

## СНИЖЕНИЕ ПОТЕРЬ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В СЕТИ ПРИ ЗАМЕНЕ НЕРЕГУЛИРУЕМОГО ПРИВОДА ЦЕНТРОБЕЖНЫХ НАСОСОВ НА ЧАСТОТНО-РЕГУЛИРУЕМЫЙ

Алексеев В.Ю., Кабаргина О.В., Шабанов В.А.

Уфимский государственный нефтяной технический университет  
email: ShabanovVA1@yandex.ru

*В работе рассмотрена упрощенная методика оценки снижения потерь мощности и электроэнергии в электрической сети при замене нерегулируемого асинхронного электропривода центробежных насосов нефтеперекачивающих станций на частотно-регулируемый или электропривод на основе вентильного электродвигателя.*

*Ключевые слова: нерегулируемые и регулируемые асинхронные, синхронные двигатели, частотно-регулируемый электропривод, коэффициент мощности, коэффициент полезного действия, потери мощности, расход электроэнергии, магистральный насос*

Для привода магистральных центробежных насосов (МН) в нашей стране широко применяются нерегулируемые асинхронные (АД) и синхронные двигатели (СД) мощностью до 8000 кВт. Наиболее перспективными направлениями регулирования скорости вращения МН является использование частотно-регулируемых электроприводов и их разновидности – электроприводов на основе вентильных двигателей (ВД) [1]. Одним из основных показателей, характеризующих технический уровень электроприводов с регулируемой частотой вращения насосов, являются потери мощности и расход электроэнергии [2, 3, 4]. В статье рассматривается методика расчета снижения потерь мощности и электроэнергии в электрической сети при замене нерегулируемого электропривода МН на частотно-регулируемый электропривод или электропривод на основе вентильного электродвигателя. Схема электроснабжения МН приведена на рис. 1.

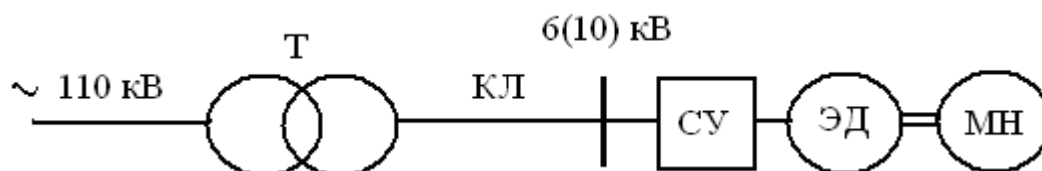


Рисунок 1. Схема электроснабжения МН

В регулируемых электроприводах станция управления СУ содержит преобразователь частоты (ПЧ). В нерегулируемых электроприводах на основе АД или СД преобразование электроэнергии в СУ не выполняется. Трансформатор Т расположен на главной понижающей подстанции, электроэнергия от которой подводится к нефтеперекачивающей станции по кабельной линии КЛ напряжением 6(10) кВ длиной до 2-3 км.

Активная  $P_{С.НЕР}$  и реактивная  $Q_{С.НЕР}$  мощности, потребляемые из сети 110 кВ нерегулируемым электроприводом МН с АД:

$$P_{С.НЕР} = P_{НЕР} + \Delta P_{КЛ} + \Delta P_T; \quad (1)$$

$$Q_{С.НЕР} = Q_{НЕР} + \Delta Q_{КЛ} + \Delta Q_T, \quad (2)$$

где  $P_{НЕР}$  и  $Q_{НЕР}$  – активная и реактивная мощности, потребляемые электродвигателем при нерегулируемом электроприводе,

$\Delta P_{КЛ}$  и  $\Delta P_T$ ;  $\Delta Q_{КЛ}$  и  $\Delta Q_T$  – потери активной и реактивной мощности в кабельной линии и трансформаторе Т.

