Белов Н.А., Максимов Н.М., Семенова К.Д., Киселева А.А., Панов К.Э.
Сравнительный анализ способов регулирования подачи жидкости в насосных агрегатах

*Южно-Уральский Государственный Университет
(Россия, Челябинск)*

doi: 10.18411/lj-09-2019-07

idsp: ljjournal-09-2019-07

Аннотация

В данной статье рассматриваются способы регулирования подачи воды на насосной станции первого подъема. Приведены функциональные схемы трех способов регулирования и их краткие описания. Приведены формулы для расчета энергетических параметров, а также проведены расчеты этих способов регулирования. На основе проведенных исследований выбран оптимальный способ регулирования подачи.

Ключевые слова: насосный агрегат, подача, регулирование, преобразователь частоты, энергетические показатели

Abstract

This article discusses methods of regulating the water supply at the pump station of the first rise. Functional diagrams of the three control methods and their brief descriptions are given, as well as the calculations of these methods. The optimal method for regulating the feed was selected, based on the studies.

Keywords: pump, supply, regulation, frequency converter, energy indicators

Введение

Насосом называется гидравлическая машина, которая создает перемещение жидкости при сообщении ей энергии. Насос вместе с электроприводом и передаточным механизмом является насосным агрегатом. Оборудование, обеспечивающее работу насосов в нужном режиме, состоящее из одного или нескольких насосных агрегатов, трубопроводов различной арматуры управления и защиты, является насосной установкой.

В разработке имеется питательная насосная станция I-ого подъема для обеспечения завода и прилегающего к нему поселка водой, с установленным асинхронным электродвигателем АИР250S2 мощностью 75 кВт, отношением максимального момента к номинальному 2,6, КПД 93%, коэффициентом мощности 0,9 и скоростью 2900 оборотов в минуту. Параметры насосной станции получены из характеристик суточного потребления воды: диапазон регулирования подачи $Q_{\min}$ – $Q_{\max}$ – 130-170 м³/ч.

В [1] приводят различные виды управления двигателей. В нашем случае, так как у нас лишь один двигатель, то мы рассматриваем механический способ регулирования, регулирование тиристорным коммутатором и регулирование с помощью преобразователя частоты.

Механический способ регулирования заключается в открывании\закрывании задвижек, изменяющий подачу воды в трубопровод. На рисунке 1 представлена функциональная схема данного способа регулирования. Двигатель 1 подключается к насосу 2. Задвижки 3, 4 и 5 регулируют подачу жидкости в насос.

Рисунок 1 - Функциональная схема механического регулирования

При этом способе регулирования активная мощность, потребляемая из сети, расходуется на потери в двигателе (какие потери), потери в центробежном механизме, потери производительности и создание полезной мощности.

Активная мощность, потребляемая из сети, определяется как

$$P_{с.м} = \Delta P_{д} + \Delta P_{мех} + \Delta P_{р.м.с} + P_{пол} \quad (1)$$

где $\Delta P_{д} = P_2 \left(\frac{1}{\eta_{д}} - 1 \right)$ – потери двигателя; $\Delta P_{мех} = P_{мех} \left(\frac{1}{\eta_{мех}} - 1 \right)$ – потери на исполнительном механизме; $\Delta P_{р.м.с} = \Delta H_p \cdot Q$ – потери давления на регулирующем органе; $P_{пол} = H_{маг} \cdot Q$ – полезная мощность на выходе магистрали.

Общий КПД насосного агрегата при механическом способе регулирования производительности и нерегулируемом электроприводе определяются как

$$\eta_{общ.м} = \eta_{д} \cdot \eta_{мех} \cdot \eta_{м.с}, \quad (2)$$

где $\eta_{д}$ – КПД двигателя; $\eta_{мех}$ – КПД механизма; $\eta_{м.с} = \frac{\Delta H_p}{H_p}$, H_p – напор на выходе механизма до регулирующего органа.

При механическом способе регулирования вся реактивная мощность сети уходит на двигатель. Она расходуется на создание магнитного поля двигателя, магнитных полей рассеяния статорной и роторной обмоток. Баланс реактивной мощности имеет вид:

$$Q_{с.м} = Q_{д} = Q_{\mu} + Q_{\sigma 1} + Q_{\sigma 2}, \quad (3)$$

где Q_{μ} – реактивная мощность основного магнитного поля; $Q_{\sigma 1}$ и $Q_{\sigma 2}$ – реактивные мощности рассеяния обмоток статора и ротора.

Коэффициент мощности асинхронного двигателя будет равен:

$$\cos \varphi_{дв} = \frac{P_{с.м}}{\sqrt{P_{с.м}^2 + Q_{с.м}^2}}. \quad (4)$$

Регулирование тиристорным коммутатором заключается в изменении напряжения статора, что в свою очередь ведет к изменению скорости вращения лопастей насоса и изменению подачи жидкости. На рисунке 2 представлена функциональная схема регулирования с помощью тиристорного коммутатора (ТК).

Рисунок 2 - Функциональная схема регулирования напряжения статора с помощью тиристорного коммутатора

В регулируемом асинхронном электроприводе баланс мощности, потребляемой из сети, имеет вид

$$P_{с.м} = \Delta P_{д.э} + \Delta P_{пр.с} + \Delta P_{пр.р} + \Delta P_{мех} + P_{пол}, \quad (5)$$

где $\Delta P_{пр.с}$, $\Delta P_{пр.р}$ – потери преобразовательных устройств цепей статора и ротора; $\Delta P_{д.э} = \frac{P_{н}}{\eta_{н}} - P_{н}$ – потери в пассивных элементах статорной и роторной цепей двигателя при электрическом регулировании производительности.

