

ПРИМЕНЕНИЕ ГИДРОМУФТ ФОЙТ ДЛЯ РЕГУЛИРОВАНИЯ ЦЕНТРОБЕЖНЫХ КОМПРЕССОРОВ

Н. Н. Кончаков

Руководитель проектов*

E-mail: Nikolay.Konchakov@voith.com

М. Рихтер

Региональный менеджер проектов в странах России и СНГ

«Фойт Турбо ГмбХ&Ко.КГ»

Voithstr.1, Crailsheim, GERMANY, 74564

E-mail: Martin.Richter@voith.com

В. И. Ситас

Кандидат технических наук, доцент

Заместитель главы представительства*

E-mail: Victor.Sitas@voith.com

В. Б. Иванов

Кандидат технических наук, доцент

Директор представительства

Представительство «Фойт Турбо Сп. з.о.о.»

ул. В.Хвойки, 21, г. Киев, Украина, 04655

E-mail: vadim.ivanov@voith.com

А. В. Федюхин

Проектный инженер*

E-mail: Alexander.Fedyukhin@voith.com

*Московское представительство

«Фойт Турбо ГмбХ&Ко.КГ»

ул. Николаямская, 21/7, стр. 3, г. Москва, Россия, 109240

У статті розглянуті переваги застосування регульованого приводу для компресорів на НПЗ. Для регулювання швидкості обертання відцентрових агрегатів пропонується встановлювати редукторні або планетарні гідромуфти виробництва «Фойт Турбо». Аналіз робочих характеристик компресора і гідромуфти дозволяє поряд з технічними параметрами оцінити економічний ефект при впровадженні регульованого приводу

Ключові слова: регульований привід, гідромуфта, компресор, НПЗ, ефективність, дросельне регулювання, робоча характеристика

В статье рассмотрены преимущества применения регулируемого привода для компрессоров на НПЗ. Для регулирования скорости вращения центробежных агрегатов предлагается устанавливать редукторные или планетарные гидромукты производства «Фойт Турбо». Анализ рабочих характеристик компрессора и гидромукты позволяет наряду с техническими параметрами оценить экономический эффект при внедрении регулируемого привода

Ключевые слова: регулируемый привод, гидромукта, компрессор, НПЗ, эффективность, дросельное регулирование, рабочая характеристика

1. Введение

Центробежные турбокомпрессоры широко применяются в различных процессах на нефтеперерабатывающих заводах (НПЗ). В последние годы наметилась тенденция к росту применения электродвигателей для привода этих компрессоров (рис. 1).



Рис. 1. Приводные машины для центробежных турбокомпрессоров на НПЗ

В ряде случаев параметры процесса изменяются во времени, и это требует регулирования характеристик центробежных турбокомпрессоров. Наиболее энергетически эффективным способом регулирования центробежных турбокомпрессоров является изменение скорости их вращения [1]. Данный способ регулирования применительно к электроприводным агрегатам реализуется с помощью гидродинамических передач (гидромукт) производства фирмы Фойт или применения частотно-регулируемого привода (ЧРП). Анализу сравнительной эффективности гидромукт и ЧРП было посвящено достаточно большое количество работ [2-4]. В данной статье рассматриваются преимущества и недостатки классических редукторных гидромукт Фойт типа RKGS и планетарных гидромукт Фойт типа Vorescon.

2. Преимущества от использования регулируемого привода

Основной задачей применения регулируемого привода является экономия электроэнергии, потребля-

емой приводным двигателем и снижении, таким образом, доли энергозатрат в структуре себестоимости конечной продукции [5 – 10]. Уменьшение скорости вращения компрессора от максимальной n_1 до текущей n_2 приведёт к изменению всех основных параметров компрессора: производительности Q , давления на выходе P и мощности на валу компрессора N . Уменьшение мощности на валу компрессора N при дроссельном регулировании его производительности будет гораздо меньше, чем при регулировании скорости компрессора (рис. 2).

