

5. Информационная технология. Системная инженерия. Процессы жизненного цикла систем. System engineering – System life cycle processes: ГОСТ Р ИСО/МЭК 15288-2005. – [Дата введения 01.01.2007]. – М.: Стандартинформ, 2006. – 53 с. – (Национальный стандарт Российской Федерации).
6. Шитикова Е.В. Анализ рисков газотурбинных установок наземного применения [Текст] / Е.В. Шитикова, Г.В. Табунщик // Вісник двигунобудування. – 2012. - №1. – С. 54-59.
7. Курбатов С.В. Исследование теплосостояния систем газоперекачивающего агрегата ГПА-К/5,5-ГТП/6,3 СК [Текст] / С.В. Курбатов, // Тезисы докладов. III ММНТ конференция авиамоторостроительной отрасли, Алушта, 18-22 мая 2009г. «Молодежь в авиации: новые решения и передовые технологии». – Запорожье: ОАО «Мотор Сич», 2009. – С. 103-104.
8. Шитикова Е.В. Исследование различных конструкций трансмиссионных валов на рабочих режимах газоперекачивающего агрегата ГПА-К/5,5-ГТП/6,3 СК [Текст] / Е.В. Шитикова, С.В. Курбатов // Тезисы докладов. III ММНТ конференция авиамоторостроительной отрасли, Алушта, 18-22 мая 2009г. «Молодежь в авиации: новые решения и передовые технологии». – Запорожье: ОАО «Мотор Сич», 2009. – С. 83-84.
9. Шитикова Е.В. Анализ рисков газотурбинных установок наземного применения [Текст] / Е.В. Шитикова, Г.В. Табунщик // Вісник двигунобудування. – 2012. - №1. – С. 54-59.

VOITH є найбільшим виробником гідродинамічних регульованих приводів. Гідромуфти та планетарні передачі добре відомі в країнах СНД. Ефективність регульованих приводів багаторазово підтверджено їх використанням в приводах різноманітних машин самої різної потужності

Ключові слова: гідромуфти, приводи, енергозбереження, магістральні газопроводи

VOITH является крупнейшим производителем гидродинамических регулируемых приводов. Гидромукты и планетарные передачи хорошо известны в странах СНГ. Эффективность регулируемых приводов многократно подтверждена их применением в приводах различных машин самой разнообразной мощности

Ключевые слова: гидромукты, приводы, энергосбережение, магистральные газопроводы

VOITH is the largest producer of hydrodynamic adjustable drives. Hydrocouplings and planetary transfers are well-known in CIS countries. Efficiency of adjustable drives is repeatedly confirmed with their application in drives of various cars of the most various capacity

Key words: hydrocouplings, drives, energy saving, main gas pipelines

УДК 62.1

К ВОПРОСУ О СРАВНИТЕЛЬНОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ МЕХАНОТРОННОГО И ЧАСТОТНО- РЕГУЛИРУЕМОГО ПРИВОДОВ

В.Б. Иванов

Кандидат технических наук, доцент,
директор представительства
Представительство Фойт Турбо
ул. В.Хвойки, 21, г. Киев, Украина, 04655
Контактный тел.: (044) 581-47-60, 067-440-45-04
E-mail: vadim.ivanov@voith.com

М. Рихтер

Региональный менеджер проектов Voith в странах СНГ
Voith Turbo GmbH & Co. KG Start-up Components
Voithstr.1, Crailsheim, GERMANY, 74564
Контактный тел.: 049-(0)7951-32-409
E-mail: startup.components@voith.com

В.И. Ситас

Кандидат технических наук, доцент,
директор представительства
Представительство Voith в России
ул. Николаямская, 21/7, г. Москва, Россия, 109240
Контактный тел.: 07 (495) 915-32-69
E-mail: Victor.Sitas@voith.com

Регулирование производительности насосов, компрессоров, вентиляторов и других машин является

одним из главных направлений повышения энергоэффективности производства. За счет регулирования

производительности достигается не только снижение потребления топливно-энергетических ресурсов, потенциал которого лишь в тепловой энергетике составляет до 1 млрд. кВт·ч в год, но и существенно улучшаются условия эксплуатации оборудования, точность управления технологическими процессами на заданных параметрах, увеличиваются сроки службы машин, повышается надежность, техническая готовность и безопасность работы технических систем [1].