Баланс реактивных мощностей для регулируемого электропривода рассчитывается по формуле 3. Аналогично определяется и коэффициент мощности по формуле 4.

Более широкое распространение в отечественной и зарубежной практике получил регулируемый электропривод переменного тока на базе преобразователя частоты. Изменением частоты питающего напряжения можно изменить частоту вращения электродвигателя и сочлененного с ним насоса.

На практике чаще всего используют преобразователи общего назначения, обеспечивающие соотношение

$$\frac{U_1}{f_1^2} = \frac{U_2}{f_2^2} = const. \quad (6)$$

Частотные преобразователи на базе АИН с широтно-импульсной модуляцией (ШИМ) имеют более высокие энергетические характеристики за счет того, что на выходе преобразователя обеспечивается форма кривых тока и напряжения, приближающаяся к синусоидальной. На рисунке 3 представлена функциональная схема регулирования с помощью преобразователя частоты (ПЧ).

Рисунок 3 - Функциональная схема регулирования на базе преобразователя частоты

При данном способе регулирования абсолютное скольжение определяется как:

$$\omega_0 - \omega = (\omega_0 - \omega_{\max}) \cdot \frac{M}{M_{\max}}. \quad (7)$$

Исходя из этого уравнения расчет переменных потерь будет проводиться как :

$$\Delta P_{дер.н} = \frac{M^2 \omega_0 s_0 \cdot \left(1 + \frac{R_{1\Sigma}}{R_{2\Sigma}}\right)}{M_{\max}}. \quad (8)$$

Расчет балансов активной мощности ведется по формуле 5 с подстановкой формулы 8. Баланс реактивной мощности считается по формуле 3. а коэффициент мощности считается по формуле 4.

Данные расчетов, проведенных для каждого способа регулирования по формулам 1-4 представлены в таблице 1.

Таблица 1

Сравнительные расчетные значения по способам регулирования.

	$P_{с.м}$, кВт	$Q_{с.м}$, кВар	$\eta_{общ.м}$	$\cos \varphi_{дв}$
Задвижка	23,2	31,5	0,055	0,59
Коммутатор	29,2	32,07	0,055	0,67
ПЧ	3,66	31,96	0,055	0,13

Исходя из полученных данных, можно сделать вывод, что управление подачей жидкости с помощью преобразователя частоты наиболее эффективно. Для обеспечения устойчивой работы электродвигателя, ограничения его перегрузки по току и магнитному потоку, поддержания высоких энергетических показателей в частотном преобразователе поддерживается определенное соотношение между его входными и выходными параметрами, зависящее от вида механической характеристики насоса.

1. Б.С.Лезнов «Энергосбережение и регулируемый электропривод в насосных и воздуходувных установках». М.: Энергоатомиздат, 2006 г.
2. Савостеенко Н.В., Костенко Р.В., Архипова Н.С., Буханов С. С. «Модернизация насосных станций», II Поволжская научно-практическая конференция. Приборостроение и автоматизированный электропривод в топливно-энергетическом комплексе и жилищно-коммунальном хозяйстве.
3. Лобачев П.В. Насосы и насосные станции / П.В. Лобачев. – М.: Стройиздат, 1990.
4. СНиП 2.04.02-84. Насосные станции. Электрооборудование, технологический контроль, автоматизация и системы управления.
5. Попкович Г.С. Автоматизация систем водоснабжения и водоотведения / Г.С. Попкович, М.А. Гордеев. – М.: Высш. шк., 1986.
6. Справочник электроэнергетика предприятий цветной металлургии / под ред. М.Я. Басалыгина, В.С. Копырина. – М.: Металлургия, 1991.
7. Пат. 2138689 РФ. Способ управления работой системы центробежный насос и вакуумный насос и газоотделяющий центробежный насос / Р. Войтто, В. Реййо, В. Веса; опубл. 29.05.1996.
8. Усынин Ю.С. Параметрическая оптимизация частотно-регулируемых электроприводов / Ю.С. Усынин [и др.] // Вестник ЮУрГУ. Энергетика. – 2012. – № 37(296). – С. 30–33.

Белов Н.А., Максимов Н.М., Семенова К.Д., Киселева А.А., Панов К.Э.

Математическая модель системы ПЧ-АД для насосной станции

*Южно-Уральский Государственный Университет
(Россия, Челябинск)*

doi: 10.18411/lj-09-2019-08

idsp: lj-09-2019-08

Аннотация

Приведены параметры объекта исследования, даны суточные характеристики, параметры рабочего органа. В данной статье описывается математическая модель насосного агрегата. Приведен расчет параметров модели. Описаны результаты математического моделирования.

Ключевые слова: насосный агрегат, подача, регулирование, преобразователь частоты, математическая модель

Abstract

This article discusses methods of regulating the water supply at the pump station of the first rise. Functional diagrams of the three control methods and their brief descriptions are given, as well as the calculations of these methods. The optimal method for regulating the feed was selected, based on the studies.

Keywords: pump, supply, regulation, frequency converter, mathematical model

Насосная станция – это совокупность комплексов, которая осуществляет превращение энергии движущейся воды в электрическую энергию. Насосные станции имеют широкое применение в промышленности.