

УДК 621.313.2

ИССЛЕДОВАНИЕ СТАТИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ЧАСТОТНО-УПРАВЛЯЕМОГО АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА В УСЛОВИЯХ НИЗКИХ ТЕМПЕРАТУР

А.О. Смирнов, С.В. Ланграф, В.С. Казаков*, Р.Ф. Бекишев

Томский политехнический университет

*ООО НПО «Сибирский машиностроитель», г. Томск

E-mail: shurikk@sibmail.com

Исследован частотно-управляемый асинхронный электропривод запорной арматуры при различных температурах окружающей среды. Показано влияние температуры на механические характеристики электропривода. Предложена имитационная модель, учитывающая влияние температуры на работу элементов электропривода.

Ключевые слова:

Система автоматического управления, асинхронный двигатель, преобразователь частоты, пониженные температуры, устойчивость работы.

Key words:

Automatic control system, asynchronous motor, frequency converter, low temperatures, operation stability.

В настоящее время системы электропривода прочно занимают лидирующее место среди приводных устройств и обеспечивают бесперебойную и надежную работу механизмов во многих областях техники. Функциональные возможности и эксплуатационные параметры современных электроприводов во многом определяются характеристиками применяемых систем управления. Современный асинхронный электропривод реализован на базе силовой полупроводниковой техники с применением микропроцессорного управления. Его возможности позволяют организовать регулирование выходных координат электропривода в широком диапазоне, с высоким быстродействием и высокой точностью.

Электропривод запорной арматуры магистральных нефтяных трубопроводов представляет собой сложный мехатронный модуль, объединяющий в своем составе систему управления, силовой преобразователь, асинхронный двигатель и редуктор волнового типа. В качестве силового преобразователя может использоваться преобразователь частоты или тиристорный регулятор напряжения. Система управления должна обеспечивать требуемые режимы эксплуатации запорной арматуры, адекватную реакцию электропривода на изменение внешних условий, поддержку защитных функций и коммуникаций с другими устройствами, диагностику состояния всех элементов электропривода.

Электроприводы запорной арматуры магистральных трубопроводов эксплуатируются в различных географических широтах с большими перепадами температуры окружающей среды. Особенно большое влияние на работоспособность электропривода оказывают низкие температуры (-50 , -60 °C) в период запуска агрегатов после длительной остановки. Температура окружающей среды и связанная с ней температура проходящей жидкости (нефти) оказывают определяющее влияние на работоспособность и ресурс работы всех элементов электропривода: силового преобразовате-

ля частоты, асинхронного двигателя, системы управления, механического преобразователя-редуктора, задвижки запорной арматуры.

Эффективность работы механической части электропривода (редуктора и задвижки) определяется давлением и объемом пропускаемой жидкости, потерями энергии на трение в подвижных соединениях и, как следствие, интенсивностью изнашивания деталей [1].

Существенное влияние на механические характеристики электропривода оказывает изменение активных сопротивлений статора и ротора асинхронного двигателя при изменении температуры окружающей среды в широком диапазоне.

Для надежной работы электронных блоков преобразователя и системы управления электроприводом требуется встроенная система контроля и диагностики с обратной связью по температуре.

Таким образом, для обеспечения устойчивой работы электропривода в широком диапазоне изменения температуры окружающей среды необходимы учет параметров всех элементов электропривода (запорной арматуры, редуктора, асинхронного двигателя, силового преобразователя) и разработка системы управления с обратной связью по температуре [2].

Обычно в качестве электропривода используют частотно-регулируемый асинхронный короткозамкнутый двигатель.

Для исследования электродвигателя разработана математическая и имитационная модели асинхронного двигателя (АД) с учетом следующих допущений:

1. Не учитываются потери в стали.
2. Исследуется трёхфазный симметричный режим работы АД.
3. Напряжения на выходе преобразователя частоты (ПЧ) принимаются строго синусоидальной формы.

4. Пренебрегается влияние силовым каналом между АД и ПЧ.

Для исследования статических режимов работы системы ПЧ-АД была использована классическая Т-образная схема замещения АД [3].

