

ИНСТРУКЦИЯ

по расчету экономической эффективности частотно-регулируемого электропривода

Введение

Настоящая инструкция разработана Научно-исследовательским институтом электроэнергетики (АО ВНИИЭ) и Московским энергетическим институтом (МЭИ) в соответствии с программой работ по комплексной научно-технической программе «Создание и внедрение частотно-регулируемого электропривода (ЧРП) в ТЭК и в коммунальном хозяйстве», утвержденной Минтопэнерго России 19.12.1995 г.

Инструкция учитывает основные аспекты энергосбережения и позволяет определить предварительные оценки ресурсосбережения в насосных и вентиляционных установках общего назначения.

В инструкции не отражены другие преимущества, связанные с применением ЧРП - улучшение характера протекания переходных процессов, снижение затрат на обслуживание, уменьшение шума и пр.

Действие настоящей инструкции распространяется на установки, находящиеся в эксплуатации, т.е. когда не изменяется запроектированная технологическая схема. Для вновь проектируемых установок с ЧРП должны быть учтены аспекты, связанные с упрощением, удешевлением технологической схемы – отказ от применения обратных клапанов в насосах, исключение заслонок, задвижек, уменьшение числа насосов и вентиляторов и т.п.

Способы и примеры предварительной оценки эффективности применения ЧРП изложенные в инструкции, предназначены для персонала, разрабатывающего мероприятия по энергосбережению и ответственного за эксплуатацию действующих насосных и вентиляционных агрегатов в электроэнергетике, промышленности и коммунальном хозяйстве.

Общие сведения

В последние годы почти все тепловые электростанции (ТЭС) с энергоблоками единичной мощности 100-310 МВт вовлекаются в регулирование суточных и сезонных графиков нагрузки. Разгрузка газомазутных энергоблоков достигает 70-75%, а угольных – 50%. В этих условиях, для обеспечения эффективной работы и высокого КПД энергоблоков, важнейшей задачей является снижение энергопотребления на собственные нужды ТЭС.

Дутьевые вентиляторы и дымососы, питательные, бустерные, конденсационные, насосы ос-

новые потребители электроэнергии на собственные нужды. Для энергоблоков мощностью 100-300 МВт, работающих на газе, на долю упомянутых механизмов приходится в среднем 6,1-4,2%, для работающих на угле эта величина составляет 7,8-5,6%.

Существуют различные способы управления производительностью вентиляторов и насоса: дросселирование нагрузки, снижение единичной мощности агрегатов и увеличение их количества и т.д. Наиболее эффективным способом является регулирование скорости вращения.

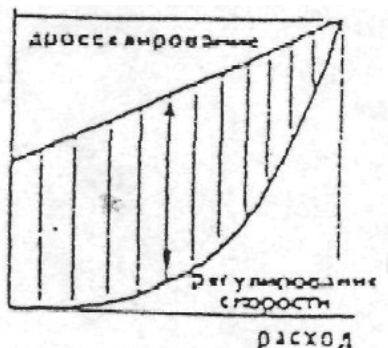


Рис 1

На рис 1. заштрихована экономия мощности при использовании ЧРП взамен дросселирования. Для получения, например, половины полного расхода при регулировании скорости будет затрачено около 13% полной мощности, тогда как при дросселировании – около 75%, экономия составит примерно 60%.

Применение ЧРП на насосах и вентиляторах обеспечивает интегральное снижение потребляемой мощности на 25-40% и позволяет увеличить мощность энергоблока с средним на 1-2% за счет исключения и водяных и воздушных трактах дросселей и заслонок, а также для улучшения технологических процессов выработки электроэнергии, например, сжигания топлива. Поэтому для механизмов собственных нужд ТЭС, непосредственно участвующих в процессе производства электроэнергии.