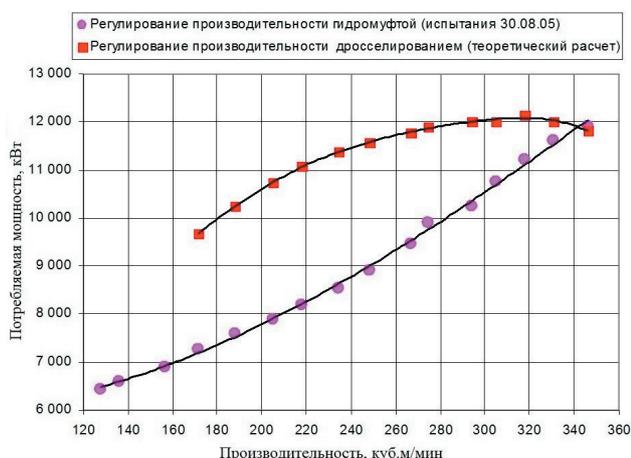


Рис. 2. Уменьшение потребляемой мощности компрессора при регулировании его скорости и дросселировании

Кроме этого, за счёт регулирования частоты вращения можно обеспечить работу компрессора с высоким КПД в широком диапазоне регулирования производительности компрессора (рис. 3) при одновременном его расширении за счёт смещения границы помпажа влево.

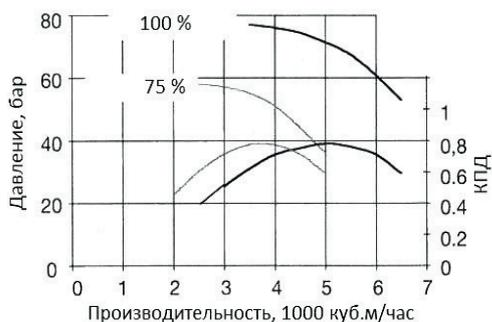


Рис. 3. Изменение КПД компрессора при частотном регулировании

Регулирование скорости также обеспечивает быстрое прохождение диапазона критических скоростей. Последнее, но не менее важное, это большая гибкость регулируемого компрессора по сравнению с нерегулируемым.

Если фактические параметры процесса будут немного отличаться от проектных, или такое отклонение можно ожидать позже во время длительной эксплуатации, то эти отклонения легко устраняются путем регулирования скорости компрессора.

4. Редукторные гидромуфты Фойт типа RKGS

Гидромуфта типа RKGS (рис. 4) представляет собой экономичное решение, состоящее из комбинации в общем корпусе гидродинамической муфты и расположенной перед ней редукторной пары, в которой скорость повышается от начальной (1500 или 3000 об/мин) до промежуточной скорости (5000 или 6000 об/мин).

Для дальнейшего увеличения скорости до 12000 - 14000 об/мин применяется ещё одна редукторная пара, установленная после гидромуфты.

Таким образом, редукторная гидромуфта Фойт типа RKGS выполняет одновременно две функции: повышения и регулирования частоты вращения, а также может быть использована для подачи масла на весь компрессорный агрегат, включая компрессор, электродвигатель и собственно гидромуфту в соответствии со стандартом API 613. При этом отдельная маслостанция не требуется.

Преимуществами редукторной гидромуфты Фойт типа RKGS являются простота конструкции, очень высокая надёжность и компактность. Габаритная длина такой гидромуфты по концам валов всего на 400-500 мм больше, чем у мультипликатора с фиксированной скоростью на аналогичные параметры, а её цена, с учётом замещения маслостанции, на 25-30% выше.

