

Метод расчета эффективности применения преобразователей частоты вращения двигателей центробежных насосов ТЭС*

Кириллов М. В., инж., Сафронов П. Г., канд. техн. наук

Филиал ОАО «ИНТЕР РАО — Электрогенерация “Харанорская ГРЭС”»,
Забайкальский край, пос. Ясногорск

Батухтин А. Г., канд. техн. наук

Технопарк ФГБОУ ЗабГУ, Чита

Рассмотрена методика определения эффективности внедрения частотного регулирования на насосном оборудовании. Приведен расчет эффективности внедрения частотно-регулируемого привода (ЧРП) на примере турбины К 215-130. Показаны границы эффективности.

Ключевые слова: частотно-регулируемый привод, метод регулирования, алгоритм расчета, насос, напорная характеристика.

Одним из приоритетных направлений повышения эффективности потребления электроэнергии на ТЭС является установка частотно-регулируемых приводов для насосного оборудования, систем вентиляции и кондиционирования, а также дутьевых вентиляторов котлов. В настоящее время наиболее широкое применение находит частотный способ регулирования скорости вращения электродвигателей центробежных насосов ТЭС, но пока нет достаточно приемлемого метода определения его эффективности. Например, в Инструкции [1] не учитывается характеристика сети, и в результате получаемый при расчетах эффект оказывается завышенным. По оценке производителей преобразователей частоты, при их применении

потребление электроэнергии должно снижаться на 30 – 50 %, но расчетный эффект часто отличается от фактического.

В связи с разнообразием видов работ, выполняемых оборудованием, предназначенным для различных целей, к расчету экономической эффективности частотных регуляторов, а также к обоснованию необходимости их установки следует подходить индивидуально.

Название “частотно-регулируемый электропривод” (см. рис. 1, где 1 — насос; 2 — электродвигатель; 3 — блок задания регулируемого параметра; 4 — датчик давления; 5 — датчик расхода) обусловлено тем, что регулирование скорости вращения двигателя осуществляется путем изменения частоты напряжения питания, подаваемого на двигатель от преобразователя частоты. На протяжении последних 10 – 15 лет в мире наблюдается широкое и успешное внедрение преобразователей частоты для решения различных техно-

* Работа выполнена в рамках гранта Президента Российской Федерации по поддержке молодых кандидатов наук, а также в рамках ФЦП “Научные и научно-педагогические кадры инновационной России 2009 – 2013 гг.”.