В состав ЧРП входят стандартный или специальный асинхронный или синхронный электродвигатель, транзисторный или тиристорный преобразователь частоты, согласующий трансформатор либо реактор, пускорегулирующая и коммутационная аппаратура: Иногда для решения проблемы электромагнитной совместимости с сетью в состав комплексной поставки ЧРП могут входить фильтрокомпенсирующие устройства.

Не менее эффективно применение ЧРП в коммунальном хозяйстве. Переход от нерегулируемого асинхронного электропривода насосов и вентиляторов в системах водо- и воздухообеспечения городских РТС. котельных и центральных тепловых пунктах (ЦТП) к частотно-регулируемому позволяет экономить до 60% электроэнергии, а в системах водоснабжения – до 25% потребления холодной воды и до 15% горячей воды.

Указанная экономия достигается за счет исключения ненужных для комфортного водо- и воздухообеспечения избытков напора (давления), закладываемых при проектировании системы, а

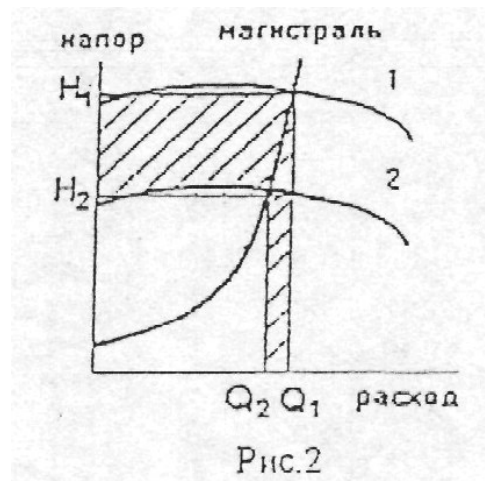


Рис.2

также возникающих в процессе работы – при изменениях расхода, при росте напора в водоснабжающих магистралях и т.п.

Если при некоторой характеристике магистрали (рис.2) нерегулируемый насос с характеристикой 1 создает напор H_1 , которому соответствует мощность, пропорциональная $H_1 Q_1$, а для комфортного водоснабжения достаточно напора H_2 ; при мощности $H_2 Q_2$, то переход за счет ЧРП на характеристику насоса 2 позволит сэкономить мощность $H_1 Q_1 - H_2 Q_2$

(заштрихована на рис. 2).

Экономия воды в системах водоснабжения связана с устранением при регулируемом электроприводе ненужных избытков давления (напора). Для существующих систем водоснабжения в коммунальной сфере каждая лишняя атмосфера (10 м в.ст.) вызывает за счет больших утечек дополнительные 7-9% потерь воды. Так, для Москвы при массовом применении в системах водоснабжения ЧРП экономия воды составит около 250 млн. м³ в год.

Наряду с изложенными составляющими энергосбережения, которые легко учитываются и оцениваются, применение ЧРП дает ряд дополнительных преимуществ:

- экономию тепла в системах горячего водоснабжения за счет снижения потерь воды, несущей тепло;
- возможность создавать при необходимости напор выше основного;
- уменьшение износа основного оборудования за счет плавных пусков, устранения гидравлических ударов. снижения напора; по имеющемуся опыту в коммунальной сфере количество мелких ремонтов основного оборудования снижается в два раза;
- снижение шума, что особенно важно при расположении насосов или вентиляторов вблизи жилых или служебных помещений;
- возможность комплексной автоматизации систем водо - и воздуховодоснабжения.

В настоящей инструкции эти факторы учитываются приближенно, введением коэффициента $k > 1$.

По данным специалистов института EPRI (США) эффективность ресурсосбережения при использовании ЧРП соизмерима с экономическим эффектом от ресурсосбережения.

Объективная и количественная оценка указанных факторов может быть получена по мере накопления опыта эксплуатации опыта эксплуатации ЧРП.

Определение экономического эффекта при установке ЧРП на ТЭС или в промышленности.

