

СОВРЕМЕННЫЙ РЕГУЛИРУЕМЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД В СИСТЕМАХ ВОДОСНАБЖЕНИЯ ЖИВОТНОВОДЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ

Таранов Д.М., доц., к.т.н.; Каун О.Ю., аспирант

(Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение Высшего профессионального образования «Азово-Черноморская Государственная Агроинженерная Академия», г. Зерноград, Россия)

В данной статье приведены способы регулирования подачи насосов системы водоснабжения, проанализированы потери системы водоснабжения, сформулирована оптимизационная задача и выведена целевая функция насосов системы водоснабжения.

Ключевые слова: регулируемый электропривод, водоснабжение, животноводческий комплекс, подача, насос, оптимизационная задача, закон управления, показатель качества, широтно-импульсная модуляция, оптимизация, целевая функция.

Проблема энергосбережения актуальна в настоящее время, потому что высокая энергоёмкость внутреннего валового продукта – проблема национальной экономики. Считается, что в среднем по миру за счет экономии можно сберечь до 30 % энергии, в России потенциал энергосбережения – 40% [1].

Насосы и вентиляторы – основные потребители электроэнергии (40%) – до настоящего времени оборудованы простейшим электроприводом и обладают громадным ресурсом энерго- и ресурсосбережения главный резерв энергосбережения – управление режимом центробежной машины (давлением и расходом) практически не используется в России: более 95% агрегатов общего применения во всем мире оборудованы простейшим нерегулируемым электроприводом с асинхронными двигателями, имеющими короткозамкнутый ротор.

Регулирование подачи асинхронного электродвигателя насоса может быть осуществлено двумя путями:

1. Дросселирование – при неизменной частоте вращения регулирование открытия задвижки на напорном трубопроводе насоса.

2. Регулирование скорости вращения рабочего колеса насоса – в этом случае исключаются потери гидравлической энергии и происходит смещение характеристики насоса при сохранении параметров.

Показатели качества регулирования частоты вращения асинхронного электродвигателя:

1. Диапазон регулирования – это отношение максимальной установившейся скорости электропривода к минимальной при изменении нагрузки на валу двигателя в заданных пределах.

2. Точность регулирования скорости. Статическая ошибка характеризует реакцию электропривода на приложение (снятие) нагрузки.

3. Плавность регулирования. Этот показатель характеризуется числом искусственных (регулируемых) характеристик при данном диапазоне регулирования.

4. Направление возможного изменения частоты вращения определяется расположением получаемых искусственных характеристик относительно естественной характеристики двигателя.

5. Стабильность при работе на искусственных характеристиках характеризуется изменениями частоты вращения двигателя при колебаниях момента нагрузки.

6. Экономичность регулирования характеризуется капитальными затратами, связанными с созданием системы электропривода, и потерями электрической энергии, которые имеют место при регулировании частоты вращения.

На рисунке 1 показано распределение потерь прямом и частотном пуске. Таким образом при частотном пуске существенно снижаются потери энергии по сравнению с прямым пуском, соответственно и срок службы электродвигателя увеличится.

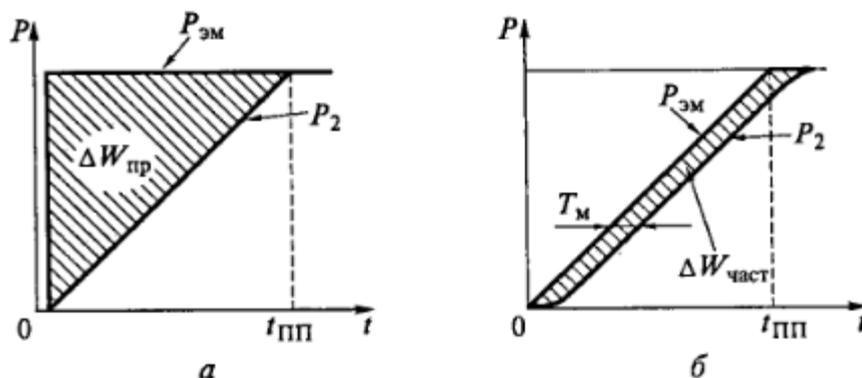


Рисунок 1 - Потери энергии электродвигателя при прямом (а) и частотном (б) пуске

Для экономии электроэнергии предлагается применять преобразователь частоты с промежуточным звеном постоянного тока и оптимизированным алгоритмом управления, в системе проточного водоснабжения.