Процессы в АД описываются системой векторных дифференциальных уравнений:

$$\begin{aligned} U_s &= R_s I_s + \frac{d\psi_s}{dt}, \\ U_r &= R_r I_r + \frac{d\psi_r}{dt}, \\ \psi_s &= L_s I_s + L_m I_r, \\ \psi_r &= L_r I_r + L_m I_s, \\ M &= \frac{3}{2} z_p (\psi_s \cdot I_s), \\ \frac{d\omega_r}{dt} &= \frac{1}{J} (M - M_c). \end{aligned}$$

Здесь $U_s, U_r, I_s, I_r, \psi_s, \psi_r$ – двухэлементные векторы напряжений, токов и потокоцеплений, представленные в ортогональной (двухфазной) системе координат в виде составляющих по координатным осям. Механические параметры системы представлены следующими переменными: J – момент инерции, ω_r – частота вращения ротора, z_p – число пар полюсов АД, M и M_c – электромагнитный момент и момент нагрузки.

Система скалярных уравнений, описывающих процессы в АД, имеет следующий вид:

$$\begin{aligned} p i_{s\alpha} &= \frac{1}{L_e} (u_{s\alpha} - R_e i_{s\alpha} + K_r \omega_r z_p \psi_{r\beta} + K_r A_r \psi_{r\alpha}), \\ p i_{s\beta} &= \frac{1}{L_e} (u_{s\beta} - R_e i_{s\beta} - K_r \omega_r z_p \psi_{r\alpha} + K_r A_r \psi_{r\beta}), \\ p \psi_{s\alpha} &= R_r K_r i_{s\alpha} - A_r \psi_{r\alpha} - \omega_r z_p \psi_{r\beta}, \end{aligned}$$

$$p\psi_{s\beta} = R_r K_r i_{s\beta} - A_r \psi_{r\beta} + \omega_r z_p \psi_{r\alpha},$$

$$M = \frac{3}{2} z_p K_r (\psi_{r\alpha} \cdot i_{s\beta} - \psi_{s\beta} \cdot i_{s\alpha}),$$

$$p\omega_r = \frac{1}{J}(M - M_c).$$

На основе данной системы уравнений с использованием пакета MATLAB Simulink [4] была создана имитационная модель двухфазного АД в неподвижной системе координат, рис. 1.

Имитационная модель базируется на определённых ранее параметрах схемы замещения асинхронной машины с учётом влияний температурных изменений [5]. Проведём анализ статических характеристик АД на различных частотах (50 и 10 Гц) при понижении температуры, рис. 2.

Как видно из рис. 2, критический и пусковой моменты АД возрастают при снижении температуры окружающей среды за счет уменьшения активных сопротивлений обмоток статора и ротора.

На этапе разработки системы адаптивного управления для оценки степени влияния температурных изменений на величину выходного момента АД проводились исследования с применением аппарата имитационного моделирования и экспериментальной установки, рис. 3.

На экспериментальной установке были проведены исследования механических характеристик электропривода при его работе в диапазоне температур $+20\ldots-60^\circ\text{C}$ и частот $10\ldots 50$ Гц. В каждом случае производился расчет механических характеристик по уточненной формуле Клосса.

В ходе проведения экспериментальных исследований были выявлены зависимости влияния температурных изменений на статические характеристики асинхронного двигателя.