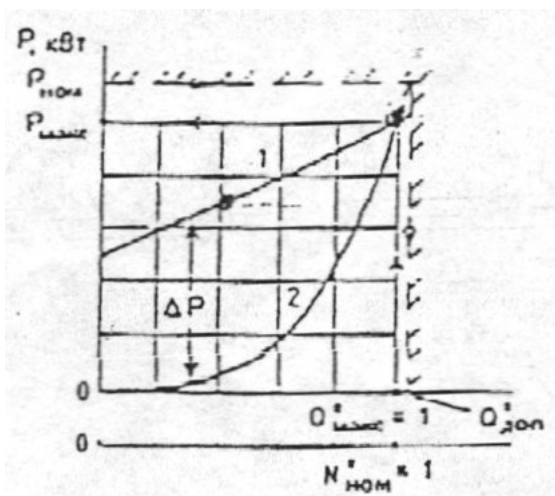


Рис. 3

Целесообразность применения ЧРП взамен дросселирования оценивается по заданным анаграммам требуемого расхода при расчетном цикле работы механизмов следующим образом:

1. Регистрируют номинальные данные вентилятора (насоса) $Q_{ном}$, м³/час, $N_{ном}$, кВт, $\eta_{вент.ном}$ и двигателя $R_{дв.ном}$, кВт, $n_{ном}$, об/мин, $\eta_{двиг.ном}$.

2. На действующей установке измеряют или устанавливают расчетным путем мощность P , кВт потребляемую двигателем, и производительность Q , м³/час при полностью открытой задвижке или заслонке

($P_{макс}$ и $Q_{макс}$) и в ряде промежуточных точек и строят зависимость P , кВт от относительного расхода $Q = Q / Q_{макс}$, график 1 на рис. 3.

При расчете экономии от внедрения ЧРП на механизмах, непосредственно участвующих в процессе производства электроэнергии – дымососы и дутьевые вентиляторы, питательные насосы и т.п. график $P(Q^*)$ перестраивается в аналогичную зависимость от относительной мощности энергоблока, с которой производительность переоборудованного механизма находится в пропорции зависимости:

$$N^* = (N / N_{\text{МАКС}}) = (Q / Q_{\text{МАКС}}) = Q^*$$

– нижняя шкала на рис. 3.

3. Определяют требуемую мощность преобразователя частоты $P_{\text{ПЧ}}$ кВт:

$$P_{\text{ПЧ}} = (1,1 \dots 1,2) P_{\text{МАКС}}$$

4. Строят зависимость потребляемой мощности P , кВт, от относительного расхода или относительной мощности блока N при частотном регулировании скорости по формуле:

$$P = P_{\text{МАКС}} (Q^*)^3$$

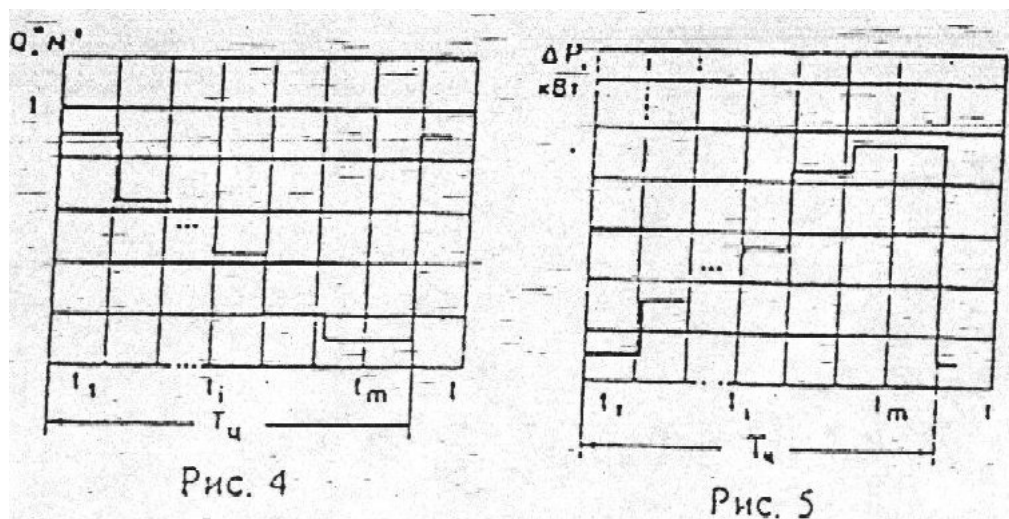
и получают кривую 2 на рис. 3. Разница ΔP между кривыми 1 и 2 – экономия мощности при частотном регулировании скорости.

