

## ОПЫТ ВНЕДРЕНИЯ ЧАСТОТНО-РЕГУЛИРУЕМОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА НАСОСНОЙ СТАНЦИИ АММИАКОПРОВОДА

**Актуальность работы.** Задачи энергосбережения средствами электропривода остаются актуальными при общей тенденции роста цен на энергоносители и необходимости минимизации энергоемкости предприятий. Наибольший эффект в энерго- и ресурсосбережении достигается внедрением частотно-регулируемого электропривода турбомеханизмов: насосов, вентиляторов, компрессоров. Одним из самых иллюстративных примеров возможности снижения мощности, потребляемой двигателем насоса, является частотное регулирование скорости по сравнению с регулированием дроссельной заслонкой [1, 2]. Однако, для насосов большой мощности, электропривод которых является, как правило, высоковольтным, установка преобразователя частоты требует предварительных расчетов технико-экономических показателей эффективности внедрения и срока окупаемости такого электропривода.

**Целью работы** является обобщение методики и опыта внедрения частотно-регулируемых систем асинхронного электропривода на насосной станции НС-14 Приднепровского управления магистрального аммиакопровода Украинского государственного предприятия «Укрхимтрансаммиак».

**Материалы и результаты исследований.** На насосной станции НС-14 используется насосный агрегат типа MSD 4×6×10<sub>1/2</sub> В. Насос предназначен для перекачки жидкого безводного аммиака. Режим работы магистрального насоса может неоднократно меняться в течение суток и оставаться неизменным в течение месяца и более, в зависимости от режима работы склада жидкого аммиака ОАО «Концерн Стирол» и Одесского припортового завода. Среднее количество включений-отключений насосного агрегата составляет от 5 до 25 раз в год.

Два насосных агрегата, один из которых является рабочим, а другой резервным, работают со статическим противодавлением 95-130 кг/см<sup>2</sup>. Максимальная подача насоса – 195 м<sup>3</sup>/час, минимальная подача – 65 м<sup>3</sup>/час. Основные технические характеристики насоса приведены в табл.1.

Таблица 1 – Технические характеристики насоса типа MSD 4×6×10<sub>1/2</sub> В

Параметр	Ед. измерения	Величина
Удельный вес перекачиваемого аммиака	кг/м <sup>3</sup>	617
Расход объемный	м <sup>3</sup> /ч	195
Давление всасывания	МПа	1,96-2,46
Давление нагнетания	МПа	11,8-14,7
Температура аммиака	°С	0-13
Частота вращения ротора насоса	с <sup>-1</sup>	49,5
Мощность на валу насоса не более	кВт	600

Перед внедрением была выполнена предварительная оценка его эффективности на основании предоставленного заказчиком графика работы магистральных насосов за 2009 год.

Выражения для расчёта мощности, потребляемой из сети электродвигателем насоса,  $P_{1*}$  при различных способах регулирования подачи насоса можно представить в следующем виде [3]:

$$\text{- при дроссельном регулировании } P_{1*} = \frac{[\mu_{0c} + (1 - \mu_{0c})Q_*] \cdot (1 + aS_{ном})}{1 - S_{ном}}; \quad (1)$$

$$\text{- при частотном регулировании } P_{1*} = [\mu_{0c} \cdot A^3 + (1 - \mu_{0c}) \cdot A^2 \cdot Q_*] \cdot \left[ 1 + \frac{S_{ном} \cdot (1 + a)}{(1 - S_{ном}) \cdot A} \right], \quad (2)$$

где  $\mu_{0c}$  – статический момент на валу ( $M_{0c}$ ) при нулевой подаче  $Q_* = 0$  (закрытой задвижке), выраженный в относительных единицах,  $\mu_{0c} = M_{0c} / M_{0c \max}$ ;  $S_{ном}$  – номинальное скольжение двигателя;

$a = R_1 / R'_2$  – отношение активных сопротивлений фазы статора  $R_1$  и ротора  $R'_2$ ;

$$A = \sqrt{h_c + Q_*^2 \cdot (1 - h_c)},$$

$h_c = H_c / H_{0н}$ ;  $H_c$  – статический напор при закрытой задвижке ( $Q=0$ );  $H_{0н}$  – напор насоса при  $Q = 0$  и  $\omega = \omega_{ном}$ .

Рассмотрим два случая: вариант с минимальным статическим напором ( $h_c = 0,63$ ) и вариант с максимальным статическим напором ( $h_c = 0,86$ ). При этом считаем, что относительный статический момент на валу  $\mu_{0c} = 0,5$ ; отношение активных сопротивлений фазы статора  $R_1$  и ротора  $R'_2$ ,  $a \approx 1$  (что справедливо для мощных электродвигателей); номинальное скольжение двигателя  $S_{ном} = 0,01$ .

Для указанных значений статических напоров по формулам (1) и (2) строим зависимости  $P_{1*} = f(Q_*)$  при дроссельном и частотном регулировании (см. рис. 1). Согласно режиму работы магистрального насоса максимальная подача  $Q_{max} = 195 \text{ м}^3/\text{ч}$  равна паспортному расходу насоса  $Q_{ном \text{ час}}$ , а минимальная  $Q_{min}$  соответствует 33% подачи от паспортной.