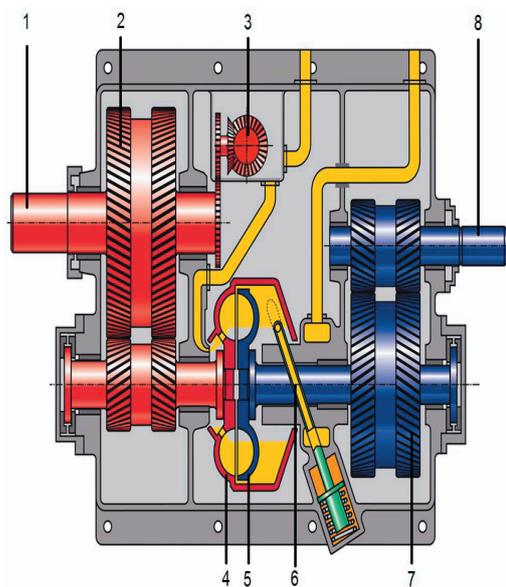


Рис. 4. Редукторная гидромуфта типа RKGS: 1-входной вал, 2,7-редукторные пары, 3-маслонасос, 4,5-рабочие колеса гидромуфты, 6-черпаковая труба, 8-выходной вал

Редукторные гидромуфты Фойт имеют широкий диапазон регулирования скорости от 105 до 25% от номинальной, но при этом потери так же возрастают по мере снижения выходной скорости.

Поэтому оптимальной областью применения редукторных гидромуфт Фойт типа RKGS являются центробежные турбокомпрессоры с относительно небольшой (1,7 - 2,5 МВт) мощностью привода и требуемым диапазоном регулирования скорости в пределах 10-15%.

5. Планетарные гидромуфты Фойт Vogeson типа RWE

Для центробежных турбокомпрессоров с большой мощностью привода (до 55 МВт) и высокой скоростью вращения (до 20000 об/мин) фирма Фойт изготавливает планетарные гидромуфты Фойт Vogeson [2, 3, 7]. Данная гидромуфта представляет собой комбинацию планетарной передачи с фиксированной частотой вращения и гидротрансформатора с поворотными направляющими лопатками (рис. 5).

Входной вал 1 вращается с постоянной скоростью, равной частоте вращения вала электродвигателя (обычно 1500 об/мин).

Выходной вал 4 имеет номинальную скорость, определяемую передаточным отношением планетарной передачи i , например при $i = 10$, 15000 об/мин.

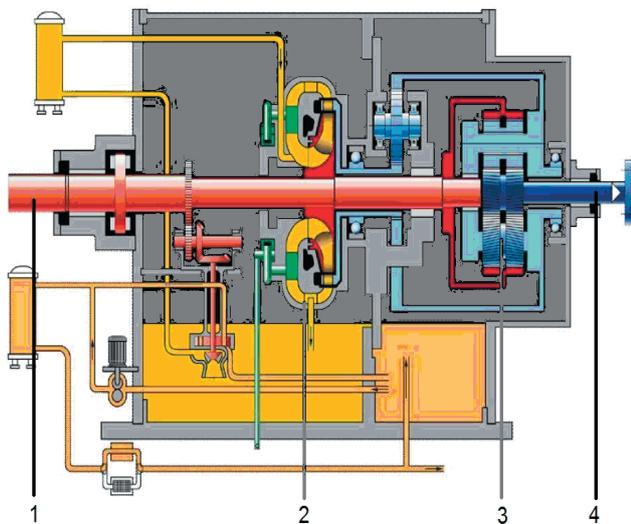


Рис. 5. Планетарная гидромуфта Vogeson типа RWE: 1-входной вал, 2-гидротрансформатор, 3-планетарная передача, 4-выходной вал

В гидромуфте Vogeson оси планетарных шестерён (3, 4 или даже 5 штук) вращаются вокруг центра оси выходного вала (в классической планетарной передаче они неподвижно закреплены на корпусе). В том случае, когда направление вращения осей планетарных шестерён (например, по часовой стрелке) совпадает с направлением вращения входного вала 1, то, согласно образованному треугольнику скоростей, частота вращения выходного вала 4 будет уменьшаться по сравнению с неподвижным положением осей планетарных шестерён. И наоборот, если направление вращения осей планетарных шестерён противоположно направлению вращения входного вала 1, то частота вращения выходного вала будет увеличиваться.