5. По величине $P = (P_{\text{дв.ном}} / \eta_{\text{двиг.ном}})$ с помощью кривой 2 оценивают допустимый расход $Q^*_{\text{доп}}$ при номинальном режиме двигателя и проверяют условие:

$$1 < Q^*_{\text{доп}}$$

большой запас по расходу свидетельствует о неудачном выборе оборудования.

6. Строят диаграмму зависимости относительного расхода Q или относительной мощности блока N^* от времени t рис 4. За цикл удобно принять число часов работы насоса или энергоблока в году.



8. Определяют энергию, сэкономленную за цикл (год) $\Delta \mathcal{E}_{\text{Ц}}$:

$$\Delta \mathcal{E}_{\text{Ц}} = \sum_{i=1}^m P_i \cdot t_i,$$

где t_i – число участков цикла с разными ΔP_i .

9. Определяют при заданном тарифе $\text{Ц}_{\text{ЭЛ}}$ (руб./кВт·ч или USD/кВт·ч) стоимость сэкономленной электроэнергии за год (руб./год или USD/год):

$$\Delta \text{С}_{\text{ЭЛ.ЭН.}} = \Delta \mathcal{E}_{\text{Ц}} \cdot \Delta \text{Ц}_{\text{ЭЛ.ЭН}}$$

10. Определяют срок окупаемости новой техники.

Для насосов и вентиляторов, непосредственно участвующих, а процессе производства электроэнергии на ТЭС.

10.1. Определяют возможное увеличение номинальной мощности энергоблока:

$$\Delta N = (0,01 \dots 0,02) K \cdot N_{\text{НОМ}},$$

где $K = (P_{\text{ПЧ}} / P_{\Sigma})$ коэффициент, равный отношению мощности электроприводов, оснащенных ЧРП, к общей мощности электроприводов энергоблока (или ТЭС).

10.2. Определяют стоимость нового строительства электростанции (энергоблока) мощности ΔN :

$$C_{\text{ЭЛ.СТ.}} = C_N \cdot \Delta N_{\text{НОМ}},$$

C_N – стоимость одного кВт вновь сооружаемой ТЭС или энергоблока руб./кВт USD/кВт. Для средней полосы $C_N = 1250$ USD/кВт.

10.3 Сравнивают затраты на приобретение оборудования ЧРП ($C_{\text{ПЧ}}$) со значением $C_{\text{ЭЛ.СТ.}}$ определяют величину $\Delta C = C_{\text{ПЧ}} - C_{\text{ЭЛ.СТ.}}$.

10.4 Определяют срок окупаемости ЧРП по соотношению:

$$T_{\text{ОК(ЭЛ.ЭН)}} = \frac{C_{\text{ПЧ}} - C_{\text{ЭЛ.СТ.}}}{\Delta C_{\text{ЭЛ.ЭН}}} = \frac{\Delta C}{\Delta C_{\text{ЭЛ.ЭН}}},$$

если значение $\Delta C < 0$, то это означает что затраты на новое строительство превышают затраты на установку ЧРП, т.е. установка ЧРП безусловно выгодна.

