

УДК 621.313.2

Б.Ю. Щербина, студент гр. 5ГЗА (ЭНИН НИ ТПУ)

Научный руководитель А.О. Смирнов, к.т.н., доцент (ЭНИН НИ ТПУ)

г. Томск

E-mail:smirao2005@rambler.ru.

ПОВЫШЕНИЕ РАБОТОСПОСОБНОСТИ АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА ТРУБОПРОВОДНОЙ АРМАТУРЫ ПРИ НИЗКИХ ТЕМПЕРАТУРАХ

Рассмотрено влияние отрицательной температуры окружающей среды на параметры асинхронного электропривода с волновым редуктором. Предложено звено коррекции в системе управления приводом, которое позволит корректировать выходное значение моментной составляющей в регуляторе скорости. Даны рекомендации по улучшению динамических характеристик электропривода при низких температурах окружающей среды.

Ключевые слова: асинхронный электропривод, волновой редуктор, низкие температуры.

Key words: asynchronous electric drive, wave reducer, low temperatures.

Системы управления электроприводов (ЭП) в настоящее время обеспечивают бесперебойную и надёжную работу механизмов во многих областях техники. Функциональные возможности современных ЭП во многом определяются характеристиками применяемых систем управления, а также параметрами силовой части.

Наибольшее распространение получил асинхронный ЭП с микропроцессорным управляющим устройством, позволяющим организовать регулирование выходных переменных в широком диапазоне, с высоким быстродействием и точностью.

Актуальной на сегодняшний день является задача повышения работоспособности асинхронного ЭП запорной трубопроводной арматуры (ЗТА) с целью достижения эксплуатационных характеристик при низких температурах окружающей среды.

Условия эксплуатации, особенно температура окружающей среды, оказывает определяющее влияние на работоспособность и ресурс работы ЭП не только силового преобразователя и асинхронного двигателя, но и редуктора задвижки запорной арматуры.

Таким образом, для обеспечения устойчивой работы электропривода запорной арматуры в широком диапазоне температуры окружающей среды необходимо учитывать изменение параметров редуктора и асинхронного двигателя.

В данной статье проведен анализ области исследований, рассмотрены особенности конструкции и эксплуатации асинхронных электроприводов трубопроводной арматуры магистральных нефтепроводов, работающих в диапазоне температур от +20°C до -60°C.

Определены такие основные требования к запорной трубопроводной арматуре линейной части магистральных трубопроводов, как минимальное гидравлическое сопротивление полностью открытой арматуры; легкость срабатывания после длительной эксплуатации в открытом положении; высокая надежность; долговечность; безотказность; герметичность затвора и всех уплотнений; коррозийная стойкость.

При низких температурах окружающей среды наиболее интенсивным видом разрушения поверхности конструкции ЗТА является износ, поэтому необходимо искать пути повышения долговечности деталей, работающих в условиях этого вида изнашивания.

В таблице 1 приведены основные критерии качества электроприводов, согласно ГОСТ 51137-98, следующих фирм: ООО НПО «СибМаш» (г. Томск), AUMA (Германия), ТЭП (г. Тула), ROTORK (Германия), работающих при температуре окружающей среды -60°C.

Таблица 1. Основные критерии качества различных марок электроприводов

марки электроприводов	«ГУСАР» (СибМаш)	«AUMA» (AUMA)	«ТЭП» (ТЭП)	«ROTORK» (ROTORK)
показатели:				
время разгона, с	3	5	12	7
точность, %	5%	10%	20%	10%
температурный диапазон работы	от -50 до +50	от -40 до +70	от -45 до +50	от -40 до +70

Таким образом, проведенные исследования показали, что электропривод «ГУСАР» производства ООО НПО «СибМаш» подходит для дальнейших исследований, т.к. обладает оптимальными критериями качества в отличие от электроприводов фирм AUMA, ТЭП и ROTORK. Для учета температуры внешней среды необходимо разработать математическую модель электропривода трубопроводной арматуры, которая достаточно адекватно отражает его характеристики в температурном диапазоне от +20°C до -60°C.

