

**В.П. Кобринец, Н.П. Коровкина, Н.Н. Пустовалова**

**АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ  
ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ  
НА ПРОМЫШЛЕННЫХ УСТАНОВКАХ**

Проблема энергосбережения в настоящее время имеет особую актуальность. Для республики Беларусь, не обладающей значительными запасами углеводородных ресурсов, вопросы энергосбережения особенно приоритетны. Это связано, во-первых, с ограниченностью, невозобновляемостью всех основных энергоресурсов, во-вторых, с непрерывно возрастающей сложностью их добычи, в-третьих, с глобальными экологическими проблемами, обозначившимися в последнее время, в-четвертых, со значительным повышением цен на природный газ и нефть. Снижение конкурентоспособности производимых на предприятиях республики Беларусь товаров и услуг за счет удорожания энергоносителей на фоне высокой энергоемкости производства требует принятия кардинальных мер.

В настоящее время на промышленных предприятиях процент энергетических затрат в издержках составляет 9–12 %, и этот процент постоянно растет. Эта проблема связана в основном с физическим и моральным износом оборудования, большие потери энергетических ресурсов возникают также при применении электроприводов различных типов.

Основными направлениями экономии топливно-энергетических ресурсов можно считать следующие: внедрение частотно-регулируемых электроприводов; замена устаревших электроприводов современными энергосберегающими установками такими как вентильно-индукторными.

Энергосбережение сводится к снижению потерь энергии. Из общепринятой структуры потребителей электроэнергии, где электропривод занимает 60 %, электрический транспорт – 9 %, электротермия и электротехнология – 10 %, освещение и прочие потребители – 21 %, следует, что основной эффект может быть получен в наиболее энергоемкой сфере – сфере электропривода.

Переход к частотно-регулируемому электроприводу (ЧРЭП) позволяет радикально решить проблему энергосбережения, однако требует заметных усилий как в сфере разработки совершенных преобразователей частоты, так и в создании эффективных алгоритмов энергетического аудита, глубокого проникновения в особенности технологических процессов и оптимального использования современных микропроцессорных средств.

Система «электронный преобразователь частоты – короткозамкнутый асинхронный двигатель» в настоящее время является оптимальным техническим решением массового электропривода. Она особенно привлекательна на стадии модернизации предприятия: сохраняется все существующее оборудование, но между сетью и двигателем включается новый элемент – преобразователь частоты, радикально меняющий весь технический и экономический облик системы. Из всей электроэнергии, потребляемой электроприводом, 40 % приходится на электроприводы насосов и вентиляторов.

Экономический эффект от реализации энергосберегающего мероприятия определяли с учетом приведения к номинальному режиму эксплуатации оборудования, т. к. при других режимах работы оборудования и значительном его отклонении от номинального годовая экономия электроэнергии за более длительный период может существенно отличаться от расчетной.

Определение экономии электрической энергии при замене асинхронных двигателей частотно-регулируемыми.

Рассмотрим эффективность энергосберегающих мероприятий для таких общепромышленных агрегатов, как насосы и вентиляторы. За критерии оценки приняты экономия электроэнергии в год и срок окупаемости.

*Нерегулируемый электропривод.* Для каждого уровня расхода  $Q$  и напора воды  $H$  определяется потребляемая электродвигателем насоса мощность  $P_\phi$  до установки ЧРЭП:

$$P_\phi = \frac{Q_n \cdot H_n}{367,2 \cdot \eta_{дв} \cdot \eta_n}, \text{ кВт.}$$

где  $P_\phi$  – потребление электрической мощности до установки ЧРЭП, кВт;  $Q_n$  – номинальная производительность насоса, м<sup>3</sup>/час;  $H_n$  – номинальный напор, развиваемый насосом, м;  $\eta_{дв}$  – КПД двигателя;  $\eta_n$  – КПД насоса.

*Регулируемый электропривод.* После модернизации электропривода за счет снижения частоты вращения двигателя насоса, уменьшается напор воды при тех же расходах и, следовательно, мощность и электроэнергия.

Пересчет уровней напора и мощности для двух частот вращения  $\omega_1$  и  $\omega_2$  производится с помощью формул подобия:

$$Q_1 / Q_2 = \omega_1 / \omega_2; H_1 / H_2 = (\omega_1 / \omega_2)^2; P_1 / P_2 = (\omega_1 / \omega_2)^3.$$

Мощность  $P_{пч}$ , потребляемая насосным агрегатом после установки ЧРЭП, определяется соотношением:

$$P_{пч} = \frac{Q_T \cdot H_T}{367,2 \cdot \eta_{дв} \cdot \eta_n \cdot \eta_{пч}}, \text{ кВт},$$

где  $Q_T$  – требуемая производительность насоса, м<sup>3</sup>/час;  $H_T$  – требуемый напор, развиваемый насосом, м;  $\eta_{пч}$  – КПД преобразователя.

Потребление электроэнергии до установки ЧРЭП:

$$W_{\phi} = P_{\phi} T_p, \text{ кВт} \cdot \text{ч},$$

где  $T_p$  – количество часов работы насоса в году.

Потребление электроэнергии после установки ЧРЭП:

$$W_{пч} = P_{пч} T_p, \text{ кВт} \cdot \text{ч}.$$

Экономия электроэнергии в год составит:

$$\Delta W = W_{\phi} - W_{пч}, \text{ кВт} \cdot \text{ч}.$$

Стоимость сэкономленной электроэнергии:

$$\Delta W = \Delta W \cdot C, \text{ руб.}$$

где  $C$  – стоимость кВт/ч электроэнергии, руб./кВт/ч.

Стоимость кВт/ч электроэнергии была принята 0,0481 бел. руб.

