

## **Инструкция по применению инвертора**

**Расчет экономической эффективности применения преобразователей частоты для регулирования расхода (давления) жидкостей и газов.**

**Toshiba Schneider Inverter Corporation**

Москва 2004

## 1. Введение

За счет чего достигается экономия электроэнергии при управлении двигателем с помощью инвертора?

При регулировании расхода вентилятора или насоса с помощью дросселирования скорость вращения двигателя постоянна, так как он питается от промышленной сети частотой 50Гц. При этом потребляемая двигателем мощность мало изменяется в зависимости от изменения нагрузки (кривая 1).

Если же для снижения производительности вентилятора или насоса снижать скорость вращения двигателя, то мощность, потребляемая двигателем, стремительно падает, так как она пропорциональна кубу скорости (кривая 2). Благодаря этому потребляемая мощность может быть снижена до минимального уровня при использовании инвертора.

Соотношение между затрачиваемой мощностью и расходом воздуха (жидкости) в случае дросселирования (1) и регулирования скорости (2)

**Мощность (%)**

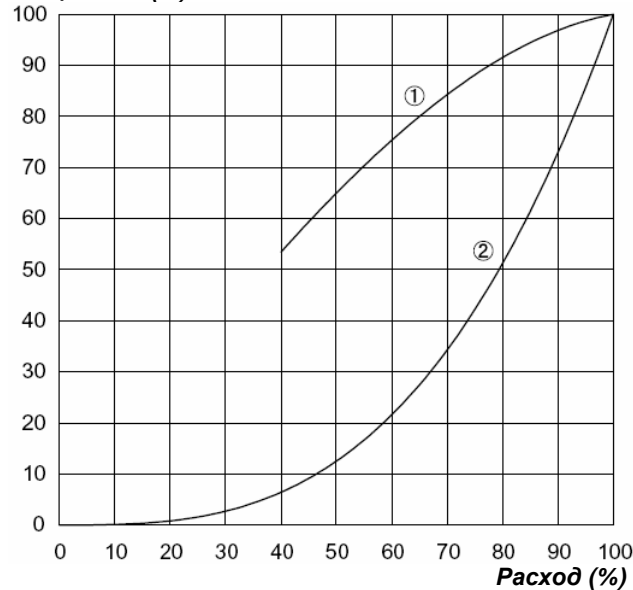


Рис. 1. Скорость двигателя

## 2. Эффект сохранения энергии при регулировании расхода и давления

Рис. 2 это график зависимости расхода насоса  $Q$  и выходного давления (напора)  $H$ ,  $Q$ - $H$  характеристика.

Кривая  $Hn1$  - характеристика насоса при номинальной скорости. Точка  $A$  пересечения с кривой сопротивления трубопровода указывает номинальную мощность. (Номинальное выходное давление – эквивалентный расход  $Qa$ ).

В то время как сопротивление трубопровода возрастает почти пропорционально квадрату расхода  $Q$  от начального сопротивления  $Hs$ , оно также увеличивается за счет дросселирования выходного давления ( $R1 \rightarrow R2$ ).

Рабочая точка насоса находится в точке пересечения этих двух кривых: характеристики насоса и кривой сопротивления трубопровода.

Снизить расход с  $Qa$  до  $Q'$ , можно двумя способами:

### 1) Дросселирование

При закрытии дросселя увеличивается сопротивление от  $R1$  до  $R2$  и переход в точку  $B$  - достигается расход  $Q'$  и выходное давление увеличивается от  $Ha$  до  $Hb$ .

### 2) Изменение скорости

Так как отсутствует дроссель, то сопротивление характеризуется кривой  $R1$ . Однако при снижении скорости для уменьшения давления от  $Hn1$  до  $Hn2$  рабочая точка смещается в точку  $C$  - достигается эквивалентный расход  $Q'$

Когда расход снижается от  $Qa$  до  $Q'$ , выходное давление одновременно снижается от  $Ha$  до  $Hc$ .

