

УДК 621.51

Тенденции развития компрессорной техники

Д-р. техн. наук, профессор **Пронин В. А.**

Университет ИТМО

Институт холода и биотехнологий

191002, Санкт-Петербург, ул. Ломоносова, 9

Рассмотрены основные типы компрессоров. Описаны особенности конструкции и работы компрессоров объемного и динамического сжатия. Отмечены основные достоинства и недостатки описанных компрессоров. Намечены пути совершенствования компрессорной техники. Сделан вывод о необходимости перехода от принципа механического сжатия к другим способам получения энергии давления.

Ключевые слова: компрессоры, приводы, энергетическая эффективность, механический принцип сжатия, компримируемая среда.

Trends in the development of compressor equipment

Pronin V.A

University ITMO

Institute of Refrigeration and Biotechnologies

9, Lomonosov Street, St Petersburg, 191002

Considered are the main types of compressors. Describes the features of the design and operation of compressors by volume and dynamic compression. The basic advantages and disadvantages described compressors. The ways of improvement of compressor equipment. Conclusion on the necessity of transition from the principle of mechanical compression to other methods of producing energy pressure.

Keywords: compressors, drives, energy efficiency, mechanical principle of compression, компримируемая environment.

Основным назначением любого компрессора является обеспечение параметров компримируемой среды, необходимой потребителю. Данную задачу можно решать различными путями: сжимать рабочее вещество в замкнутом объеме, или преобразовать динамическую энергию потока в потенциальную, создавая давление в напорной магистрали. По принципу работы все компрессоры можно разделить на ряд основных типов, классификация которых представлена на рис. 1.

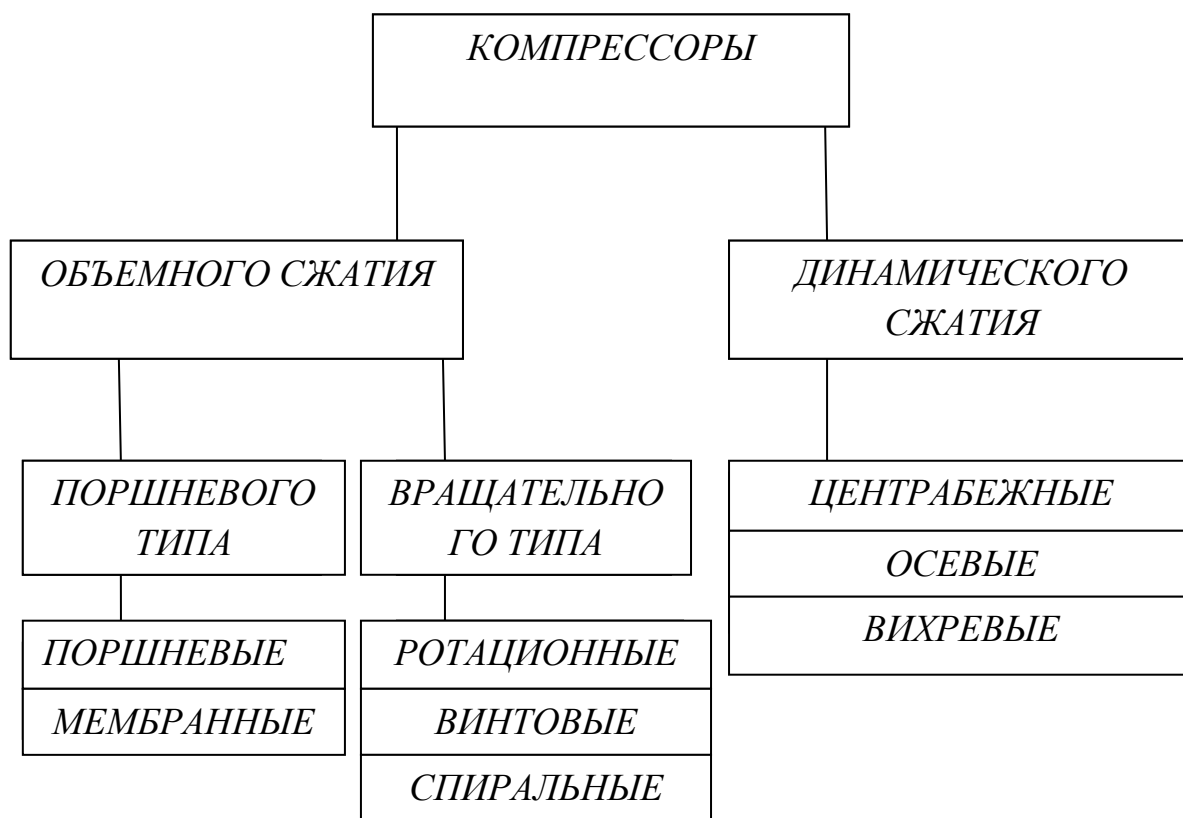


Рис. 1 Классификация компрессоров

Рассмотрим основные типы компрессоров, их особенности и возможности совершенствования.