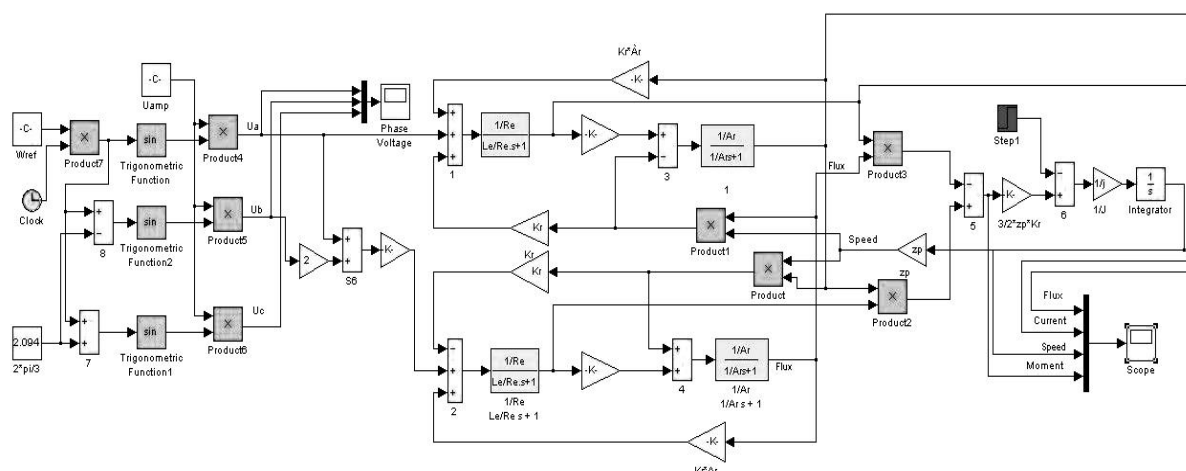


Рис. 1. Структурная схема имитационной модели АД в неподвижной системе координат с учетом влияния температуры окружающей среды в MATLAB Simulink

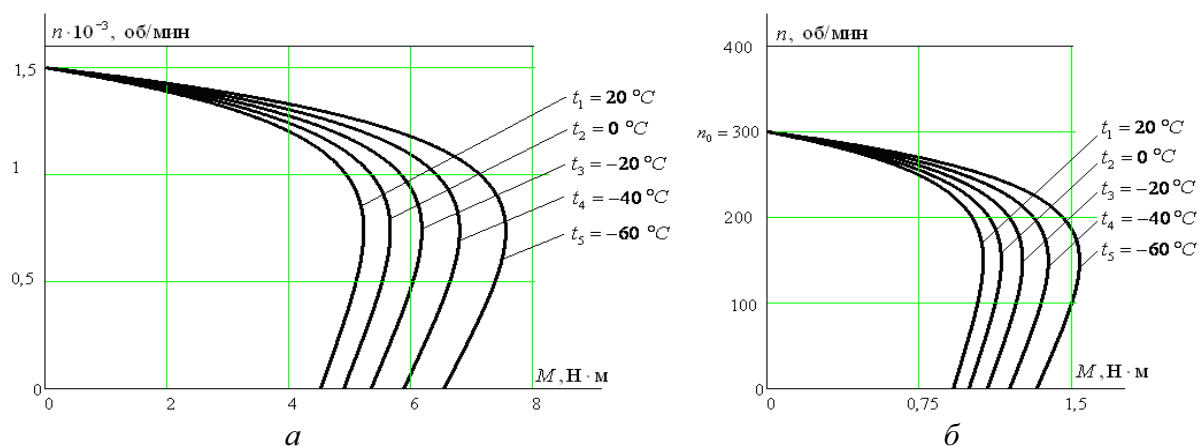


Рис. 2. Механические характеристики АД (зависимость числа оборотов n от момента нагрузки M) при понижении температуры при частоте: а) 50; б) 10 Гц

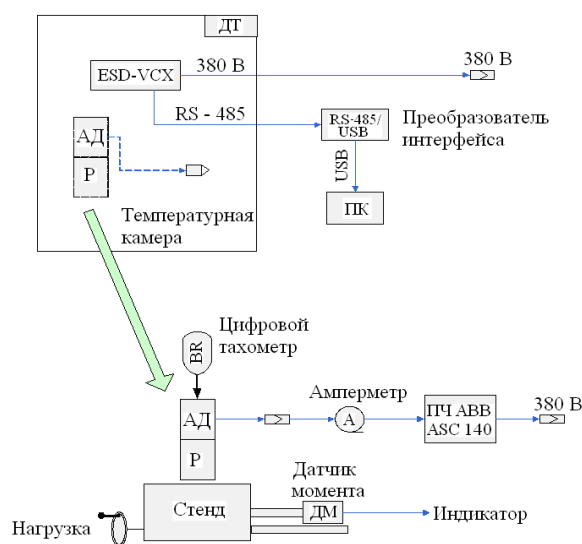


Рис. 3. Схема лабораторной установки

Результаты экспериментальных исследований, полученных при: а) нормальных условиях ($t=20^\circ\text{C}$) и б) температуре -60°C в диапазоне частот от 10 до 50 Гц, приведены на рис. 4.