Наряду с предприятиями тепловой энергетики значительный потенциал энерго-сбережения за счет внедрения регулируемых приводов имеют также металлургические, горнодобывающие и химические предприятия, магистральные трубопроводы, хранилища и терминалы, заводы по переработке нефти и газа, другие предприятия. Только в ГЭС Украины установлены ЭПА общей мощностью 828 МВт, за редким исключением, не регулируемые.

Эффективность регулируемых приводов многократно подтверждена их применением в приводах различных машин самой разнообразной мощности. За последние 10 лет в странах СНГ установлены гидродинамические муфты производства Voith в приводах суммарной мощностью 1320 МВт.

Только в тепловой энергетике ежегодно внедряется 40-60 гидромуфт в качестве приводов насосов и вентиляторов. Крупнейшим проектом, реализуемым в настоящее время, является оснащение 52 нефтяных насосов магистрального нефтепровода ВСТО-2 регулируемые гидромуфтами Voith.

В то же время, со стороны приверженцев электронного (частотного) регулирования приходится встречать искаженную информацию об эффективности гидромуфт.

Прежде всего, в качестве показателя эффективности рассматривается единственный показатель - КПД и опускаются надежность и долговечность, единовременные затраты на внедрение привода, наконец, такие интегральные показатели как затраты жизненного цикла, срок окупаемости. Не принимаются во внимание также конкретные условия применения. Их влияние рассмотрим на примере расчета гидродинамических потерь и КПД гидромуфты, используемой для регулирования производительности питательного насоса котла [2].

Мощность на валу насоса, кВт

$$P = \frac{9,81}{3600} \cdot Q \cdot H \cdot \rho \cdot \frac{1}{\eta_n}, \tag{1}$$

где Q – расход, т/ч
H – напор, м
ρ – плотность, т/м³
η_n – КПД насоса.

Поскольку расход и напор центробежного насоса зависят от скорости его вращения n

$$(Q \sim n; H \sim n^2; P \sim n^3),$$

то при уменьшении с помощью гидромуфты скорости насоса n₂ ниже максимальной, равной скорости мотора n₁, мощность на его валу P₂ снижается по кубической параболе (см. рис. 1).

$$P_2 = P_{max} \cdot \left(\frac{n_2}{n_1}\right)^3,$$

где P_{max} – максимальная передаваемая мощность на валу насоса при n₂ = n₁.

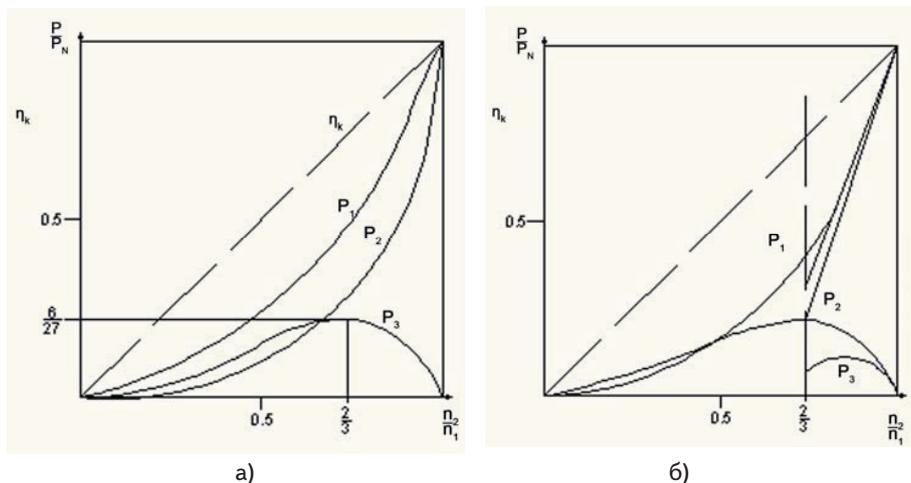


Рис. 1. Теоретическая кривая мощности насоса и изменение потерь в гидромуфте привода питательного насоса котла