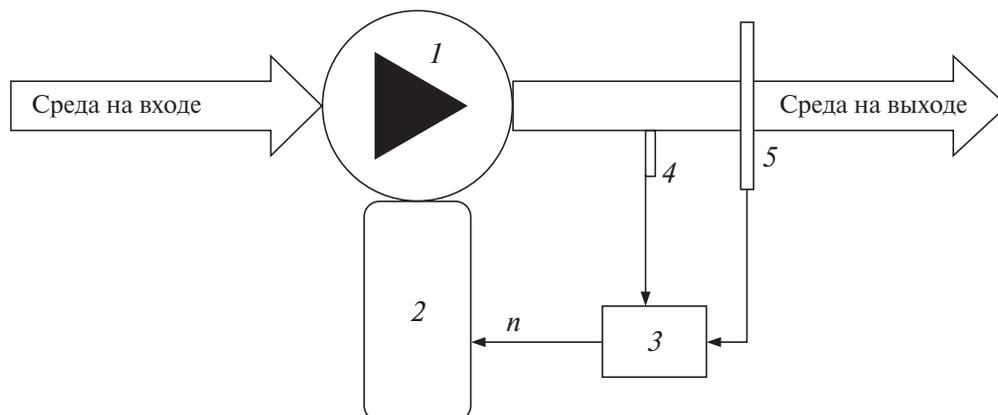


Рис. 1

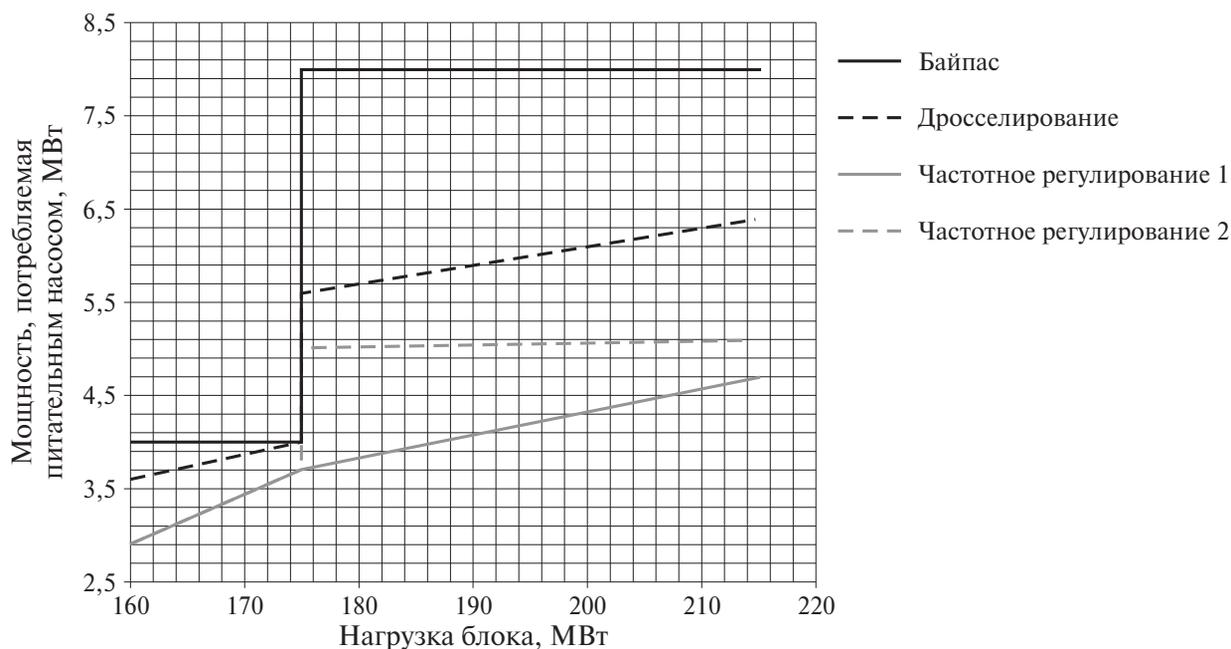


Рис. 2

логических задач во многих отраслях экономики.

На рис. 2 для сравнения показаны линии мощности, потребляемой двумя питательными электронасосами (ПЭН) в составе энергоблока 215 МВт, при различных способах регулирования их производительности. Линия мощности, потребляемой при регулировании дросселированием, получена на основе опытных данных, а остальные линии — расчетным методом.

Если сравнивать частотное регулирование скорости вращения двигателя с другими способами регулирования производительности и напора (байпасированием и дросселированием), то, несомненно, преимущественным оказывается использование преобразователя частоты. При нагрузке 175 МВт и выше одновременно работают два питательных насоса. При регулировании байпасированием насос работает с номинальной производительностью, и часть питательной воды, не востребованная технологическим процессом, не попадает в котел (сбрасывается или подается на всас насоса по линии рециркуляции). Соответственно при регулировании байпасированием двигатель насоса потребляет номинальную мощность. При регулировании дросселированием избыток напора гасится на дросселирующем устройстве и безвозвратно теряется.

При частотном регулировании электродвигатель потребляет ровно столько, сколько необходимо для обеспечения технологического

процесса. При идеальной работе одного питательного насоса с частотным регулированием потребляемая мощность представлена линией “Частотное регулирование 1”, а при включении второго питательного насоса (один насос работает по характеристике сети без использования частотного регулирования, а другой — с подрегулировкой путем частотного регулирования для обеспечения технологического процесса) — линией “Частотное регулирование 2”.

Анализ применения частотного регулятора [2 – 6] позволяет сформулировать следующие его достоинства:

- практически самый высокий КПД (98,5 % и выше) по сравнению с КПД других регуляторов. Это обусловлено преобразованием частоты, влияющей на характеристики электрического тока, а не механическим влиянием на агрегат, например, при установке гидромолоты;

- возможность использования в мощных высоковольтных приводах;

- относительно невысокая цена, несмотря на увеличение абсолютной стоимости из-за необходимости в схемах управления и дополнительном оборудовании;

- плавные разгон и торможение;

- увеличение срока службы оборудования;

- ограничение тока на уровне номинального в пусковых, рабочих и аварийных режимах;

- снижение вероятности аварийных ситуаций;

- возможность точной настройки режима работы технологической системы;

отсутствие гидроударов и динамических перегрузок в трубопроводах при пуске и останове насосного агрегата;

высокая производственная безопасность.

Однако для обоснования необходимости установки регуляторов частоты следует проанализировать работу оборудования. Если наибольшее количество времени оно работает без дросселирования на напоре, установка частотного регулятора не имеет смысла.

Ниже представлен алгоритм расчета экономической эффективности установки преобразователя частоты на двигатели насосов центробежного типа при перекачивании жидкой среды и создании определенного напора.