В ходе эксперимента были сняты зависимости момента потерь от скорости электродвигателя, рис. 5.

Потери представляют собой сумму механических потерь на валу двигателя и в редукторе.

Из графиков видно, что момент потерь возрастает при уменьшении температуры. Особенно это выражается при температурах, близких к -60°C .

Это вызвано как увеличением вязкости смазочного материала в редукторе и подшипниках двигателя, так и с изменением физико-механических свойств сопрягающихся материалов редуктора.

В электронном блоке типа ESD-VCX электропривода «Гусар» при достижении температуры ниже -13°C автоматически включается датчик подогрева блока и периодически отключается

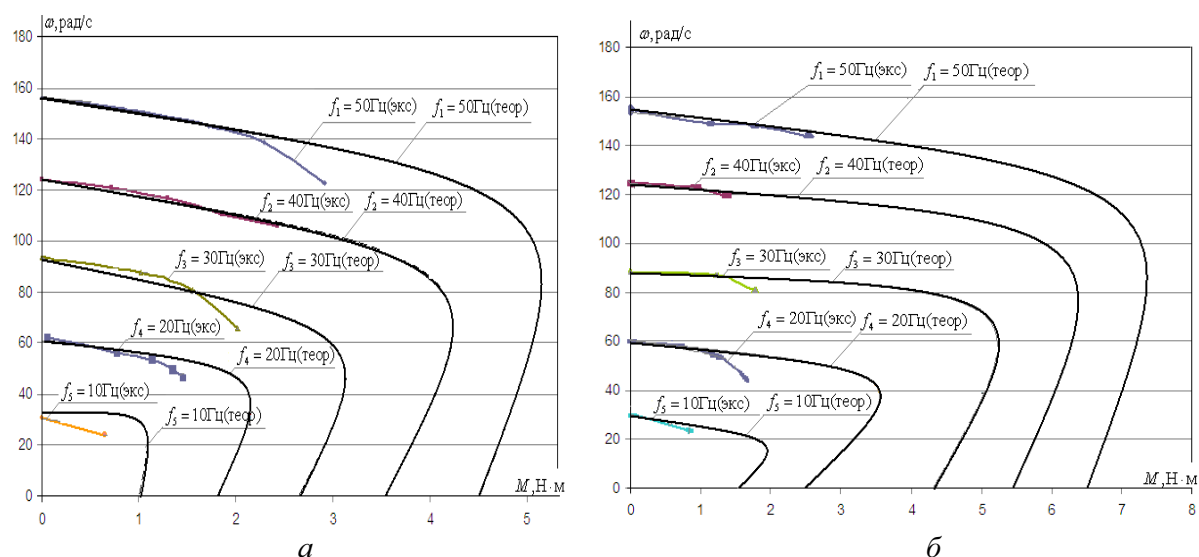


Рис. 4. Механические характеристики ЭП на разных частотах при: а) нормальных условиях (20°C); б) -60°C

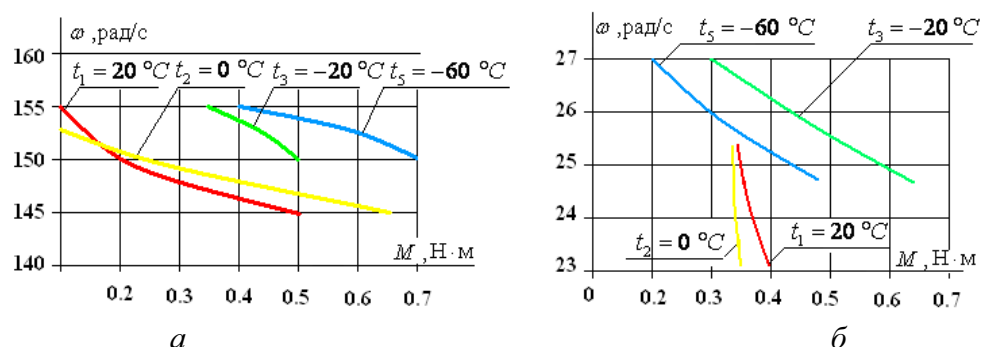


Рис. 5. Зависимость момента потерь от скорости электродвигателя при различных значениях температур от 20 °С до –60 °С при частоте: а) 50; б) 10 Гц