Поршневые компрессоры (ПК)

Этот тип компрессоров является одним из «старейших» и до середины XX столетия занимал ведущее место в компрессоростроении. Основными требованиями компрессорной техники являются: повышение производительности с одновременным уменьшением массы и повышением энергоэффективности. Повысить производительность можно увеличением суммарного теоретического объема цилиндров, а также числа оборотов двигателя. Объемная производительность ПК определяется диаметром цилиндра, ходом поршня и число рабочих цилиндров [1]. Каждый из указанных способов имеет определенные ограничения:

- увеличение геометрических размеров цилиндров и хода поршня, приводят к росту протечек компримируемой среды;
- повышение скоростных параметров приводит к росту сил инерции и динамических нагрузок;

- рост числа цилиндров ограничен конструктивными технологическими особенностями производства и эксплуатации ПК;
- увеличение частоты вращения в свою очередь приводит к росту динамических нагрузок, повышенному износу, а также к снижению долговечности и надежности основных рабочих элементов компрессора, особенно клапанов [2, 3].

Для оценки перспектив развития поршневых компрессоров целесообразно выделить основные недостатки, характерные для этого типа машин. К основным недостаткам поршневых компрессоров следует отнести наличие значительного числа трущихся деталей, ограниченные возможности регулирования производительности, наличие механизмов преобразования вращательного движения двигателя в возвратно-поступательное движение поршневой группы, а также малый рабочий ресурс клапанных узлов.

Несмотря на отмеченные недостатки, поршневые компрессоры до настоящего времени находят широкое применение, особенно в областях малых производительностей и высоких давлений. С появлением электродвигателей частотного управления решается задача регулирования производительности компрессора и снижение его энергопотребления, а новые материалы и технологии способны существенно уменьшить потери на трение и износ [4, 5].

Появление линейных компрессоров решило задачу преобразования вращательного движения двигателя в возвратно-поступательное движение поршней, исключив целый ряд деталей и узлов, что в свою очередь позволяет уменьшить динамические нагрузки, массу и габариты конструкции, повышая при этом надежность и энергоэффективность машины. Все вышеизложенное открывает новые перспективы в развитии поршневых компрессоров.

Винтовые компрессоры (ВК)

В настоящее время наиболее широкое применение среди компрессоров объемного сжатия получили винтовые компрессоры, особенно в областях средней производительности. По конструктивному исполнению все ВК можно разделить на однороторные, двухроторные и многороторные [6, 18]. Последние не получили широкого распространения в силу своих конструктивных особенностей. Однороторные компрессоры выпускаются целым рядом зарубежных фирм и довольно широко используются в холодильной технике, особенно в системах кондиционирования, однако в процентном отношении основное место на рынке занимают двухроторные машины, рабочие органы которых состоят из двух профилированных винтов. Принцип сжатия рабочей среды в полостях образованных винтами был известен еще в XIX веке, однако патент на первый промышленный образец был получен шведским инженером

А.Лисхольмом в 1935 году. Винтовые компрессоры оказались столь эффективными, что уже во время второй мировой войны немцы освоили их серийное производство и активно использовали на подводных лодках. В нашей стране разработкой и изготовлением винтовых компрессоров начали заниматься в 60-х годах прошлого века. Значительный вклад в развитие винтового компрессоростроения внес профессор И.А.Саун, труды которого в данной области остаются актуальными до настоящего времени. К основным достоинствам ВК можно отнести:

- наличие минимального количества узлов трения, что в несколько раз увеличивает рабочий ресурс винтовых компрессоров по сравнению с поршневыми;
- особенности конструкции ВК таковы, что позволяют плавно регулировать производительность в широком диапазоне [7, 8];
- хорошая динамическая уравновешенность рабочих органов практически исключает инерционные нагрузки;
- возможность подачи жидкой фазы в рабочие полости компрессора интенсифицирует процессы охлаждения компримируемой среды [9].

Однако наряду с очевидными достоинствами, винтовые компрессоры имеют и ряд существенных недостатков:

- при увеличении производительности и давления нагнетания, существенно возрастает масса - габаритные характеристики, а также силовые нагрузки на подшипниковые узлы [19];
- расчетная окружная скорость рабочих органов зависит от параметров компримируемой среды и существенно влияет на энергетические показатели машины;
- пульсирующий процесс нагнетания рабочего вещества, также оказывает негативное воздействие на эффективность работы компрессора.