Потери в гидромуфте P_s также изменяются при уменьшении выходной скорости в соответствии с зависимостью

$$P_s = \frac{P_{max} \cdot \Psi^3}{\Psi} - P_{max} \cdot \Psi^3 = P_{max} (\Psi^2 - \Psi^3), \tag{2}$$

где Ψ – удельный безразмерный параметр, $\Psi = \frac{n_2}{n_1}$.

Для определения значения Ψ*, при котором потери в гидромуфте имеют максимальное значение, производную функции (2) приравняем 0,

$$\frac{\partial P_s}{\partial \Psi} = 2\Psi - 3\Psi^2 = 0, \tag{3}$$

Откуда Ψ* = 2/3.

При подстановке Ψ* в (2) получаем максимальное значение потерь P_s* = 0,148 P_{max}.

Кривая зависимости потерь в гидромуфте P_s от скорости центробежного нагнетателя с классической параболической характеристикой показана на рис. 1а.

При использовании гидромуфты для регулирования характеристики питательного насоса, зависимость потерь от выходной скорости принципиально другая из-за влияния котла. Рабочее давление кот-

ла накладывается на параболическую характеристику насоса, делая последнюю существенно круче (линия P₂ на рис. 16) и уменьшая потери в гидромуфте (разность ординат между линиями P₁ и P₂ на рис. 16).

Чем выше рабочее давление пара в котле, тем круче его характеристика и тем более узок требуемый диапазон регулирования, а следовательно, меньше потери в гидромуфте.

Как видно из рис. 16, на котором показана характеристика регулирования котла с рабочим давлением 14 МПа, максимальные гидравлические потери в гидромуфте составляют около 10-12%, а средние 5-7%. Практика эксплуатации гидромуфт в приводах питательных насосов подтверждает приведенные выше показатели и достаточно высокий КПД.

Тем не менее, Voith совершенствует конструкции гидродинамических приводов с целью повышения их КПД. В качестве примера рассмотрим механотронный регулируемый привод «Vorecon», используемый для питательных насосов энергоблоков большой мощности, для компрессоров магистральных газопроводов, терминалов и НПЗ.

Наибольшее распространение привод «Vorecon», главными элементами которого являются 2 планетарные передачи, гидротормоз и гидротрансформатор, управляющий водилом одной из передач, получил в приводах ЭГПА.

Только в США более 50 приводов «Vorecon» мощностью от 4 до 33 МВт установлены в магистральных газопроводах «Вильямсгаз», «Флоридагаз», «Теннессигаз», «Трансвестерн». Реализованные в США проекты преимущественно были связаны с заменой газотурбинного привода на электропривод, что обеспечивало повышение эффективности работы КС (несмотря на стоимость газа, не превышающую 100 долл./1000 куб.м.), а также улучшение экологических условий.

Высокий КПД «Voreкона» достигается за счет разделения потоков энергии, когда 75% энергии пе-

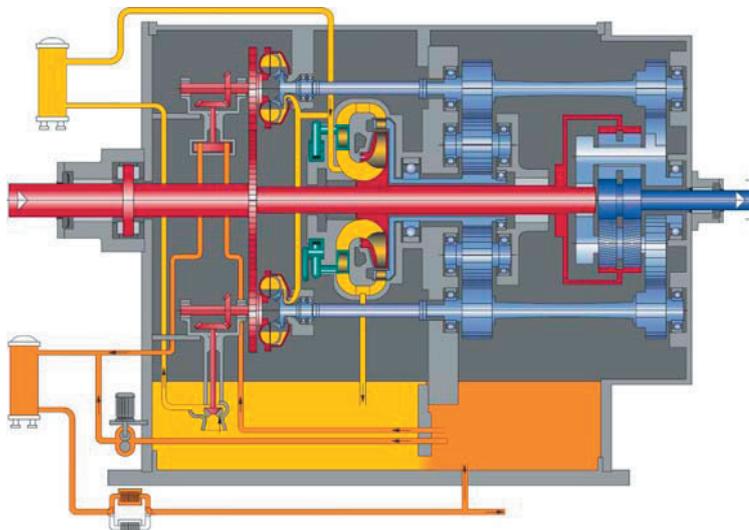


Рис. 2. Принципиальная конструкция механотронного привода «Vorecon»

