

Частотно-регулируемый электропривод - современный путь к совершенствованию установок с объемными компрессорами

В.И. Зараев, О.Ю. Устюшенкова, Б.С. Хрусталеv (СПбГПУ)

Хорошо известно, что самым простым и эффективным способом изменения производительности компрессоров, как поршневых, так и ротационных, является изменение цикличности их работы. В большинстве компрессорных установок в качестве привода применяются асинхронные электродвигатели переменного тока. При всех очевидных достоинствах такого электропривода основными недостатками остаются ограничение частоты вращения ротора (не более 3000...3600 об/мин при частоте тока 50...60 Гц), проблемы пуска и невозможность плавного изменения частоты вращения приводного двигателя.

Для установок с поршневыми компрессорами увеличение цикличности не приводит к значительному уменьшению габаритов, так как их эффективная работа зависит от средней скорости поршня. Большая дискуссия на эту тему в 70-х - 80-х годах прошлого столетия окончательного решения проблемы не дала из-за отсутствия соответствующего оборудования. Появление современных конструкций частотно-регулируемого привода позволяет вернуться к этой проблеме. Возможность плавного включения и выключения привода, а также изменения частоты вращения ротора электродвигателя в целом увеличивает эффективность работы установок.

При использовании ротационных компрессоров повышение или уменьшение частоты вращения ротора, настройка электропривода на заданное значение частоты позволяют значительно упростить их конструкцию, ликвидировав такой дорогостоящий узел, как мультипликатор или редуктор, уменьшить габариты и повысить эффективность работы.

Одним из самых востребованных видов ротационных компрессоров являются винтовые компрессоры (ВК), имеющие возможность их широкого регулирования. Для изучения возможностей применения частотно-регулируемого привода в компрессорных винтовых установках компания ООО «Вакон-Бизнес-Центр» предоставила кафедре «КВХТ» СПбГПУ преобразователь частоты типа VACON NXS00725A2H0SSA1A2 мощностью 37 кВт (рис. 1). Габаритные размеры преобразователя - 237x591x257 мм. Мощность преобразователя выбирали в зависимости от номинальной мощности компрессора на экспериментальной установке. Кроме преобразования частоты прибор имеет встроенный процессор, что позволяет контролировать и показывать напряжение, частоту, силу тока, а при наличии соответствующих датчиков - давление и температуру газа.

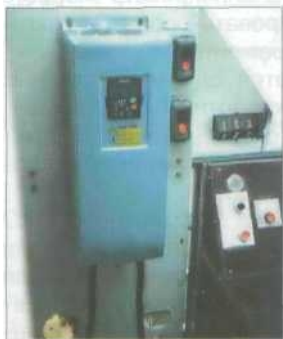


Рис. 1. Преобразователь частоты VACON

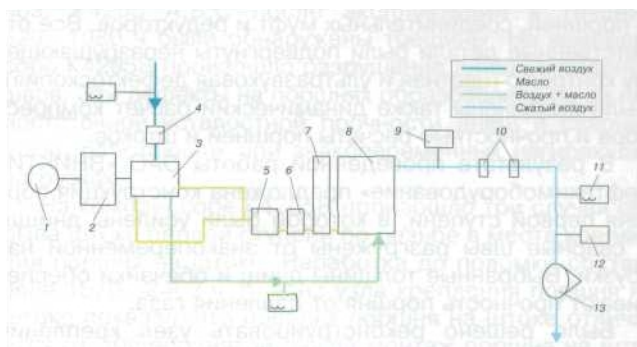


Рис. 2. Схема экспериментального стенда

При аварийной ситуации происходит автоматическое отключение привода.