Дальнейшее развитие винтовых компрессоров требует новых конструктивных и технологических решений. На наш взгляд перспективными направлениями развития ВК могут служить работы связанные с совершенствованием рабочих органов (разработка новых эффективных профилей винтов) [9], разработка разгрузочных узлов для подшипников, совершенствование способов регулирования производительности, включая применение приводных двигателей с плавной регулировкой частоты вращения [10].

Спиральные компрессоры (СПК)

Спиральные компрессоры появились на рынке сравнительно недавно, в 80-х годах XX века, хотя принцип их работы известен более 100 лет.

Реально воплотить идею в промышленный образец удалось только благодаря появлению точного станочного оборудования и передовых технологий. Сегодня это тип компрессоров прочно занял свою нишу на рынке компрессорной техники [11].

Наиболее широкое применение СПК получили в холодильной технике и системах кондиционирования в областях малой и средней производительности. Рабочие органы спирального компрессора состоят из двух спиралей, которые вставлены одна в другую и расширяются от центра к краю цилиндра компрессора, при этом внутренняя спираль неподвижна, а внешняя совершает вращательное движение относительно внутренней. В зависимости от наличия жидкой фазы в полостях сжатия, спиральные компрессоры бывают: маслозаполненными, с впрыском капельной жидкости и сухого сжатия. По форме рабочего профиля спирали могут быть Архимедовы, эвольвентные, кусочко-окружные и др. [12]. При работе компрессора спирали перекатываются друг относительно друга без скольжения, обеспечивая объемное сжатие компримируемой среды. К несомненным достоинствам этого типа машин можно отнести:

- высокую энергетическую эффективность;
- высокую надежность и долговечность;
- хорошую динамическую уравновешенность;
- низкий уровень шума.

Однако, как и любой технический объект, СПК имеют ряд недостатков:

- повышенные требования к точности изготовления и сборки;
- значительные нагрузки на подшипниковые узлы.

Указанные недостатки ограничивают рабочие параметры СПК и в первую очередь их производительность и степень повышения давления. Несмотря на отмеченные недостатки, этот тип машин имеет хорошие перспективы развития, т.к. быстрыми темпами совершенствуется технология производства, появляются новые конструкционные материалы [4] и совершенные конструктивные решения.

Осевые компрессор (ОК)

Являются компрессорами динамического сжатия, т.е. повышение рабочего давления происходит за счет преобразования механической работы в кинетическую энергию

потока рабочего вещества с дальнейшим преобразованием ее во внутреннюю энергию. Осевой компрессор состоит из ряда ступеней, в состав которых входят вращающиеся рабочие колеса с профилированными лопатками и неподвижные лопаточные аппараты. Пространство между соседними лопатками, как в рабочем колесе, так и в направляющем аппарате называется межлопаточным каналом. Все межлопаточные каналы имеют диффузорную форму. Частота вращения роторов ОС достигает десятком тысяч оборотов в минуту, а скорости компримируемой среды могут превосходить сверхзвуковые. Основные проблемы, с которыми сталкиваются разработчики осевых компрессоров это вопросы прочности рабочих колес, задачи эффективного регулирования производительности, надежность и эффективность работы подшипниковых узлов и уплотнений. Существенную роль в дальнейшем развитии этого типа машин играет совершенный привод [13, 14] .

Центробежные компрессоры (ЦК)

Принцип действия центробежного компрессора сопоставим с принципом работы осевого компрессора, т.к. он так же относится к компрессора динамического сжатия. Принципиальным отличием является то, что основное повышение давления компримируемой среды происходит за счет действия центробежных сил. Рабочие колеса представляют собой сложные тела вращения, имеющие профилированные лопатки, которые образуют межлопаточные диффузорные каналы. Поток рабочего вещества попадает в рабочее колесо компрессора, где получает импульс кинетической энергии. После выхода из рабочего колеса компримируемая среда поступает в диффузор, где происходит ее торможение с преобразованием кинетической энергии во внутреннюю. Повышение конечного давления в ЦК возможно путем увеличения числа рабочих ступеней, что в свою очередь приводит к росту массо-габаритных характеристик машины. Задачи повышения эффективности данного типа компрессоров представляются в следующем:

- совершенствование проточной части компрессора;
- разработка эффективных уплотнений и подшипниковых узлов;
- использование эффективных современных типов приводов [15, 16, 17] .

Представленный обзор основных типов компрессоров и их отмеченные недостатки позволяют определить основные пути совершенствования компрессорной техники, которые определяются рядом направлений:

1. Совершенствование конструктивных элементов и в первую очередь рабочих органов машин.
2. Применение новых совершенных видов конструкционных материалов.

3. Улучшение технологии изготовления и культуры производства.
4. Применение совершенных типов приводов, включая электрические приводы с частотной регулировкой числа оборотов.