Направление и скорость вращения осей планетарных шестерён задаётся с помощью регулирования положения направляющих лопаток гидротрансформатора 2.

В планетарной гидромуфте Vogeson реализован принцип разделения потока мощности от двигателя на компрессор на две составляющие: постоянную механическую P_1 , передаваемую напрямую через планетарную передачу, и переменную гидравличе-

скую P_2 , передаваемую через гидротрансформатор (рис. 6).

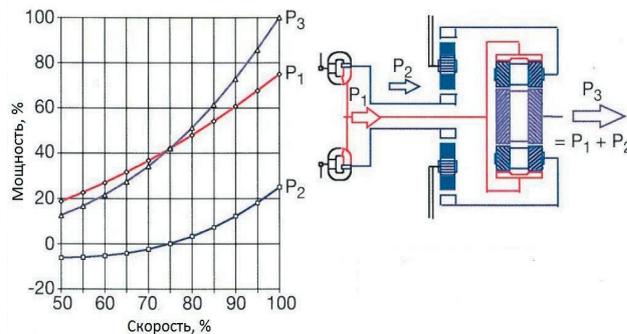


Рис. 6. Принцип разделения потока мощности гидромуфты Vogeson

Важным преимуществом планетарных гидромуфт Фойт Vogeson является сохранение высокого КПД на уровне 92-95% во всём диапазоне регулирования скорости компрессора (обычно от 65 до 105% номинальной).

Поэтому оптимальной областью применения планетарных гидромуфт Фойт Vogeson типа RWE являются центробежные турбокомпрессоры с мощностью привода от 2 до 50 МВт, передаточным отношением скоростей двигателя компрессор $i > 3$ и широким диапазоном регулирования скорости.

Габаритная длина планетарных гидромуфт Фойт Vogeson типа RWE на 300-500 мм больше, чем у редукторных гидромуфт типа RKGS на аналогичные параметры, а её цена, на 40-70% выше. В настоящее время Заказчикам по всему миру поставлено уже около 300 планетарных гидромуфт Фойт Vogeson, многие из которых работают на НПЗ (в том числе в России и странах СНГ).

6. Рабочие характеристики гидромуфт Фойт

Пример типичной рабочей характеристики гидромуфты Фойт Vogeson представлен на рис. 7.



Рис. 7. Рабочая характеристика гидромуфты Vogeson

На горизонтальной оси показана выходная скорость гидромуфты n_2 (равна скорости компрессора), а по вертикальной – значение момента M , передаваемого гидромуфтой при этом значении скорости.

- кривые 1-2 задают минимальное и максимальное значения скорости гидромуфты.

- кривые 3-4 соответствуют крайним положениям поворотных направляющих лопаток гидротрансформатора от положения полностью закрыто (кривая 3) до полностью открыто (кривая 4). Группа кривых внутри поля рабочей характеристики гидромуфты соответствует промежуточным положениям поворотных направляющих лопаток гидротрансформатора.

- кривая 5 – определяется исходя из возможностей системы подачи и охлаждения рабочего масла.

- кривая 6 – определяется исходя из условий механической прочности базовых компонентов конструкции гидромуфты.

- кривая 7 – определяется минимальным моментом, передаваемым планетарной передачей.

Поле рабочей характеристики гидромуфты ограничивается кривыми 1-7 исходя из следующих ограничений:

7. Рабочие характеристики компрессоров

Рабочая характеристика компрессоров обычно представляет собой зависимость давления на выходе $P_{\text{вых}}$, МПа от производительности компрессора Q , м³/ч при заданном давлении $P_{\text{вх}}$ и температуре $T_{\text{вх}}$ на входе, молярной массе газа M и скорости вращения n . Последний параметр может существенно изменяться во времени при изменении химического состава газа в ходе технологического процесса (например, увеличения содержания водорода H_2 , использования азота в процессе регенерации катализатора и т.д.). В этом случае характеристика компрессора пересчитывается на новые входные условия и вместо одной характеристики образуется поле характеристик одного и того же компрессора (рис. 8).