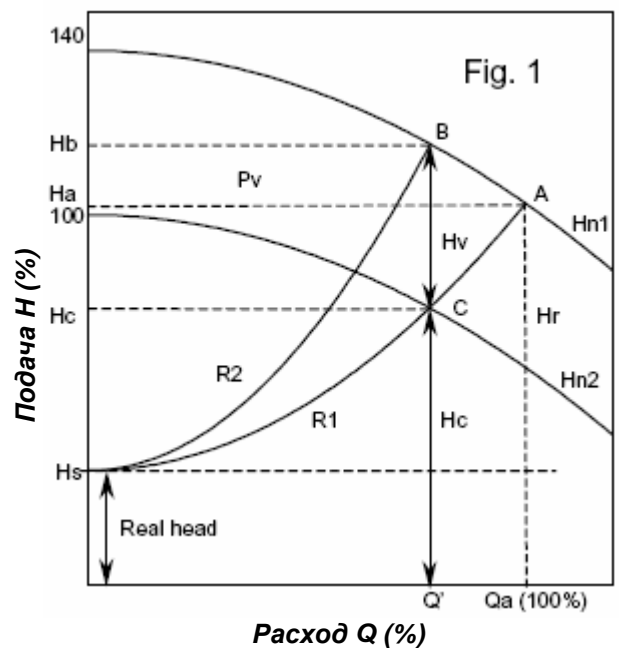


Рис. 2.

Разница в мощности на валу между дросселированием и управлением скоростью:

$$\text{Мощность на валу насоса } P = \frac{K \times Q \times H}{\eta},$$

где,  $K$ : константа;  $\eta$ : КПД насоса

$$\text{Таким образом, мощность на валу насоса при работе в точке В (рис. 1): } P_b = \frac{K \times Q' \times H_b}{\eta}$$

$$\text{Мощность на валу насоса при работе в точке С (рис. 1): } P_c = \frac{K \times Q' \times H_c}{\eta}$$

Соответственно, разница в мощности:  $P_b - P_c = \frac{K \times Q' \times H_v}{\eta}$  и площадь между пунктирными линиями ( $P_v$ )

(см. рис. 2) показывает эту разницу в мощности, т.е. сбережение энергии.

## 2.1. Регулирование расхода

Принимая давление при нулевом расходе равным 140% номинального (рис. 1), характеристика насоса может быть выражена следующей формулой в относительных единицах:

$$H_{отн.} = H_m - (H_m - H_{ном}) Q_{отн.}^2 = 1,4 - 0,4 Q_{отн.}^2$$

Соппротивления рассчитываются следующим образом:  
(Соответствующие кривые сопротивления трубопровода, показаны на рис. 3)

$$a: R_a = Q_{отн.}^2$$

$$b: R_b = 0,3 + 0,7 Q_{отн.}^2$$

$$c: R_c = 0,6 + 0,4 Q_{отн.}^2$$

Полагая, что эффективность насоса постоянна, разность в мощности на валу может быть выражена:

$$= P_n \times (H_{отн.} - R_{отн.}) \times Q_{отн.}$$

где,  $P_{ном}$  - номинальная мощность на валу (кВт)

Принимая во внимание приведенные выше уравнения  $H_{отн.}$  и  $R_{отн.}$ , разность в мощности на валу, экономия энергии:  $P_э$ , для различных кривых сопротивления в зависимости от расхода выражается следующим образом:

$$a) P_э = P_{ном} \times 1,4(1 - Q_{отн.}^2) \times Q_{отн.}$$

$$b) P_э = P_{ном} \times 1,1(1 - Q_{отн.}^2) \times Q_{отн.}$$

$$c) P_э = P_{ном} \times 0,8(1 - Q_{отн.}^2) \times Q_{отн.}$$

\* Для воздухоподушки характерна кривая а.

$P_{ном}$  - номинальная мощность на валу (кВт);

$Q_{отн.}$ : Отношение среднего текущего расхода к номинальному.

Подпор: Пропорционально к номинальному давлению

При различном подпоре и давлении холостого хода (расход =0) результат может быть получен исходя из следующей формулы:

$$P_e = P_{ном} \times (H_m - H_x)(1 - Q_x^2) \times Q_x \quad (\text{кВт})$$

$H_m$ : Давление холостого хода (расход =0);  $H_x$ : Подпор;  $Q_x$ : Средний расход.