При этом будет потребляться только то количество электроэнергии, которое необходимо для создания соответствующего давления в системе водоснабжения. Данный алгоритм реализуется путем введения обратной связи по давлению, и настройкой закона управления электропривода, дающий наибольший КПД системы водоснабжения. Структурная схема системы автоматического регулирования представлена на рисунке 1.

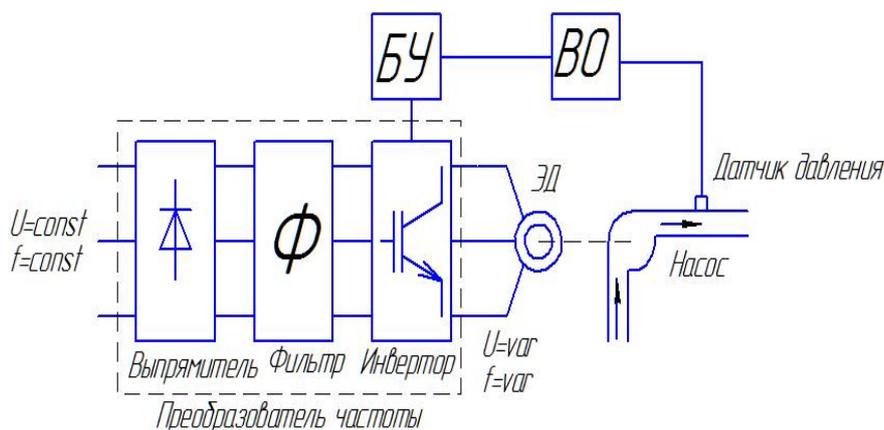


Рисунок 2 – Структурная схема системы автоматического регулирования

Цель оптимизации сводится к повышению КПД системы, который увеличится путем уменьшения потерь в системе водоснабжения. Потери учитываются в каждом элементе системы: преобразователе частоты, электродвигателе, насосе и в трубопроводе.

Проанализировав все потери [3] можно вывести целевую функцию системы, направленную на увеличение КПД агрегата.

$$\eta_{AG} = \eta_{ПЧ} \cdot \eta_{ЭД} \cdot \eta_{ТМ} \cdot \eta_{М} \rightarrow \max$$

где $\eta_{ПЧ}$ - коэффициент полезного действия преобразователя частоты;

$\eta_{ЭД}$ - коэффициент полезного действия электродвигателя;

$\eta_{ТМ}$ - коэффициент полезного действия турбомеханизма (насоса)

$\eta_{М}$ - коэффициент полезного действия магистрали

Для увеличения КПД агрегата необходимо исследовать энергетические показатели отдельных составляющих рассматриваемой системы.

Динамическая составляющая напора [2], развиваемого насосной установкой, зависит от расхода воды:

$$h_{дин} = SQ^p$$

где p – коэффициент, зависящий от материала труб и их срока службы, $p = 1,8 \div 2$.

Разность значений между напором, развиваемым насосом, и напором, требуемым для подачи того или иного количества жидкости есть превышение напора сверх требуемого:

$$\Delta H = H_n - H_c$$

Зависимость превышения напора от расхода Q и параметров H_ϕ и $H_{ст}$, характеризующих крутизну характеристики насоса и трубопровода:

$$\Delta H = \Delta H_\phi \left[1 - \left(\frac{Q}{Q_\phi} \right)^2 \right],$$

где $\Delta H_\phi = H_\phi - H_{ст}$.

Напор ΔH теряется в затворах и задвижках, дросселирующих напорных коммуникациях, в водозаборных кранах и другой арматуре, через которую потребитель отбирает жидкость из системы.

На превышение напора нерационально расходуется дополнительная мощность, кВт:

$$\Delta N = \frac{\rho g Q \Delta H}{1000 \eta}$$

Если насос работает в течении времени t с превышением напора ΔH , то количество бесполезно теряемой электроэнергии, кВт*ч, равно

$$\Delta W = \Delta N \cdot t$$

Так как в течении расчетного периода подача и превышение напора все время меняется, то получаемый перерасход электроэнергии за расчетный период определяется как сумма электроэнергии, расходуемой в разные периоды времени работы установки:

$$\Delta W_\Sigma = \frac{\rho g}{1000 \eta} \Sigma Q_i \Delta H_i t_i,$$

где $Q_i, \Delta H_i$ - подача и превышение напора за промежуток времени t_i .

