарантированного уплотнения должны иметь спирали сверхточного профиля. Точную геометрию спиралей создают станки с программным управлением, обеспечивающие микронные допуски ($1 \text{ мкм} = 1 \times 10^{-6} \text{ м}$). Боковые поверхности таких спиралей никогда не соприкасаются друг с другом, а тонкая пленка масла, уплотняющая зазор, обеспечивает смазку спиралей без трения и износа их поверхности. Поскольку концепция контролируемого вращения не допускает контакта между боковыми поверхностями спиралей, спиральная пара сохраняет свою геометрию на протяжении всего периода эксплуатации компрессора.

Осевое уплотнение

Работоспособность конструкции зависит от плотности контакта между верхним торцом одной спирали и опорной плитой другой. В этом случае необходима осевая упругость одной из спиралей, чтобы обеспечить гарантированный допуск на термическое расширение и износ. Некоторые изготовители компрессоров для уплотнения прижимают подвижную спираль к неподвижной, используя давление сжимаемого газа.

В компрессорах Performer динамический контакт между верхним торцом подвижной спирали и опорной плитой неподвижной спирали поддерживается с помощью плавающего уплотнения. Этот уплотняющий элемент находится в канавке, прорезанной в верхнем торце подвижной спирали (рис. 2). Газ под давлением давит на плавающее уплотнение снизу и заставляет его прижиматься к опорной плите

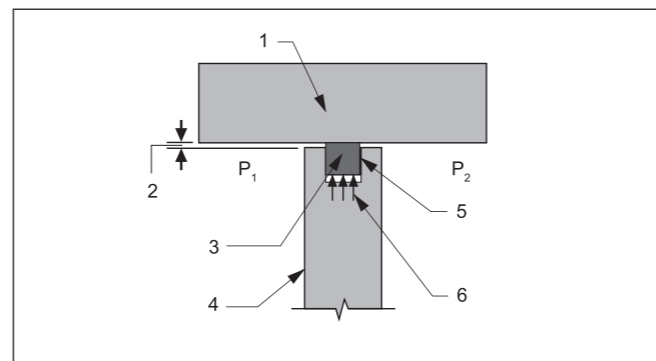


Рис. 2. Плавающее уплотнение спирального компрессора Performer с контролируемым вращением:

1 – опорная плита; 2 – зазор между торцом и опорной плитой; 3 – плавающее уплотнение; 4 – спираль; 5 – масляная пленка, предотвращающая утечки газа уплотнения; 6 – газ высокого давления

спирали, создавая динамический контакт при работе компрессора. Прижимающие силы очень малы, что в сочетании с небольшой площадью контакта снижает трение и увеличивает эффективность работы компрессора.

Эффективность и холодопроизводительность

Эффективность работы компрессора можно рассматривать как:

а) индивидуальную термодинамическую эффективность отдельно взятого компрессора;

б) эффективность компрессора в составе системы охлаждения.

Первое определение эффективности часто используют конструкторы компрессоров, а второе – разработчики систем вентиляции и кондиционирования воздуха и их пользователи.

Конструкторы создают компрессоры под один определенный хладагент, исходя из их индивидуального КПД. Оптимизация сочетания компрессор–хладагент осуществляется изменением геометрии спиралей, конструкции корпуса, выбором масла и других параметров.

Конструкторы чиллеров работают над эффективностью всей системы охлаждения. Для сравнения, чиллеры с винтовыми компрессорами имеют при полной нагрузке немного лучшую эффективность, чем аналогичные чиллеры со спиральными компрессорами, но не достигают эффективности последних при неполной нагрузке.

Часть различия в эффективности можно отнести на счет разного принципа регулирования установок на нескольких спиральных компрессорах и на одном винтовом компрессоре.

Холодопроизводительность винтового компрессора зависит от его рабочего объема и относительного расположения нагнетательного и всасывающего каналов. Если эти каналы находятся в крайних противоположных концах винтов (не имеющих промежуточных отверстий), компрессор использует полный рабочий объем, обеспечивая максимальную холодопроизводительность.

Известны два основных метода регулирования холодопроизводительности винтового компрессора: золотниковое и клапанное (перепуском газа). Золотниковое регулирование немного более эффективно, однако оба способа имеют недостатки.

В отличие от винтовых компрессоров холодопроизводительность системы из нескольких спиральных, параллельно работающих компрессоров регулируется иначе: включение или отключение одного из них вызывает ступенчатое изменение холодопроизводительности и соответствующее ему изменение энергопотребления.