При ориентировочном определении капитальных вложений ( $K$ ) стоимость проектных работ составляет 4 %, монтажных – 3 %, пуско-наладочных – 5 % от стоимости оборудования ( $C_{оборот}$ , Т. руб.).

$$K = 1,12 C_{оборот}, \text{ Т. руб.}$$

Срок окупаемости

$$S_o = K/\Delta W, \text{ год}$$

Исходные данные для расчета эффективности мероприятия при внедрении ЧРЭП на насосных агрегатах приведены в таблица 1.

Таблица 1

Насос	$P_{\phi}$ , кВт	$P_{пч}$ , кВт	$W_{\phi}$ , кВт/ч	$W_{пч}$ , кВт/ч	$\Delta W$ , кВт/ч
Для приготовления перегретой воды	58	34	222720	130560	92160
Подпитки	71	51,4	272640	197376	75264
Охлаждения	140	101	537600	387840	149760
Расхода сетевой воды	200	91	1752000	797160	954840

Определение экономии электрической энергии при замене асинхронных двигателей вентильно-индукторными (ВИД).

Применение вентильно-индукторного электропривода связано с рядом его особенностей:

В-первых, это предельно простая, технологичная, дешевая и надежная конструкция собственно двигателя ВИМ.

В нем не используются существенно усложняющие технологию производства постоянные магниты, цена которых иногда составляет около половины цены всего привода. Отсутствует технологическая операция заливки ротора, неизбежная при производстве асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором. Обмотки (катушки) статора хорошо приспособлены к машинному производству, просты сборка и, что важно при массовых применениях, разборка для ремонта или утилизации. Осуществляется пропитка собственно катушек, а не статора в целом, как у других типов машин, что также снижает долю технологических затрат. Лишь один элемент – датчик положения ротора – выпадает из этого перечня благоприятных особенностей. Итак, машина в ВИП позволяет преодолеть устойчивую тенденцию роста на 10–12 % в год цены основных типов электрических машин: ее цена может быть в 1,5–2 раза ниже цены самого дешевого асинхронного двигателя.

Во-вторых, по основным массогабаритным и энергетическим показателям ВИП не уступает и даже превосходит частотно-регулируемый асинхронный электропривод. Это связано с важной особенностью ВИМ – полезным использованием насыщения магнитной цепи.

В-третьих, благоприятные функциональные особенности ВИП: большие моменты при низких скоростях и небольших токах, гибкое управление скоростью, широкий диапазон плавного регулирования скорости – делают этот привод очень привлекательным для широких применений.

Экономии электрической энергии при замене асинхронных двигателей на ВИД одинаковых мощностей определяли по экономии электрической энергии в год ( $\Delta W$ ).

Исходными величинами для расчета экономичности применения ВИД на приводе электродвигателей насосов явились следующие: номинальные мощности асинхронного двигателя и ВИД –  $P_{ном}$  (сравнивались двигатели одинаковых мощностей), коэффициенты, полезного действия асинхронных ( $\eta_{ад}$ ) и ВИД ( $\eta_{вид}$ ) двигателей, разности потерь мощности ( $\Delta P$ ).

Экономии электрической энергии при замене асинхронных двигателей на ВИД одинаковых мощностей.

Определяем по величине снижения потерь:

Разность потерь мощности АД и ВИД:

$$\Delta P = \Delta P_{1АД} - \Delta P_{ВИД} = P_{ном} \cdot (1/\eta_{АД} - 1/\eta_{ВИД}), \text{ кВт},$$

где  $\Delta P_{1АД}$ ,  $\Delta P_{ВИД}$  – потребляемые мощности соответственно АД и ВИД, кВт;  $P_{ном}$  – номинальная мощность двигателей АД и ВИД, кВт;  $\eta_{АД}$  – КПД асинхронного двигателя;  $\eta_{ВИД}$  – КПД вентильно-индукторного двигателя.

Экономия электрической энергии в год:

$$\Delta W = P_{ном} \cdot (1/\eta_{АД} - 1/\eta_{ВИД}) \cdot t, \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{год},$$

где  $t$  – число часов работы в году,  $t = 4300$  час.

Стоимость сэкономленной электроэнергии в течение года:

$$C_o = \Delta W \cdot b, \text{ руб.}$$

где  $b = 0,23$  руб. стоимость одного кВт/ч электроэнергии для предприятий по двухставочному тарифу

В таблице 3 приведены исходные данные и оценка экономии электроэнергии при замене асинхронных двигателей вентильно-индукторными на насосных агрегатах.

Срок окупаемости мероприятия

$$T_{ок} = C_{ВИД}/C_{сэ}, \text{ год}$$

где  $C_{ВИД}$  – стоимость ВИД, руб.

Таблица 3

$P_{\text{ном}}$ , кВт	$\eta_{\text{ад}}$ , о.е.	$\eta_{\text{вид}}$ , о.е.	$\Delta P$ , кВт	$\Delta W$ , кВт/ч	$C_{\text{сз}}$ , тыс. руб.	$C_{\text{вид}}$ , тыс. руб.	$T_{\text{ок}}$ , год
2,8	0,83	0,92	2,28	9836	2,254	1,66	0,74
13	0,85	0,92	1,19	5117	1,177	1,69	1,45
14	0,85	0,94	1,57	6751	1,553	1,75	1,13
18,5	0,84	0,92	1,92	8234	1,894	1,80	0,95
18,5	0,7	0,92	6,32	27176	6,250	1,80	0,30
22	0,87	0,92	1,37	5891	1,355	1,82	1,35
30	0,88	0,94	3,31	14233	3,274	2,08	0,65

Приведенные расчеты показали, что при использовании ЧРЭП и ВИД на электроприводах наряду с техническими преимуществами этих двигателей, приводит к значительной экономии электроэнергии на предприятиях.