Активная  $P_{С.РЕГ}$  и реактивная  $Q_{С.РЕГ}$  мощности, потребляемые из сети регулируемым электроприводом:

$$P_{С.РЕГ} = P_{РЕГ} + \Delta P_{КЛ} + \Delta P_T + \Delta P_{ПЧ}; \quad (3)$$

$$Q_{С.РЕГ} = P_{С.РЕГ} \cdot \operatorname{tg} \varphi, \quad (4)$$

где  $\Delta P_{ПЧ}$  – потери мощности в ПЧ,

$\operatorname{tg} \varphi$  – коэффициент реактивной мощности ПЧ.

Рассмотрим отдельные составляющие в выражениях (1) - (4). Потребляемая электродвигателем (АД, СД или ВД) мощность

$$P_{\text{Э}} = \frac{N_{НАС}}{\eta_{\text{Э}}}, \quad (5)$$

где  $N_{НАС}$  – мощность, потребляемая центробежным насосом (МН на рис. 1),

$\eta_{\text{Э}}$  – КПД электродвигателя.

Мощность, потребляемая насосом, определяется режимом его работы

$$N_{НАС} = \frac{\rho g Q H}{\eta_H},$$

где  $Q$  – подача насоса,

$H$  – напор, м,

$\rho$  – плотность, перекачиваемой жидкости, кг/м<sup>3</sup>,

$g$  – ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>,

$\eta_H$  – КПД насоса.

Поддачи насосов при нерегулируемом и регулируемом электроприводах прием одинаковыми. При одной и той нагрузке на валу, мощность, потребляемая нерегулируемым двигателем ( $P_{HEP}$ ) будет больше, чем мощность, потребляемая регулируемым электродвигателем ( $P_{PEГ}$ ), так как КПД у регулируемого двигателя выше, чем у нерегулируемого. Разница в КПД зависит от режима перекачки (от изменения нагрузки на валу электродвигателей) и может достигать 5-10 %. Снижение потребляемой мощности при переходе к регулируемому электроприводу  $\delta P_{\text{Э}} = P_{HEP} - P_{PEГ}$ , или с учетом (5):

$$\delta P_{\text{Э}} = N_{\text{НАС}} \cdot \frac{\eta_{PEГ} - \eta_{HEP}}{\eta_{PEГ} \cdot \eta_{HEP}}. \quad (6)$$

Потери мощности в кабельной линии 6(10) кВ:

$$\Delta P_{KL} = 3I^2 R_{KL}, \quad (7)$$

где  $I$  – потребляемый двигателем ток;

$R_{KL}$  – сопротивление кабельной линии.

Потери индуктивной мощности в кабельной линии примерно компенсируются потерями емкостной мощности. Поэтому результирующие потери реактивной мощности в КЛ можно не учитывать.

Ток, потребляемый электродвигателем из сети 6(10) кВ

$$I = \frac{P_{\text{Э}}}{\sqrt{3} U \eta_{\text{Э}} \cos \varphi_{\text{Э}}},$$

где  $U$  – напряжение на выводах электродвигателя;

$\cos \varphi$  – коэффициент мощности электродвигателя.

При одной и той же мощности, требуемой для привода насоса, при одном и том же напряжении ток, потребляемый нерегулируемым электродвигателем, будет больше, чем ток, потребляемый регулируемым электродвигателем, так как у регулируемого двигателя выше КПД и  $\cos \varphi$  и ниже потребляемая мощность. Снижение потерь мощности в кабельной линии при замене нерегулируемого АД или СД на регулируемый  $\delta P_{KL} = \Delta P_{KL.АД} - \Delta P_{KL.ВД}$ , или с учетом (7) и (8):

$$\delta P_{KL} = \frac{N_{\text{НАС}}^2 R_{KL} \cdot (\eta^2 \cos \varphi)_{PEГ} - (\eta^2 \cos \varphi)_{HEP}}{(\eta^2 \cos \varphi)_{PEГ} * (\eta^2 \cos \varphi)_{HEP}}. \quad (9)$$

Для нерегулируемого двигателя КПД и коэффициент мощности зависит от нагрузки на валу [5, 6]. При снижении нагрузки на валу КПД и коэффициент мощности двигателя снижаются. Для регулируемого электропривода в приближенных расчетах можно не учитывать изменение КПД и принимать его постоянным и равным номинальному значению. Коэффициент мощности определяется схемой ПЧ и также может быть принят постоянным.