1. В координатах $H=f(Q)$ строим характеристику сети. Наиболее точно ее можно рассчитать, если вычесть давление за первой задвижкой по ходу воды от насоса из давления воды у потребителя. При невозможности точного расчета при различных расходах воды можно пользоваться зависимостью

$$\Delta H_i = \Delta H_0 \left(\frac{Q_i}{Q_0} \right)^3,$$

где ΔH_i — гидравлическое сопротивление при i -м расходе Q_i ; ΔH_0 — гидравлическое сопротивление при известном расходе Q_0 .

2. В этой же системе координат строим характеристику насоса.

3. Анализируем работу насоса за предыдущие периоды. Для этого рабочую область насоса по расходу разбиваем на i частей (границы интервалов являются характерными точками). Рассчитываем число часов работы насоса в год t_i на каждом интервале.

4. Находим значения напоров H_1 , создаваемых насосом в характерных точках напорной характеристики, а также значение напора H_2 , необходимого для преодоления сопротивления сети.

5. Для каждой характерной точки вычисляем потребляемую двигателем насоса мощность, Вт:

$$N_i = \frac{Q_i H_i}{9,8 \eta_n^i \eta_{дв} \cdot 0,985 \cos \varphi},$$

где Q_i — расход перекачиваемой воды, кг/с; H_i — напор, создаваемый насосом, Па; η_n^i — КПД насоса при расходе Q_i (берется из паспортной характеристики $\eta_n^i = f(Q)$); $\eta_{дв}$ — КПД двигателя (определяется из паспортной характеристики); 0,985 — КПД частотно-регулируемого привода; $\cos \varphi$ — коэффициент мощности.

При расчете потребляемой мощности с использованием частотно-регулируемого привода КПД насоса принимается максимальным, так как при частотном регулировании не возникают дополнительные потери в гидравлической системе, поскольку в любых режимах напоры насоса в сети согласуются между собой [6]. При расчете потребляемой мощности без использования частотно-регулируемого привода коэффициент 0,985 не учитывается.

6. Рассчитываем ежегодные затраты электроэнергии, Вт·ч/год, на перекачку воды насосом:

$$\mathcal{E}_{\text{год}} = \sum N_i t_i.$$

7. Определяем экономию электроэнергии, Вт·ч/год, при использовании частотно-регулируемого привода:

$$\Delta \mathcal{E}_{\text{год}} = \mathcal{E}_{\text{год}}^{\text{без ЧРП}} - \mathcal{E}_{\text{год}}^{\text{с ЧРП}}.$$

Далее, зная тариф на электроэнергию T , руб/(кВт·ч), находим экономический эффект, руб/год:

$$\mathcal{E} \varphi = \Delta \mathcal{E}_{\text{год}} T / 1000.$$

В настоящее время инвесторы опасаются вкладывать значительные финансовые средства в проекты вследствие высоких экономических рисков, а также при превышении сроков окупаемости проекта (более 3 лет). В случае изменения числа работающих агрегатов при изменении производительности установка частотного регулятора на каждый агрегат может привести к превышению оптимального срока окупаемости. Тогда возможно установить один частотный регулятор на группу насосов, при этом он будет управлять лишь одним насосом.

В качестве примера рассмотрим расчет эффективности работы энергоблока 215 МВт, имеющего в составе два питательных насоса. Выделим три режима при установке ЧРП: 160 – 175 МВт (работает один ПЭН), 175 – 215 МВт (работают два ПЭН), 175 – 215 МВт (работает один ПЭН).

На рис. 3 показаны напорные характеристики ПЭН с ЧРП при разных режимах работы; линия 1–2–3 — паспортная характеристика насоса без ЧРП, а линия 4–5–6–7 — характеристика сети.

Режим 1 (160 – 175 МВт). Как видно из рис. 3, напор, создаваемый ПЭН при данной нагрузке, значительно превышает требуемый для этого режима работы. При установке ЧРП напорная характеристика насоса смеща-