Для расчета стоимости сэкономленной электроэнергии, необходимо полученное выше значение (кВт) умножить на время работы (час) и на стоимость 1 кВт/час электроэнергии.

## 2.2. Регулирование давления

При постоянном регулируемом давлении сопротивление трубопровода заменяется заданным давлением (относительно номинального)  $P_e(пч) = P_{ном} \times P_x \times Q_x$ . Тогда выражение для расчета сэкономленной электроэнергии в общем виде имеет вид:

$$P_э = P_{ном} \times \left\{ (H_m - P_x) - (H_m - 1) \times Q_x^2 \right\} \times Q_x \quad (\text{кВт})$$

где:  $H_m$ : Давление холостого хода (расход =0);  $P_x$ : Установленное давление;  $Q_x$ : Средний относит. расход.

Чем меньше устанавливается давление, тем больше экономия электроэнергии.

Для расчета стоимости сэкономленной электроэнергии, также необходимо полученное выше значение (кВт) умножить на время работы (час) и на стоимость 1 кВт/час электроэнергии.

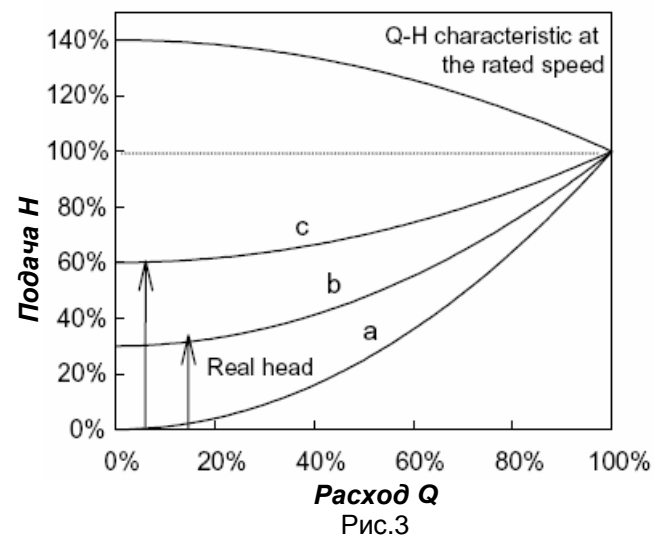


Рис.3

### 3. Расчетные формулы

#### 1. Синхронная скорость вращения вала двигателя

$$= \frac{120 \times F}{P},$$

где  $F$  – частота сети (Гц),  
 $P$  – число полюсов двигателя.

#### 2. Потребляемая мощность при питании двигателя от сети 50Гц

$$= \frac{N \times LF}{\eta},$$

где  $N$  – выходная мощность двигателя (кВт),  
 $LF$  – коэффициент загрузки,  
 $\eta$  – к.п.д. двигателя.

#### 3. Потребляемая мощность при питании двигателя от инвертора

$$= \frac{N}{\eta \times \chi} \times \left( \frac{n_x}{n_0} \right)^3,$$

где  $\eta$  – к.п.д. двигателя,  
 $\chi$  к.п.д. инвертора,  
 $n_x$  – скорость вращения вала двигателя,  
 $n_0$  – номинальная скорость вращения вала двигателя.

#### 4. Требуемая мощность на валу

1) Для вентилятора

$$P = \frac{Q \times H \times K}{6120 \times \eta \times 133.322},$$

где  $Q$  – расход воздуха (м<sup>3</sup>/мин),  
 $H$  – давление (Па),  
 $K$  – коэффициент,  
 $\eta$  – к.п.д. (%)

2) Для насоса

$$= \frac{(1,1 \sim 1,2) \times Q \times H \times \gamma}{6,12 \times \eta},$$

где  $Q$  – производительность насоса (м<sup>3</sup>/мин),  
 $H$  – давление (Па),  
 $\gamma$  – плотность жидкости (кг/литр),  
 $\eta$  – к.п.д. (%)

#### 5. К.п.д. инвертора

Обычно 90–96%: зависит от мощности, модели и т.д.