Также необходимо произвести расчет параметров схемы замещения асинхронного двигателя электропривода, математическое

моделирование АД с учетом эффекта вытеснения токов в стержнях ротора и расчет кривой потерь, возникающих в механической части ЭП при изменении температуры окружающей среды.

Для большинства случаев приемлемыми являются методы определения параметров АД на основании его справочных данных.

При расчете электромеханических и механических характеристик АД необходимо воспользоваться его математической моделью, которая в общем случае представляется различными схемами замещения. Наиболее простой и удобной для расчетов АД является Т-образная схема замещения, представленная на рис. 2.

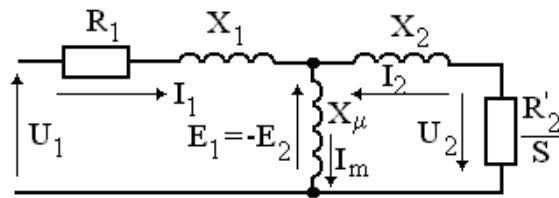


Рис.2. Схема замещения АД

Основные уравнения АД, соответствующие принятой схеме замещения, с параметрами, зависящими от температуры окружающей среды:

$$\bar{U}_1 - \bar{E}_1 - j \cdot X_1(T) \cdot \bar{I}_1 - R_1(T) \cdot \bar{I}_1 = 0 \quad (1)$$

$$\bar{E}_1 + j \cdot X_2'(T) \cdot \bar{I}_2' + R_2'(T) \cdot \bar{I}_2' / s = 0 \quad (2)$$

$$\bar{I}_1 + \bar{I}_2' - \bar{I}_0 = 0 \quad (3)$$

где: \bar{U}_1 – вектор фазного напряжения; s - номинальное скольжение; \bar{I}_1 – вектор тока обмотки статора двигателя при частичной загрузке; \bar{I}_2' – вектор тока обмотки ротора двигателя при частичной загрузке; R_1 , Ом – активное сопротивление обмотки статора; R_2' , Ом - активное сопротивление обмотки ротора; \bar{I}_0 – ток холостого хода АД; X_1 , - индуктивное сопротивление рассеяния фазы статорной обмотки; X_2 , - индуктивное сопротивление рассеяния фазы роторной обмотки; E_m , В – Э.Д.С. ветви намагничивания, созданная магнитным потоком в воздушном зазоре обмоткой статора.

В уравнениях (1) и (2) присутствуют параметры, которые изменяются в процессе изменения температуры, а именно R_2' , X_1 , X_2 . В соответствии с уравнениями (1), (2) получена зависимость активного сопротивления роторной обмотки АД от частоты и температуры окружающей среды (рис. 3).

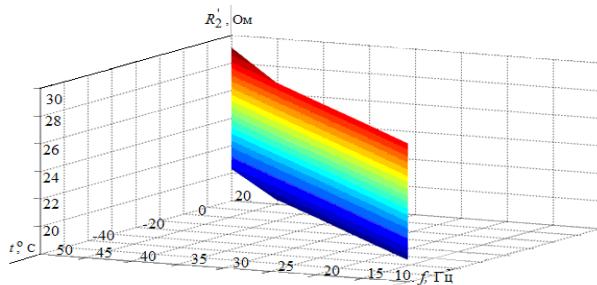


Рис. 3. Зависимость изменения активных сопротивлений статора и ротора от температуры окружающей среды и изменением частоты питающей сети
■ - $+20^{\circ}\text{C}$, ■ - 0°C , ■ - -20°C , ■ - -60°C

На основе уравнений (1), (2), (3) создана структурная схема АД с корректировкой его параметров и учетом температуры окружающей среды (рис. 4). Результаты моделирования в виде графиков переходных процессов сгруппированы отдельно для скорости и момента асинхронного электродвигателя (рис. 5, рис. 6).