Были проведены стендовые испытания винтового компрессора типа ЗИФ-ШВ-5М (станция воздушно-компрессорная шахтная передвижная) с приводом от асинхронного взрывозащищенного двигателя типа ВАО-81-4У5. Преобразователь позволяет изменять частоту тока от 0 до 400 Гц, но для исследований он был запрограммирован на изменение частоты от 30 до 50 Гц (1000... 1500 об/мин). Верхний предел диктовался рабочим числом оборотов компрессорной установки (1470 об/мин). Формально этот предел не ограничен. Вопрос лишь в том, выдержит ли механическая часть компрессора и привода увеличение нагрузки. Нижний предел обусловлен нижней границей экономической работы установки.

Экспериментальный стенд работает по следующей схеме (рис. 2). Воздух через воздушный фильтр 4 поступает в рабочие полости винтов. В компрессоре 3 воздух сжимается до давления, обусловленного геометрией винтов. Одновременно масляным насосом 5 в парную полость впрыскивается масло. Из камеры нагнетания смесь воздуха и масла через нагнетательную трубу поступает в воздухоотделитель-маслоотделитель 8. Воздух с остатками масла проходит через внутренний фильтр, в котором происходит окончательная очистка от масла. Очищенный воздух через раздаточные трубы 10 и вентили поступает на пневмоинструмент. Так как на лабораторном стенде нет потребителей сжатого газа, давление в сети создается нагрузочным вентилем 9. Необходимое давление выставляется по манометру, расположенному на выходе газа из маслоотделителя.

Масляный контур стенда состоит из маслоотделителя 8, в котором воздух меняет свое направление на входе и теряет часть масла; после вторичного поворота потока воздух проходит через 14 секций фильтра грубой очистки, заполненного шерстяными очесами. В этом фильтре остается основная часть масла. Затем масло направляется в масляный холодильник 7, представляющий собой пучок труб, через который с помощью вентилятора про-

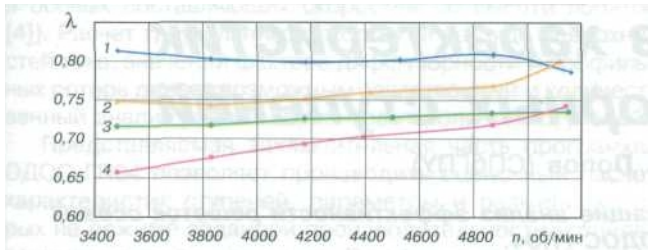


Рис. 3. Зависимость коэффициента производительности λ от частоты вращения n ротора:
1 - 4 – p_k соответственно 0,5; 0,4; 0,3 и 0,2 МПа

тягивается окружающий воздух, поступает в фильтр тонкой очистки 6, и из него масляным насосом подается в камеру сжатия на смазку подшипников и шестерен мультипликатора.

Учет уходящего газа производится ротаметром 13, установленным на нагнетательном трубопроводе. В экспериментах измеряли время, за которое через ротаметр пройдет 3 м^3 воздуха. Для определения действительной массовой производительности это количество воздуха необходимо разделить на затраченное время и умножить на плотность газа перед счетчиком. Для определения плотности газа стенд оборудован U-образным манометром 12 и ртутным термометром 11. В процессе эксперимента фиксировали также температуру на выходе газа из компрессора. Примерно через 10... 15 мин. после перехода на новый режим конечная температура практически перестает изменяться, что означает, что компрессор вышел на режим и можно производить замеры. После проведения замеров переходили на новый режим по частоте вращения. Частота двигателя с помощью реостата изменяли от 1000 до 1500 об/мин с шагом 100 об/мин. На дисплее ПЧ устанавливали нужное значение частоты с погрешностью 0,1%. На одном из каналов можно было видеть также рабочий ток и рабочее напряжение, которые незначительно изменяются в период проведения замеров. Поэтому в протокол испытаний записывают максимальное и минимальное значения тока и напряжения, а затем получают среднеарифметическое значение этих параметров. Мощность двигателя определяли умножением средних значений тока и напряжения, мощность компрессорной установки - умножением электрической мощности на коэффициент полезного действия электродвигателя, который находили по тарировочной кривой.