Однако, как показывает исторический опыт, для существенного повышения эффективности процесса сжатия нужен качественный скачок. Примером такого скачка может служить появление самолетов с турбореактивными двигателями. Известно, что истребители периода второй мировой войны оснащались поршневыми двигателями, которые позволяли самолетам достигать максимальных скоростей (550-600) км/час. То есть любое усовершенствование этого типа двигателей не позволяло существенно повысить скоростные характеристики самолетов. Нужны были качественные изменения, новый принцип. Альтернативой поршневым авиационным двигателям оказался новый тип двигателя – турбореактивный; и уже в конце войны появились качественно новые истребители.

Все рассмотренные способы сжатия рабочего вещества имели в основе механический принцип сжатия, т.е. компримирование рабочей среды, осуществлялось за счет механического взаимодействия каких либо рабочих элементов компрессоров, поэтому любые изменения внутри данного принципа сжатия не могут дать качественного скачка, а позволят лишь повысить основные рабочие характеристики компрессоров на проценты, но отнюдь не в разы. Поэтому следует искать иные формы преобразования энергии, например, на основе электрических и магнитных полей. Уже существуют опытные разработки МГД ускорителей, способных разогнать поток компримируемой среды до 25М, что соответствует первой космической скорости, с дальнейшим преобразованием динамической энергии потока в потенциальную энергию давления.

Список литературы

1. *Пластинин П.И.* Теория и расчет поршневых компрессоров. М. Агропромиздат, 1987. – 271 с.
2. *Моисеев В.Ф., Шатравка А.М., Мясоедов С.В., Тросина А.Н.* Кинематика и динамика малых холодильных компрессоров. Вестник МАХ- № 4 – 2007, с. 16-20.
3. *Пронин В.А., Шляховецкий Д.В.* Герметичный компрессор на диоксиде углерода для установки экстракции растительного сырья. Вестник МАХ - № 2 – 2007, с. 11-17.
4. *Солнцев Ю.П.* Перспективные разработки в области металловедения для криогенного и низкотемпературного оборудования. Вестник МАХ - № 1 – 2008, с.42-48.

5. Глухих В.Н. К вопросу расчета деталей холодильных машин, изготавливаемых из материалов с технологической анизотропией. Вестник МАХ - № 1 – 2010, с.45-46.
6. Сакун И.А. Винтовые компрессоры., Л.Машиностроение, 1970. -400 с.
7. Ануфриев А.В., Пекарев В.И. Расчет рабочих процессов винтового компрессора с регулируемой производительность. Вестник МАХ - № 3 -2008, с. 6-10.
8. Ануфриев А.В., Пекарев В.И. Влияние способа регулирования холодопроизводительности и внешних условий на эффективность винтового компрессора. Вестник МАХ - № 2 – 2008, с. 17-21.
9. Докукин В.Н., Носков А.Н., Муштуков Д.Ю. Результаты испытаний холодильного маслозаполненного винтового компрессора малой производительности с новым профилем зубьев в высокотемпературных режимах. Вестник МАХ - № 1 – 2011, с. 17-21.
10. Докукин В.Н., Емельянов А.Л., Носков А.Н. Результаты испытаний маслозаполненного винтового компрессора малой производительности в высокотемпературных режимах. Вестник МАХ - № 1 – 2009, с. 6-8.
11. Кочетова Г.С., Сакун И.А. Состояние и направление развития спиральных компрессоров. –М. ЦИНТИхимнефтемаш, 1988. – 57 с.
12. Карчевский А.М. Теоретические исследования влияния геометрических параметров рабочих элементов спирального компрессора на величину газовых сил. Вестник МАХ - № 2 – 2008, с. 13-16.
13. Селезнев К.П., Галеркин Ю.Б., Анисимов С.А. Теория и расчет турбокомпрессоров. Л. Машиностроение, 1086. – 392 с.
14. Антипов Ю.А., Барский И.А., Терехов Д.В., Шаталов И.К. Применение осевых компрессоров в холодильных машинах. Вестник МАХ - № 2 – 2009, с. 22-24.
15. Епифанова В.И. Компрессорные и расширительные турбомшины радиального типа. – М. Машиностроение, 1984. – 376 с.
16. Селезнев К.П., Галеркин Ю.Б. Центробежные компрессоры. – Л. Машиностроение, 1982. – 271 с.
17. Шамеко С.Л., Любимов А.Н., Гаман Е.В. Получение газодинамических характеристик многоступенчатой проточной части ЦКМ при изменяющихся условиях работы. Вестник МАХ - № 1 – 2011, с. 26-30.
18. Амосов П.Е., Бобриков Н.И., Шварц А.И. и др. Винтовые компрессоры.: Справочник – Л. Машиностроение, 1977. – 252 с.
19. Докукин В.Н., Пронин В.А. Влияние компримируемой среды на силовые факторы, действующие в винтовом маслозаполненном компрессоре. Вестник МАХ - № 3 – 2013, с.58-61.