В результате проведения теоретических и экспериментальных исследований время переходных процессов уменьшается при снижении температуры (таблица 2).

Таблица 2. Время переходного процесса при пуске АД в зависимости от температуры

T	20°C	0°C	-20°C	-40°C	-60°C
$t_{\text{пп}}, \text{s}$	0.432	0.409	0.388	0.386	0.355
$M_{\text{уст}}, \text{Нм}$	1.59				

Это происходит благодаря увеличению момента, развиваемого на валу АД вследствие уменьшения активного сопротивления ротора.

В качестве аппроксимирующих кривых были взяты кривые потерь в редукторе, полученные экспериментальным путем в температурном диапазоне от $+20^{\circ}\text{C}$ до -60°C и рассчитанные с помощью метода кусочно-линейной аппроксимации (рис.8, рис.9).

В электроприводе «»ГУСАР» нагрузочным звеном в механической части является редуктор волнового типа. Нагрузочную характеристику волнового редуктора необходимо производить по принципу расчета кривой потерь, который основывается на уравнении вида

$$M_{\text{ред}i}(M_{\text{ад}i}) = \frac{(M_{\text{ред}1} - M_{\text{ред}2}) \cdot (M_{\text{ред}i} - M_{\text{ред}2})}{M_{\text{ад}1} - M_{\text{ад}2}} + M_{\text{ред}2} \quad (4)$$

где $M_{\text{ад}i}$ – i -е значение момента асинхронного двигателя $M_{\text{ад}}$, $M_{\text{ред}i}$ – i -е значение момента потерь в редукторе волнового типа $M_{\text{потерь}}$, $M_{\text{ад}1}$ $M_{\text{ад}2}$ $M_{\text{ред}1}$ $M_{\text{ред}2}$ – интервальные значения момента асинхронного двигателя и момента потерь в редукторе, соответственно.