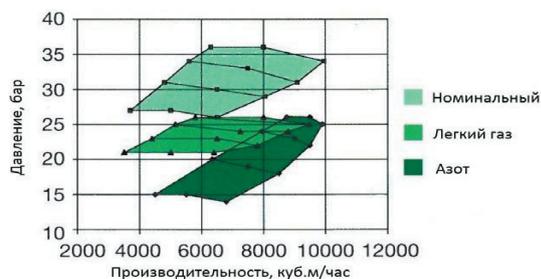


Рис. 8. Характеристики компрессора при различном химическом составе газа

Параметры процесса (P_i и Q_i), которые должен обеспечить компрессор, наносятся на поле его характеристик в виде рабочих точек, для которых по ним

определяются значения скорости вращения и мощности на валу компрессора n_i и N_i . Эти рабочие точки являются основными исходными данными для выбора гидромуфты.

8. Выбор гидромуфт Фойт

Рабочие точки компрессора вносятся в специальную компьютерную программу фирмы Фойт, которая в автоматическом режиме подбирает гидромуфту, способную обеспечить все рабочие точки компрессора и нанести точки на характеристику (рис. 9).

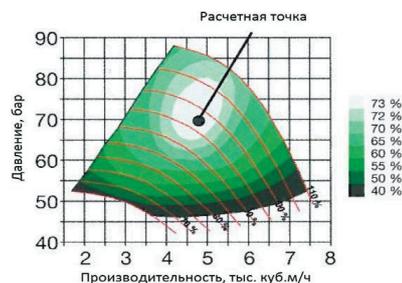


Рис. 9. КПД компрессорного агрегата с установкой гидромуфты Voreson

Для этих точек программа рассчитывает значения мощности на валу компрессора N_{ki} и величины гидравлических $\Delta N_{\text{гидр}}$ и механических $\Delta N_{\text{мех}}$ потерь, по которым определяется мощность привода $N_{\text{пр}}$:

$$N_{\text{пр}} = (N_{ki} + \Delta N_{\text{гидр}} + \Delta N_{\text{мех}}) / \eta \text{ двигателя.}$$

Если программа однозначно выбирает редукторную гидромуфту типа RKGS или планетарную гидромуфту Voreson то выбор между ними не возможен. В тех случаях, когда рабочие точки компрессора могут быть обеспечены гидромуфтами обоих типов, выполняются следующим образом: определяют дополнительные капиталовложения ΔK в планетарную гидромуфту Voreson по сравнению с редукторной гидромуфтой RKGS (с учётом СМР в фундамент.) Определяют годовую экономию электроэнергии ΔE на привод компрессора при использовании Voreson с более высоким КПД вместо RKGS. Определяют простой и дисконтированный срок окупаемости $T_{\text{пр}}$ и $T_{\text{дк}}$ дополнительных капиталовложений ΔK при заданном тарифе на электроэнергию $\Pi_э$, руб/кВт·ч:

$$T_{\text{пр}} = \Delta K / \Delta E \cdot \Pi_э.$$

Обычно, при сроке окупаемости $T_{\text{пр}} > 5$ лет выбирают вариант с RKGS.

Литература

1. Ernstberger, A. Speed control of turbocompressors [Текст] / A. Ernstberger // Thermal turbomachinery – 1998. – 10 p.
2. Иванов, В.Б. К вопросу о сравнительной эффективности механотронного и частотно - регулируемого приводов [Текст] / В.Б. Иванов, М. Рихтер, В.И. Ситас // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2012. – 3/10 (57). – С. 32-35.