10.5 Определяют срок окупаемости выбранного оборудования $T_{\text{ОК}}$, год

$$T_{\text{ОК(ЭЛ.ЭН)}} = \frac{C_{\text{ПЧ}}}{\Delta \mathcal{E}_{\text{ГОД}} \cdot C_{\text{ЭЛ.ЭН}} \cdot k},$$

где $C_{\text{ПЧ}}$ – стоимость выбранного оборудования, руб. или USD;

$C_{\text{ЭЛ.ЭН}}$ – тариф (цена) 1 кВт·ч электроэнергии, руб. или USD;

k – коэффициент, учитывающий эффект дополнительного ресурсосбережения: для сетевых и подпиточных насосов ТЭС значение коэффициента k может быть принято равным $k = 1,25 \div 1,35$.

Оценка экономического эффекта при использовании ЧРП в насосных станциях ЦТП коммунальной сферы

Особенность режимов работы насосов холодного и горячего водоснабжения на ЦТП стоит в том, что расход воды определяется потребителями, а не задается принудительно. Регулируя скорость двигателя, изменяют напор, развиваемый насосом. Экономический эффект устанавливается на основе следующих простейших измерений и расчетов.

1. Регистрируют номинальные данные насоса $Q_{\text{НОМ}}$, м³/час, $H_{\text{НОМ}}$, м в.ст., $\eta_{\text{НАС.НОМ}}$ и двигателя $P_{\text{ДВ.НОМ}}$, кВт; $n_{\text{НОМ}}$, об/мин; ток $I_{\text{НОМ}}$, А; частота вращения $n_{\text{НОМ}}$ об/мин; КПД $\eta_{\text{ДВИГ.НОМ}}$; коэффициент мощности $\cos \varphi_{\text{НОМ}}$.

2. В часы максимального водопотребления (8-10 ч или 18-20 ч в коммунальной сфере, 13-15 ч в административных зданиях и т.п.) измеряют напор H , м в.ст.. на входе $H_{\text{ВХ}}$ и выходе $H_{\text{ВЫХ}}$ насоса – по манометрам, установленным в системе, в течение часа-двух делается несколько измерений, результаты усредняются.

3. В тех же условиях измеряют ток двигателя I , А, - с помощью измерительных клещей или по амперметру, если он установлен; делается несколько измерений результаты усредняются.

Проверяют соотношение:

$$I < I_{\text{НОМ}}$$

4. Измеряют средний расход за сутки $Q_{\text{СР}}$, м³/ч, по разности показаний расходомера в начале Q_1 и в конце Q_2 контрольных суток

$$Q_{\text{СР}} = (Q_1 - Q_2) / 24.$$

5. Рассчитывают минимально необходимый общий напор по формуле

$$H_{\text{НЕОБХ}} = C \cdot N - D, \text{ м в.ст.}$$

$C = 3$ – для стандартных ломов:

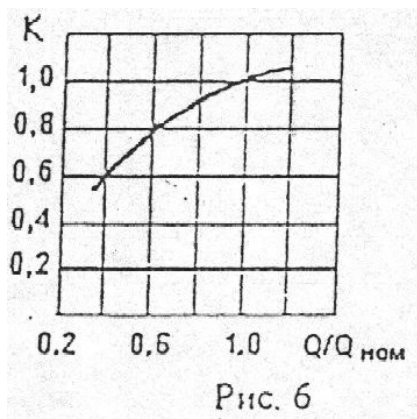
$C = 3,5$ – для домов повышенной комфортности;

$D = 10$ – для одиночных домов и 15 – для группы отдельно стоящих домов, обслуживаемых ЦТП.

6. Оценивают требуемый напор, обеспечиваемый регулируемым насосом:

$$H_{\text{ТРЕБ}} = H_{\text{НЕОБХ}} - H_{\text{ВХ}},$$

если $H_{\text{ВХ}}$ (напор в подводящей магистрали) существенно изменяется, следует использовать $H_{\text{ВХ.МИН}}$



7. Определяют требуемую мощность преобразователя частоты:

$$P_{\text{ПЧ}} = (1,1 - 1,2) \frac{H_{\text{ТРЕБ}} \cdot Q_{\text{СР}}}{367 \cdot \eta_{\text{НАС}} \cdot \eta_{\text{ДВ.НОМ}}},$$

Величину КПД насосного агрегата $\eta_{\text{НАС}}$ определяют как

$$\eta_{\text{НАС}} = K \cdot \eta_{\text{НАС.НОМ}}$$

где K – определяется по кривой на рис. 6 для расхода измеренного в п.4 и отнесенного к $Q_{\text{НОМ}}$ из п.1.