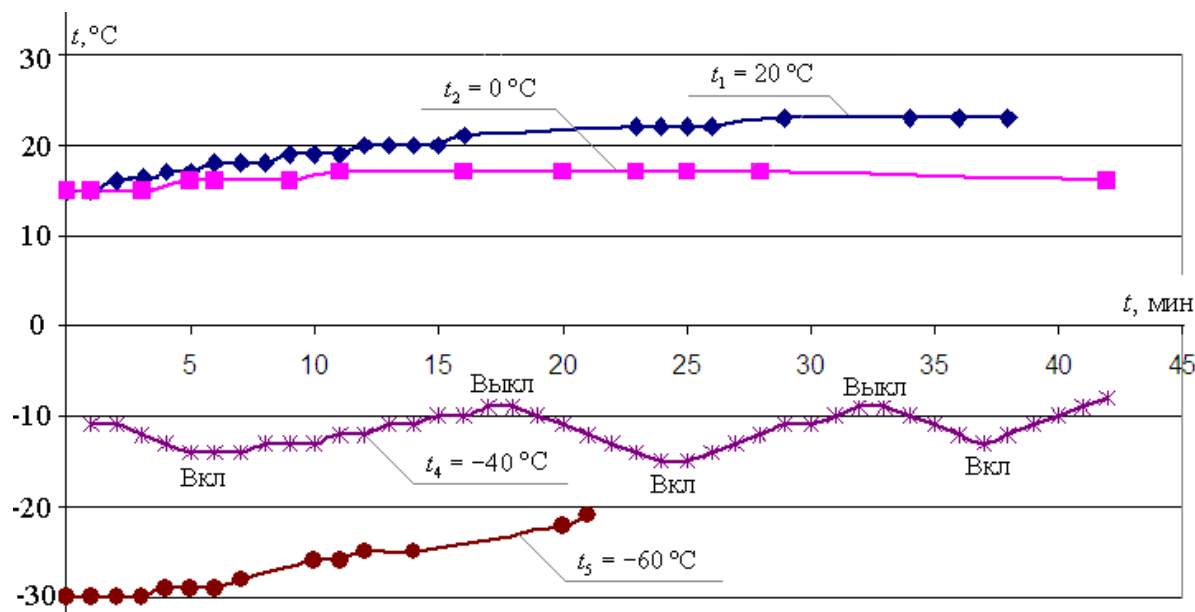


Рис. 6. Температурная зависимость работы электронного блока ESD-VCX

при нагревании до температуры –9 °С. При низких температурах от –20 и до –60 °С подогрев осуществляется непрерывно.

На рис. 6 приведена зависимость температуры электронного блока ESD – VCX от времени срабатывания датчика подогрева.

Выводы

1. Исследована работа асинхронного электродвигателя с электронным блоком управления

ESD-VCX и волновым редуктором в температурном интервале от 20 до –60 °С.

2. Установлено, что при понижении температуры повышается критический и пусковой моменты за счет снижения активных сопротивлений обмоток электродвигателя.
3. Показано, что при уменьшении температуры увеличивается момент нагрузки на валу двигателя за счет увеличения вязкости смазочного материала и изменения физико-механических свойств сопрягающихся элементов редуктора.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мустафин Ф. М. Трубопроводная арматура. – Уфа: ГУП РБ УПК, УГНТУ, 2007. – 326 с.
2. Гошко А.И. Арматура трубопроводная целевого назначения. Выбор. Эксплуатация. Ремонт. – М.: Машиностроение, 2003. – 432 с.
3. Копылов И.П. Математическое моделирование электрических машин. – М.: Высшая школа, 2001. – 274 с.
4. Каракулов А.С., Ланграф С.В. Разработка системы управления электроприводом запорной арматуры методом разделения ма-

тематических моделей объектов управления // Известия вузов. Электромеханика. – 2006. – № 3. – С. 54–56.

5. Шрейнер Р.Т. Математическое моделирование электроприводов переменного тока с полупроводниковыми преобразователями частоты. – Екатеринбург: УРО РАН, 2000. – 654 с.

Поступил 01.09.2007 г.