3. Применение регулируемых приводов Фойт для надежной и долговечной эксплуатации компрессорных установок и сервисная служба в России [Текст] // Совещание главных механиков нефтеперерабатывающих и нефтехимических предприятий России и стран СНГ, 2009. Н.Н. Кончаков, М. Рихтер.
4. Костенко, Д.А. Регулируемые приводы: возможности, затраты, эффективность [Текст] / Д.А. Костенко, В.Б. Иванов // ТЭК. – 2008. – №4. – С.30-33.
5. Ситас, В.И. Применение регулируемых гидромуфт для уменьшения расхода электроэнергии на собственные нужды электростанций [Текст] / В.И. Ситас, А. Пёшк, Р.М. Фаткуллин // Электрические станции. – 2003. – №2. – С.61 – 65.
6. Туркин, А.Н. Гидромуфты питательных насосов тепловых электростанций [Текст] / А.Н. Туркин. - М.: Энергия, 1974. – 23-2 с.
7. Рихтер, М. Регулируемые приводы Voith в электростанциях комбинированного типа и магистральных газопроводах [Текст] / М. Рихтер, В.Б. Иванов, В.И. Ситас // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2010. – 3/3 (45). – С. 57-59.
8. Ситас, В.И. Гидромуфта Фойт – конкурентоспособный регулируемый привод для энергетики [Текст] / В.И. Ситас, А. Пёшк, М. Рихтер // Энергетик. – 2005. – №2. – С. 45.
9. Фаткуллин, Р.М. Об экономической эффективности применения регулируемого привода на питательных насосах ТЭЦ с поперечными связями [Текст] / Р.М. Фаткуллин, О.В. Зайченко, В.Э. Кремер // Энергетик. – 2004. – №4. – С. 9-11.
10. Фардиев И.Ш. О целесообразности и опыте применения гидромуфт на вспомогательном оборудовании ТЭС с поперечными связями [Текст] / И.Ш. Фардиев, А.А. Салихов, Р.М. Фаткуллин // Энергетик. – 2004. – №5. – С. 15-18.

Вивчається природа появи додаткового зсуву нуля інтегруючого гіроскопа при льотній експлуатації. Зазначено, що вже в першому наближенні можна оцінити ступінь впливу антисиметричної складової проникаючого акустичного випромінювання в умовах гіперзвукового польоту на показання інерціальних сенсорів в поплавковому виконанні

Ключові слова: інтегруючий гіроскоп, дрейф нуля, осенесиметрична деформація підвісу, синхронна хитавиця, асинхронна хитавиця

Изучается природа появления дополнительного сдвига нуля интегрирующего гироскопа при летной эксплуатации. Показано, что уже в первом приближении можно оценить степень влияния антисимметричной составляющей проникающего акустического излучения в условиях гиперзвукового полета на показания инерциальных сенсоров в поплавковом исполнении

Ключевые слова: интегрирующий гироскоп, дрейф нуля, осенесиметричная деформация подвеса, синхронная качка, асинхронная качка

1. Введение

Исследования относятся к области прикладной механики и посвящены изучению воздействия мощной N-волны гиперзвукового полета на упругие конструкции поплавкового подвеса двухстепенного гироскопа. Гиперзвуковые технологии прочно входят в авиацию и ракетостроение.

Вместе с тем, сверхжесткие условия требуют критического пересмотра технических реализаций командно-измерительного комплекса летательных аппаратов.

ДРЕЙФ НУЛЯ ИНТЕГРИРУЮЩЕГО ГИРОСКОПА ПРИ ОСЕНЕСИММЕТРИЧНОЙ ДЕФОРМАЦИИ ПОДВЕСА

УДК 629.7.054

В. В. Карачун

Доктор технических наук, профессор*

В. Н. Мельник

Доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой*

*Кафедра биотехники и инженерии

Национальный технический университет Украины

«Киевский политехнический институт»

пр. Победы, 37, г. Киев, Украина, 03056

E-mail: karachun11@i.ua

Это в равной степени относится к транспортным ракетам (например «Falcon 9 Heavy»), сверхзвуковым крылатым ракетам на базе ГПВРД, гиперзвуковому оружию, баллистическим ракетам, а также беспилотным летательным аппаратам (БПЛА).

2. Анализ состояния проблемы и постановка задачи исследований

При боевом дежурстве выполнение запроса на огневую поддержку гиперзвуковые аппараты проводят