8. Определяют цену годовой экономии электроэнергии, руб./год, по формуле:

$$\Delta \text{Э}_{\text{ГОД}} = \Delta \text{Э}_{\text{ГОД}} \cdot \text{Ц}_{\text{ЭЛ.ЭН}} = \frac{(H_{\text{ВЫХ}} - H_{\text{НЕОБХ}}) Q_{\text{СР}}}{367 \cdot \eta_{\text{НАС}} \cdot \eta_{\text{ДВ.НОМ}}} \cdot t_{\text{ГОД}} \cdot \text{Ц}_{\text{ЭЛ.ЭН}},$$

где $\Delta \text{Э}_{\text{ГОД}}$ – электроэнергия, сэкономленная за год, кВт·ч;

$t_{\text{ГОД}}$ – число часов работы оборудования в году;

$\text{Ц}_{\text{ЭЛ.ЭН}}$ – цена 1 кВт·ч электроэнергии, руб. или USD.

9. Определяют цену годовой экономии воды, руб./год:

$$\Delta \text{В}_{\text{ГОД}} = \Delta \text{В}_{\text{ГОД}} \cdot \text{Ц}_{\text{ВОДЫ}} = 0,07 \cdot \frac{(H_{\text{ВЫХ}} - H_{\text{НЕОБХ}}) Q_{\text{СР}}}{10} \cdot t_{\text{ГОД}} \cdot \text{Ц}_{\text{ВОДЫ}},$$

где $\Delta \text{В}_{\text{ГОД}}$ – вода, сэкономленная за год, м³;

$\text{Ц}_{\text{ВОДЫ}}$ – цена 1 м³ воды, руб. или USD.

$H_{\text{ВЫХ}}$, $H_{\text{НЕОБХ}}$ – напор, обеспечиваемый хозяйственными насосами ЦТП.

10. Определяют годовую экономию тепла за счет сокращения-потребления горячей воды $\Gamma_{\text{кал/год}}$:

$$\Delta\Theta = C \cdot \Delta t \cdot \Delta V_{\text{ГОД.ГОР}} \cdot 10^6,$$

где $C = 1,0$ – коэффициент теплоемкости воды, кал/г, °С;

Δt – расчетный перепад температуры перегрева горячей воды, °С;

$\Delta V_{\text{ГОД.ГОР}}$ – горячая вода, сэкономленная за год, т.

Для типовых ЦТП, расчетный расход горячей воды принимается 0,4 от общего расхода воды, подаваемой хозяйственными насосами.

Определяют цену годовой экономии тепла, руб./год.

$$C_{\Delta\Theta} = \Delta\Theta \cdot C_{\text{Гкал}},$$

где $C_{\text{Гкал}}$ – цена 1 Гкал тепла, руб. или USD.

11. Оценивают ориентировочно срок окупаемости дополнительного оборудования $T_{\text{ОК}}$, год:

$$T_{\text{ОК}} = \frac{C_{\text{ЦЧ}}}{C_{\Delta\text{Эгод}} + C_{\Delta\text{Вгод}} + C_{\Delta\Theta}},$$

где $C_{\text{ЦЧ}}$ – стоимость дополнительного оборудования ЧРП, включая установку.

Составители:

Зам. директора по научной работе АО ВНИИЭ, руководитель программы Минэнерго РФ по частотно-регулируемым электроприводам Ю.Г. Шакарян,

Профессор кафедры автоматизированного электропривода Московского энергетического института Н.Ф. Ильинский