Для определения потерь мощности в трансформаторе удобно использовать формулу, аналогичную (7):

$$\Delta P_T = 3I^2 R_T,$$

где  $R_T$  – активное сопротивление трансформатора, приведенное к сети 6(10) кВ.

В этом случае для снижения потерь мощности в трансформаторе  $\delta P_T$  справедлива формула (9) с заменой  $R_{KL}$  на  $R_T$ :

$$\delta P_T = \frac{N_{НАС}^2 \cdot R_T}{U^2} \cdot \frac{(\eta^2 \cos \varphi)_{РЕГ} - (\eta^2 \cos \varphi)_{НЕР}}{(\eta^2 \cos \varphi)_{РЕГ} * (\eta^2 \cos \varphi)_{НЕР}}. \quad (10)$$

Выражения (6), (9) и (10) позволяют оценить изменение потерь мощности в элементах электрической сети при переходе от нерегулируемого привода к регулируемому приводу на основе ПЧ. При принятых допущениях (одинаковые значения  $N_{НАС}$  и напряжения  $U$ ) изменение потерь мощности в электродвигателе, кабеле и трансформаторе определяются только значениями КПД и коэффициента мощности.

Для частотно-регулируемого электроприводов следует учитывать потери мощности в ПЧ, входящем в состав станции управления СУ. Потери мощности в ПЧ определяются током и зависят от полной мощности  $S_{ПЧ}$ , передаваемой через ПЧ. При этом потери мощности в ПЧ можно оценить по выражению

$$\Delta P_{ПЧ} = \frac{S_{ПЧ} \cdot \eta_{ПЧ}}{1 - \eta_{ПЧ}}.$$

Для высоковольтных ПЧ в номинальном режиме  $\eta_{ПЧ} = 0,95-0,97$ .

Снижение потребления электроэнергии за период эксплуатации  $T$  составит

$$\Delta W = (P_{С.АД} - P_{С.ВД}) \cdot T.$$

Рассмотренная упрощенная методика удобна в инженерных расчетах при оценке снижения потерь мощности и электроэнергии в электрической сети при замене нерегулируемых электроприводов на нерегулируемые на нефтеперекачивающих станциях.

*Статья подготовлена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ.*

### Литература

1. Шабанов В.А., Кабаргина О.В. Сравнение методов регулирования режимов нефтепроводов по потребляемой электроэнергии // Научный потенциал студенчества в XXI веке: сб. материалов /IV Международной конф. студентов, аспирантов и молодых ученых. - Ставрополь: СевКавГТУ, 2010. – Т.1. С. 414 – 417.
2. Ильинский Н.Ф., Москаленко В.В. Электропривод: энерго- и ресурсосбережение. – М.: Издательский центр «Академия», 2008. – 208 с.
3. Браславский И.Я. Энергосберегающий асинхронный привод: учеб. пособие. – М.: Издательский центр «Академия», 2004.– 256 с.
4. Лезнов Б.С. Энергосбережение и регулируемый привод в насосных установках. – М.: Энергоатомиздат, 2006. – 360 с.
5. Сыромятников И. А. Режимы работы асинхронных и синхронных электродвигателей. – М.: Госэнергоиздат, 1963. – 532 с.
6. Иванов-Смоленский А.В. Электрические машины. в 2 т. – М.: Издательский дом МЭИ, 2006. – Т.2. –532 с.