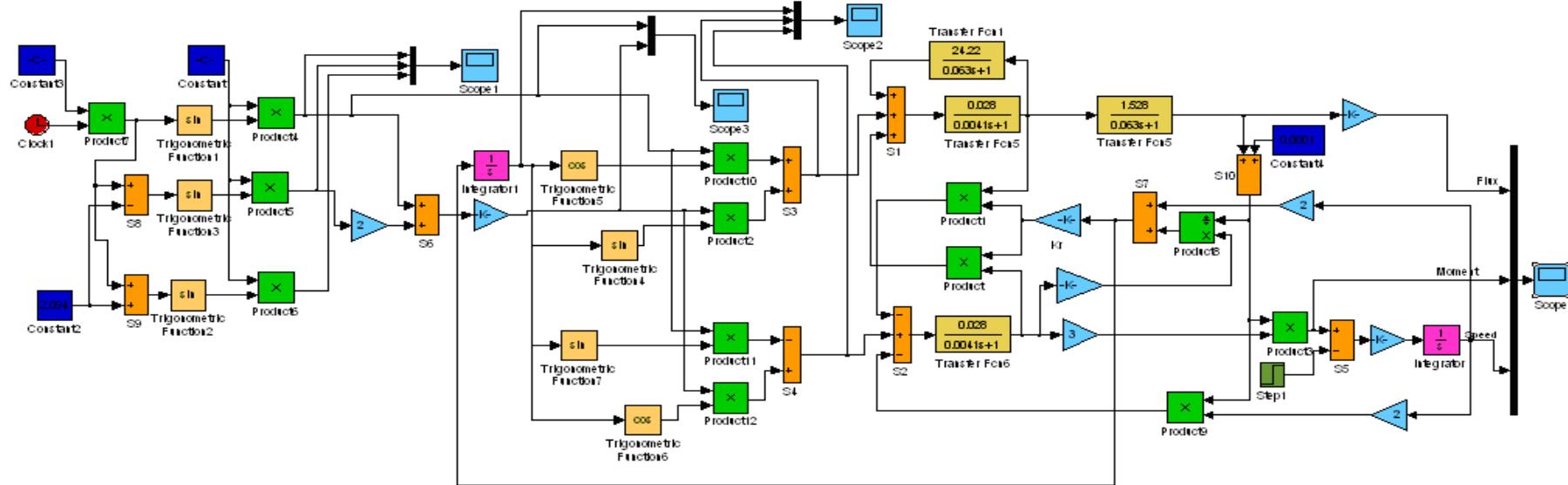


Рис. 4. Имитационная модель АД

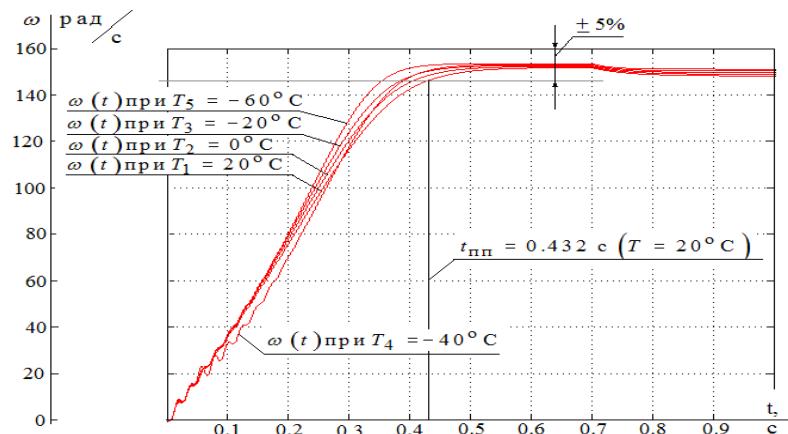


Рис. 5. Переходный процесс по скорости при пуске и набросе нагрузки АД при снижении температуры окружающей среды

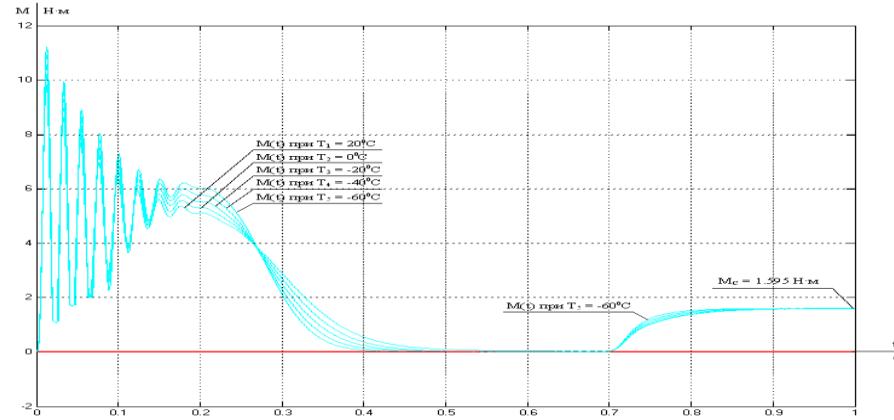


Рис. 6. Переходный процесс по моменту при пуске и набросе нагрузки АД при снижении температуры окружающей среды