редается механическим путем через планетарный редуктор и лишь 25% - гидравлическим через гидротрансформатор, управляющий водилом (рис. 2). Кроме высокого КПД привода, составляющего около 95 % на всем диапазоне регулирования, «Vorecon» характеризуют высокая безотказность (99,97%) и готовность (99,83%).

Компактная конструкция требует в 3 раза меньшую площадь, чем частотно-регулируемый привод (ЧРП) и позволяет сэкономить как инвестиционные затраты, так и затраты на обслуживание и ремонт. Кроме того, «Vorecon» сохраняет также известные преимущества гидромуфт, такие как большой диапазон регулирования, простота эксплуатации, разгруженный пуск двигателя.

На рис. 3 показан комплект оснащения высоковольтного ЧРП, который позволяет объяснить его высокую стоимость и потребность в больших производственных площадях.

Нужно учитывать также потребность в системе кондиционирования и в использовании редукторов для турбоприводов.



Рис. 3. Комплект частотно-регулируемого привода (ЧРП)

Сравним основные показатели, характеризующие эффективность механотронного и частотно-регулируемого приводов на примере 8 МВт компрессора, поставляемого на месторождение Тебриз в Иране (табл. 1):

Таблица 1

Наименование показателя	Ворекон	ЧРП
Занимаемая площадь, м ²	45	150
Единовременные затраты, тыс. долл. США	1400	2250
Годовая сумма затрат на обслуживание и ремонт, тыс. долл. США	13,79	88,42
Срок службы оборудования, лет	30	12

Таким образом, с учетом 30-летнего срока службы «Ворекона» затраты жизненного цикла определяются выражением

$$LCC = 1400 + 13,79 \times 30 + 8000 \text{ кВт} \times 8760 \text{ час.} \times 30 \text{ лет} \times \text{Цена электроэнергии} / \text{кВт-ч}$$

или

$$LCC = 1801,37 + 2,049,840,000 \times \text{Цэ}$$

Соответственно, принимая во внимание 12-летний срок службы ЧРП и необходимость хотя бы одной замены вышедшего из строя оборудования за 30 лет эксплуатации

$$LCC = 2250 \times 2 + 88,42 \times 30 + 8000 \text{ кВт} \times 8760 \text{ час.} \times 30 \text{ лет} \times \text{Цэ}$$

или

$$LCC = 7152,60 + 2,049,840,000 \times \text{Цэ}$$

Сопоставление приведенных расчетов показывает, что за время жизненного цикла затраты на ЧРП примерно на 5 млн. долл. превышают соответствующий показатель для механотронного регулируемого привода. При этом, приведенные расчеты можно считать корректными, поскольку они основаны на реальной информации, использованной при выполнении конкурентных расчетов по реализованному в 2008 г. проекту. КПД привода на основе «Ворекона» не уступает частотно-регулируемому, в котором большое количество компонентов суммарно определяют как снижение его КПД, так и показателей надежности (к приведенному на рис. 3 перечню необходимо также добавить потери в редукторе и затраты электроэнергии на кондиционирование).

Литература

1. Костенко Д.А., Иванов В.Б. Регулируемые приводы: возможности, затраты, эффективность / ТЭК.- 2008, №4. - С.30-33.
2. Ситас В.И., Пёшк А., Фаткуллин Р.М. Применение регулируемых гидромфут для уменьшения расхода электроэнергии на собственные нужды электростанций/ Электрические станции. - 2003, №2. С.61 – 65.