В таблице сравниваются нагрузки и энергопотребление одинаковых систем с компрессорами трех различных типов.

Сравнение чиллеров с различными компрессорами

Шаг регулирования холодопроизводительности	Три спиральных компрессора с шаговым регулированием		Один винтовой компрессор с клапанным регулированием		Один винтовой компрессор с золотниковым регулированием	
	Нагрузка, %	Энергопотребление, %	Нагрузка, %	Энергопотребление, %	Нагрузка, %	Энергопотребление, %
100 %	100	100	100	100	100	100
2/3	67	67	70	85	67	73
1/3	33	33	45	65	33	53

Примечание. Данные получены при одинаковых условиях эксплуатации в октябре 2004 г. компанией Carrier.

Преимущество системы со спиральными компрессорами бесспорно: при нагрузке 2/3 от полной винтовые компрессоры потреб-

ляют на 9–27 % больше энергии, а при нагрузке 1/3 от полной – на 61–97 % больше, чем спиральные.

Выводы

Компания Danfoss в сотрудничестве с компанией Carrier подошла к решающему моменту в биографии спиральных компрессоров. Длительные научные исследования и конструкторские разработки сделали возможным изготовление одиночных агрегатов холодопроизводительностью до 92 кВт (на R22).

Использование нескольких установок с параллельно работающими двумя, тремя и четырьмя спиральными компрессорами позволяет довести холодопроизводительность чиллеров до 1056 кВт.

Спиральные компрессоры Performer имеют много привлекательных качеств. Еще раз перечислим их преимущества.

- Высокая индивидуальная эффективность при полной и неполной нагрузке благодаря точной машинной обработке поверхностей спиралей и использованию торцевых уплотнений, уменьшающих силы трения.
- Более высокая эффективность при неполной нагрузке у чиллеров с несколькими спиральными компрессорами в одном холодильном контуре, чем у чиллеров с одним большим винтовым компрессором и регулированием холодопроизводительности.
- Малое число движущихся частей.
- Высокая надежность.
- Возможность продолжения работы холодильной установки при выходе из строя одного из параллельно соединенных компрессоров (с частичным снижением холодопроизводительности).
- Малый уровень шума и вибрации по сравнению с винтовыми и поршневыми компрессорами.
- Непрерывный процесс сжатия почти без пульсации давления и вибрации.
- Отсутствие необходимости в дополнительном охлаждении масла и меньшие требования к системе его возврата, чем в винтовых компрессорах.

Благодаря неоспоримым преимуществам компрессоров Performer установки охлаждения или кондиционирования на их основе являются более эффективным и надежным решением.

За дополнительной информацией обращайтесь в компанию «Данфосс».

Андрей Прокопьев, Андрей Ангельчев, инженеры отдела холодильной техники и кондиционирования ЗАО «Данфосс»

На основе публикации компании Carrier «Спиральные компрессоры: Компрессоры высокой эффективности для коммерческого и промышленного применения». ([Scroll Compressors: High Efficiency Compression for Commercial and Industrial Applications](#)) www.carrier.com

ЗАО «Данфосс»
Россия, 127018,
г. Москва, ул. Полковая, д. 13
Тел.: 7925757
Факс: 7925760
E-mail: info@danfoss.ru
Internet: www.danfoss.ru

Филиал
Россия, 344006
г. Ростов-на-Дону,
пр. Соколова, д. 29, офис 7
Тел./факс: (8632) 923295
E-mail: Komarov@danfoss.ru

Филиал
Россия, 690087,
Приморский край,
г. Владивосток,
ул. Котельникова, д. 2
Тел./факс: (4232) 204510
E-mail: Zubov@danfoss.ru

Филиал
Россия, 194100, г. Санкт-Петербург, Пироговская наб, д. 17, корп. 1
Тел.: (812) 3202099
Тел./факс: (812) 3278782
E-mail: Vysotskiy@danfoss.ru

Филиал
Россия, 620014,
г. Екатеринбург, ул. Антона Валека, д. 15, офис 509
Тел.: (343) 3658396
Факс: (343) 3658385
E-mail: Demytyeva@danfoss.ru

Филиал
Россия, 630099,
г. Новосибирск,
ул. Советская, д. 37,
офис 405
Тел./факс: (3832) 225860