В данном диапазоне частот измерения производили для конечного давления 0,3; 0,4; 0,5 и 0,6 МПа. При обработке результатов измерений было установлено, что увеличение частоты вращения в данных границах (3480...5220 об/мин для ведущего ротора) приводит,

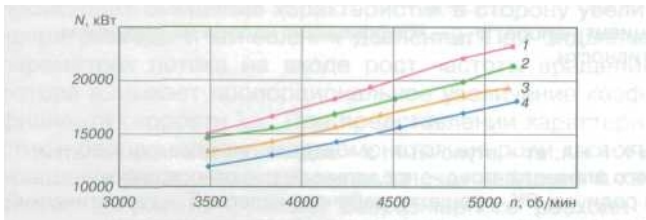


Рис. 4. Зависимость электрической мощности N от частоты вращения n ведущего ротора:
1 - 4 – p_k соответственно 0,5; 0,4; 0,3 и 0,2 МПа

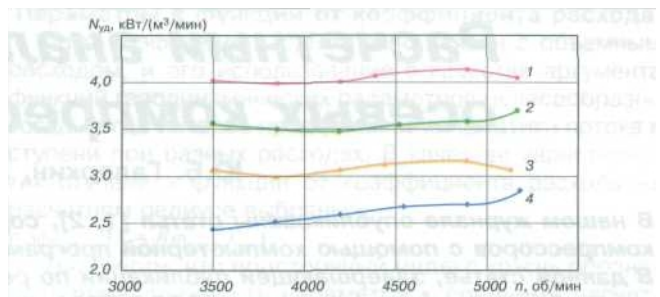


Рис. 5. Зависимость удельной мощности $N_{уд}$ от частоты вращения n ведущего ротора:
1 - 4 – p_k соответственно 0,5; 0,4; 0,3 и 0,2 МПа

во-первых, к возрастанию коэффициента производительности λ . (рис. 3), во-вторых, к прямо пропорциональному изменению электрической мощности (рис. 4) и, в-третьих, к незначительному изменению удельных затрат мощности (рис. 5).

Незначительное изменение коэффициента производительности и удельных затрат мощности связано с узкими границами изменения частоты вращения. Очевидно, что уменьшение частоты вращения ниже 1000 об/мин ведет к резкому падению λ в связи с возрастанием массообмена между полостями с разным давлением в них. Эта тенденция особенно заметна при высоких конечных давлениях. Поэтому расширение диапазона частот за счет понижения нижнего предела неинформативно. Повышение верхнего предела небезопасно из-за увеличения температуры и возникающих проблем с подшипниками. Полученные результаты подтверждают вывод о том, что удельные показатели винтовых компрессоров мало зависят от изменения частоты вращения и позволяют производить регулирование в широких границах изменения частоты.

Анализ полученных результатов позволяет утверждать, что изучаемый компрессор пока не вышел на оптимальную для него частоту вращения.

По итогам работы с частотным преобразователем VACON можно сделать следующие выводы.

1. Преобразователь частоты VACON обеспечивает плавное бесступенчатое регулирование производительности компрессора в заданном диапазоне его рабочих характеристик.

2. Частотное регулирование с энергетической точки зрения гораздо эффективнее традиционных способов регулирования (дросселирование, байпас). В зависимости от режима работы компрессора разница в потреблении электроэнергии составляет от 10 до 40%.

3. Плавный безударный пуск компрессора повышает срок службы механических узлов компрессора.

4. Отсутствие пусковых токов положительно сказывается на питающей сети, исключая перегрузки, следствием которых являются «просадки» напряжения. Таким образом, компрессоры с преобразователями частоты (особенно большой мощности - до 250 кВт) смогут работать при слабых электросетях.

5. После проверки механической части компрессора и электродвигателя на прочность возможно форсирование режимов за счет увеличения цикличности сверх номинального значения, что является эффективным способом увеличения производительности объемных компрессоров.