Проанализируем зависимости  $P_{1*} = f(Q_*)$  при подачах  $Q = 0,33; 0,5; 0,75$  для рассматриваемых случаев. Разность в потребляемой мощности при дроссельном (ДР) и частотном (ЧР) регулировании для каждой подачи и величины  $h_c$  соответствует приближенному снижению энергопотребления насоса при различных способах регулирования (см. табл.2 столбцы 4 и 8). Назовем эту разность коэффициентом экономии  $k_{др-чр}$ .

Перейдем к абсолютным показателям расчетной экономии электроэнергии. Стоимость потребленной электроэнергии двигателя мощностью 600 кВт, работающего с номинальной нагрузкой в течение одного часа, при стоимости 1 кВтч 58,46 коп, составляет 355 грн. Умножив это значение на полученный коэффициент экономии  $k_{др-чр}$  для трех случаев подачи и двух вариантов величины статического противодавления, получим расчетную величину экономии в гривнах за час (см. табл.2 – столбцы 5 и 8).

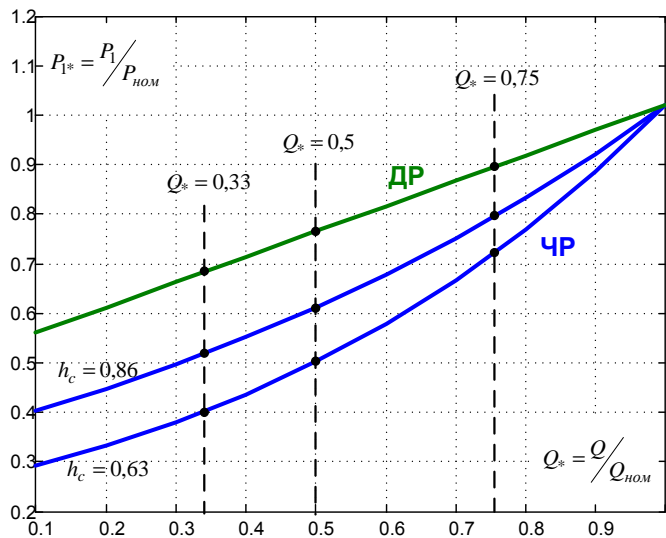


Рисунок 1 – Зависимости  $P_{1*} = f(Q_*)$  при дроссельном (ДР) и частотном (ЧР) регулировании насоса НС-14

Таблица 2 – Потребляемая мощность при дроссельном и частотном регулировании насоса НС-14

Расход $Q_*$	Мощность $P_{1*}$ при ДР	Мощность $P_{1*}$ при ЧР, $h_c=0,63$	$k_{др-чр}$ при $h_c=0,63$	Экономия за 1 час, грн.	Мощность $P_{1*}$ при ЧР, $h_c=0,86$	$k_{др-чр}$ при $h_c=0,86$	Экономия за 1 час, грн.
1	2	3	4	5	6	7	8
0,33	0,69	0,4	0,29	103	0,51	0,18	64
0,5	0,77	0,5	0,27	96	0,61	0,16	57
0,75	0,9	0,72	0,18	64	0,8	0,1	36

Так, при работе насоса с 50-ти процентной подачей и статическим противодавлением  $95 \text{ кг/см}^3$  в течение одной недели, экономия при частотном регулировании по сравнению с дросселированием составит 16000 грн. При тех же условиях, но с максимальным статическим противодавлением  $130 \text{ кг/см}^3$  – 9500 грн.

Данный расчет не учитывает величину потерь ни в преобразователе и в сети, ни изменение потребления активной и реактивной мощности при использовании преобразователя частоты, ни изменение КПД насоса при регулировании его частоты вращения.

Выполненное технико-экономическое обоснование привело к тому, что в 2011 году ООО «Донецким пуско-наладочным управлением» была введена в эксплуатацию система автоматизированного управления магистральным насосом на основе частотно-регулируемого электропривода АВВ. В состав системы электропривода входят: низковольтный преобразователь частоты ACS800-07-0750-7, понижающий Т1 и повышающий трансформатор Т2, синусный фильтр L2 (рис. 2). Преимуществом двухтрансформаторной схемы является возможность использовать для регулирования частоты относительно недорогой низковольтный преобразователь частоты.