Коэффициент полезного действия определяется как отношение потребляемой из сети активной мощности P и полезной мощности на валу двигателя $P_{мех}$

$$\eta = \frac{P_{мех}}{P}$$

КПД электропривода представляется в виде произведения КПД преобразователя частоты ($\eta_{пч}$) и асинхронного электродвигателя ($\eta_{дв}$)

$$\eta_{эн} = \eta_{пч} \cdot \eta_{дв}$$

Каждая из составляющих КПД электропривода записывается через мощность потерь энергии соответственно в преобразователе частоты ($\Delta P_{пч}$) и асинхронном двигателе ($\Delta P_{дв}$):

$$\eta_{пч} = \frac{P_1}{P} = 1 - \frac{\Delta P_{пч}}{P_1 + \Delta P_{пч}}$$

$$\eta_{\text{дв}} = \frac{P_{\text{мех}}}{P_1} = 1 - \frac{\Delta P_{\text{дв}}}{P_{\text{мех}} + \Delta P_{\text{дв}}}$$

При частотном способе регулирования скорости определяющими для асинхронного электродвигателя являются следующие виды потерь:

- потери в обмотке статора ($\Delta P_{1\text{м}}$) и обмотки ротора ($\Delta P_{2\text{м}}$), обусловленные первыми гармониками токов обмоток;
- потери в стали статора от гистерезиса ($\Delta P_{\text{с.г}}$) и вихревых токов ($\Delta P_{1\text{с.в}}$);
- механические потери ($\Delta P_{\text{мех}}$)
- добавочные потери ($\Delta P_{\text{доб}}$), пропорциональные квадрату основной гармоники тока статора.

Суммарная мощность потерь энергии в асинхронном электродвигателе при частотном способе регулирования его скорости определяется по формуле

$$\Delta P_{\text{дв}} = \Delta P_{1\text{м}} + \Delta P_{2\text{м}} + \Delta P_{\text{с.г}} + \Delta P_{1\text{с.в}} + \Delta P_{\text{мех}} + \Delta P_{\text{доб}}$$

Каждая из составляющих суммарных потерь зависит от режима работы асинхронного электродвигателя.

В преобразователе частоты с автономным инвертором напряжения (АИН) при питании его от неуправляемого выпрямителя имеют место следующие виды потерь:

- потери в вентилях неуправляемого выпрямителя и силовых ключах АИН;
- потери в коммутирующих реакторах и фильтрах электромагнитной совместимости на входе выпрямителя, в реакторе фильтра звена постоянного тока, а также в выходных фильтрах и реакторах в случае их установки;
- потери в конденсаторах фильтра звена постоянного тока и выходного фильтра;
- потери в защитных РС – цепях.

Основную долю потерь в преобразователе частоты (ПЧ) составляют электрические потери в вентилях выпрямителя, ключах инвертора и реакторах. Точное определение электрических потерь аналитическими методами затруднено из-за сложности учета дискретных и нелинейных свойств ПЧ, поэтому при расчете в нем принимают допущения, которые позволяют отсеять второстепенные составляющие. К таким допущениям относится пренебрежение процессами в выпрямителе и инверторе, что позволяет сделать описание процессов в ПЧ по непрерывным, или полезным составляющим /3/.

Таким образом, благодаря использованию регулируемого электропривода возможно уменьшение гидравлических потерь и потребление электрической энергии. Введение оптимального закона управления позволит снизить затраты электрической энергии и улучшить его энергетические характеристики.

Перечень ссылок

1. Ильинский Н.Ф. – Электропривод: энерго- и ресурсосбережение: учеб. Пособие для студ. Высш. Учеб. Заведений / Н.Ф. Ильинский, В.В. Москаленко. – М.: Издательский центр «Академия», 2008. – 208 с. ISBN 978-5-7695-2849-1.
2. Лезнов Б.С. Энергосбережение и регулируемый привод в насосных и воздуходувных установках. – М.: Энергоатомиздат. 2006. 360 с. Ил. ISBN 5-283-00806-1.
3. Браславский И.Я., Ишматов З.Ш., Поляков В.Н. – Энергосберегающий асинхронный электропривод. – М.: АСАДЕМА, 2004. – 202 с.: ил.