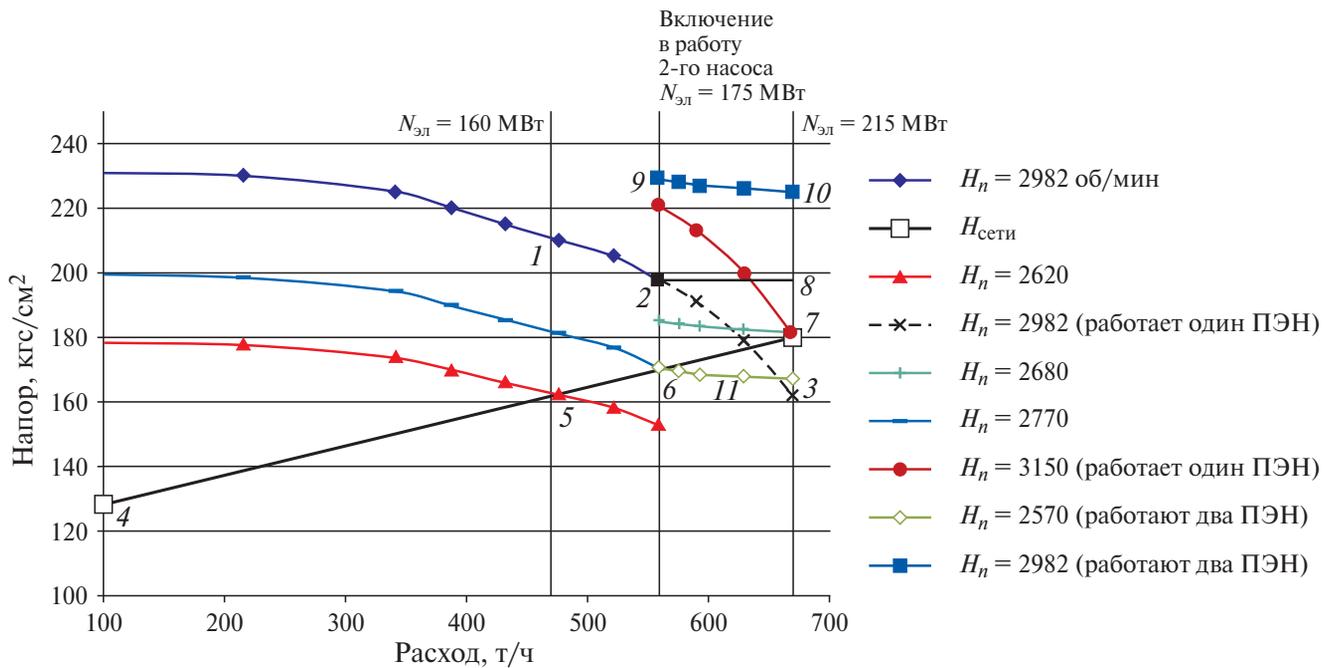


Рис. 3

ется до необходимого уровня, и в зависимости от нагрузки (160 – 175 МВт) частота варьируется в пределах 2620 – 2770 об/мин соответственно.

В режиме 2 (175 – 215 МВт) возможны два варианта установки ЧРП: на оба насоса и на один насос. При установке ЧРП на оба насоса, так же, как в режиме 1, напор, создаваемый двумя ПЭН при номинальной частоте (линия 9–10), снижается до требуемого (линия 6–7). В данном случае частота будет варьироваться в пределах 2570 – 2680 об/мин. При установке ЧРП на одном насосе в случае достижения нагрузки блока 175 МВт другой насос переводится в режим работы с номинальной частотой, а насосом с ЧРП при минимальном расходе через него осуществляется подрегулировка напора до значения, выдаваемого первым насосом для исключения “передавливания” одним насосом другого (линия 2–8).

В режиме 3 (175 – 215 МВт) при пересечении паспортной напорной характеристики насоса и характеристики сети (точка 11) будет обеспечиваться номинальная скорость насоса ($n = 2982$ об/мин). Далее при ее увеличении до 3150 об/мин можно достичь номинальной нагрузки при работе одного ПЭН.

Данный режим следует согласовать с заводом-изготовителем по условиям надежности работы насоса. Кроме того, необходимо заменить двигатель насоса мощностью 4 МВт на двигатель 5 МВт.

Из рис. 2 видно, что при внедрении ЧРП возможна работа энергоблока с одним ПЭН вплоть до нагрузки 185 МВт. В дальнейшем работа с одним ПЭН ограничена мощностью электродвигателя.

В среднем снижение мощности при внедрении ЧРП составит 0,5 и 1,8 МВт при нагрузке блока соответственно 160 – 175 и 175 – 215 МВт.

Рассмотренный в статье упрощенный алгоритм расчета позволит достаточно просто определять экономическую эффективность применения частотного регулирования на насосном оборудовании.

Список литературы

1. Шакарян Ю. Г., Ильинский Н. Ф. Инструкция по расчету экономической эффективности применения частотно-регулируемого электропривода. — М., 1997.
2. Сайт “Энергосбережение” (<http://e-audit.ru/chrp/index.shtml>).
3. Липатников Г. А., Гузеев М. С. Автоматическое регулирование объектов теплоэнергетики. — Владивосток, 2007.
4. Филиппов Б. А., Ильинский Н. Ф. Основы электропривода. — М.: МЭИ, 1977.
5. Москаленко В. В. Автоматизированный электропривод: Учеб. для вузов. — М.: Энергоатомиздат, 1986.
6. Малошенко В. В., Михайлов А. К. Энергетические насосы: Справочное пособие. — М.: Энергоиздат, 1981.