К недостаткам двухтрансформаторной схемы следует отнести следующее:

- в выходном напряжении низковольтного преобразователя частоты присутствуют пиковые перенапряжения, поэтому на его выходе устанавливается трехфазный синусный фильтр, что вызывает удорожание системы;

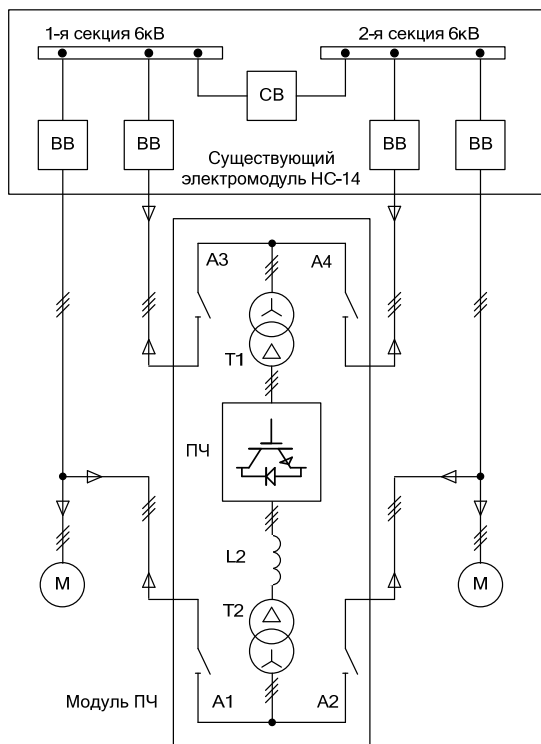


Рисунок 2 – Двухтрансформаторная схема высоковольтного ЭП магистрального насоса НС-14

- разводка низковольтной части преобразователя частоты требует кабелей большого сечения, что заметно увеличивает массогабаритные показатели внедряемого электропривода;

- ограниченный диапазон регулирования частоты вращения двигателя как снизу, так и сверху от номинальной частоты преобразователя приводит к нагреву выходного трансформатора из-за насыщения сердечника в первом случае, и увеличению потерь в сердечнике на перемагничивание и вихревые токи при увеличении выходной частоты во втором случае.

Все перечисленные недостатки устраняются применением схемы с многоуровневым высоковольтным преобразователем частоты. Однако инвестором выбран вариант по двухтрансформаторной схеме.

Следует также отметить следующие особенности технологии внедрения системы автоматизированного управления магистральным насосом:

- отсутствует необходимость выполнения объемного проекта – все проектирование заключается в привязке к существующему оборудованию;

- отсутствует необходимость утверждения и согласования проекта в ГАСКе – сооружение строится как быстроеводимое в виде модуля;

- модульная конструкция мощных преобразователей частоты значительно сокращает сроки монтажа и ввода в эксплуатацию;

- широкая номенклатура преобразователей частоты различных фирм-изготовителей позволяет выбрать наиболее оптимальный вариант для заказчика.

По фактическим данным работы внедренного комплекса в период с 01.12.2012г. по 31.12.12г. был осуществлен расчет экономии электроэнергии для оценки эффективности внедрения преобразователя частоты. В этих расчетах стоимость электроэнергии составляет 0,956 грн за 1кВтч. Полученные данные представлены в табл. 3.

Таблица 3 – Фактические показатели энергопотребления с 01.12.2012г. по 31.12.12г.

Параметр	Ед. измерения	Величина
Масса перекаченного аммиака	т	58188
Фактически потребленная электроэнергия (активная составляющая)	кВт·ч	132825
Средняя нагрузка насоса	т/ч	78,2
Плановая удельная норма	кВт·ч/т	4,34
Фактическая удельная норма	кВт·ч/т	2,28
Расчетная потребленная электроэнергия (активная составляющая) согласно плановой удельной нормы	кВт·ч	252536
Потребленная электроэнергия (активная составляющая) по факту	кВт·ч	119711
Стоимость 1 кВтч	грн	0,9561
Экономия	грн	114455

Результаты замеров потребленной электроэнергии в режимах малой загрузки аммиакопровода и подаче 45-60 т/ч показали, что в таких режимах экономия электроэнергии может достигать 75-85%.

Анализ представленных фактических результатов позволяет сделать вывод о правильности предварительных расчетов.

Кроме эффекта от экономии электроэнергии, внедренная система позволяет оператору контролировать все энергосиловые параметры электропривода и технологические параметры перекачки аммиака.

#### **Выводы.**

Внедрение системы автоматизированного управления магистральным насосом на основе частотно-регулируемого электропривода позволяет экономить электроэнергию за счет значительного увеличения КПД, уменьшить износ дорогостоящего технологического и электрического оборудования, повысить надежность его эксплуатации, увеличить срок службы, сократить затраты на ремонт и обслуживание, а также автоматизировать диагностику системы.

#### **Литература**

1. Клепиков В.Б. О роли электропривода в решении проблемы энергоресурсосбережения в Украине / В.Б. Клепиков, В.Ю. Розов // Тематичний збірник наукових праць «Проблеми автоматизованого електроприводу. Теорія і практика». – Харків: НТУ «ХПІ». – 2008. – №30. – С. 18-21.

2. Ильинский Н.Ф. Электропривод: энерго- и ресурсосбережение: учеб. Пособие для студ. вузов / Н.Ф. Ильинский, В.В. Москаленко. – М.: Издательский центр «Академия», 2008. – 208 с.

3. Браславский И.Я. Энергосберегающий асинхронный электропривод / И.Я. Браславский, З.Ш. Ишматов, В.Н. Поляков; Под ред. И.Я. Браславского. – М.: Издательский центр «Академия», 2004. – 256 с.