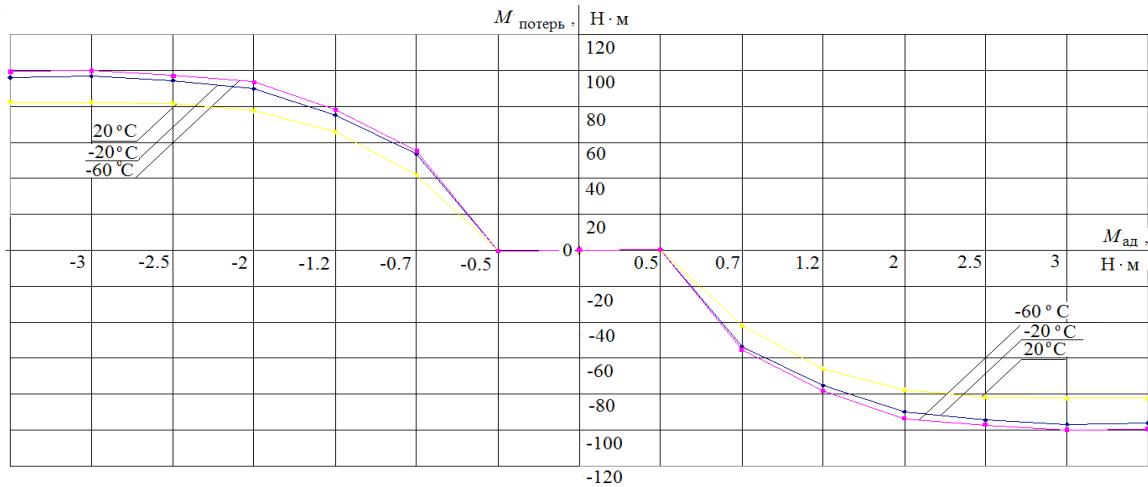


Рис. 7. Кривые потерь, возникающие в волновом редукторе при изменении температуры окружающей среды $M_{\text{потерь}} = f(M_{\text{ад}})$.

На рис. 8. видно, что при введении компенсации по моменту потерь в редукторе, его точность позиционирования резко увеличивается ($M_{\text{уст}} = 1.6 \text{ Н}\cdot\text{м}$), т.е. без компенсации моментная составляющая практически в два раза выше, чем при использовании компенсации ($M_{\text{уст}} = 0.6 \text{ Н}\cdot\text{м}$).

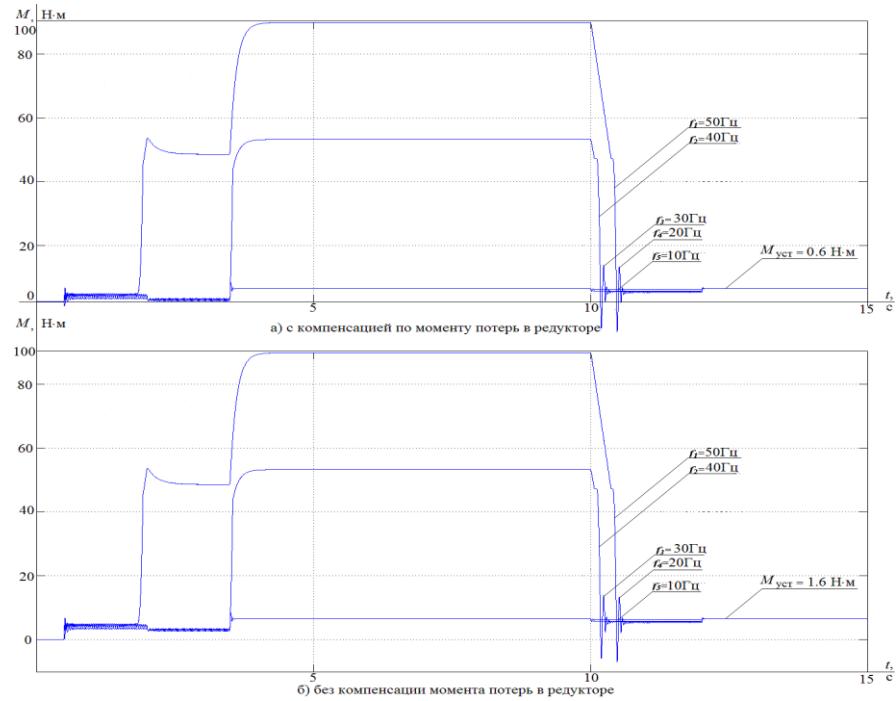


Рис.8. Переходные процессы по моменту на выходе регулятора скорости, а) с компенсацией по моменту потерь в редукторе, б) без компенсации по моменту потерь в редукторе электропривода «ГУСАР» при пуске на холостом ходу, последующем набросе нагрузки полном останове в диапазоне частот от 10 до 50 Гц, при разных значениях температур (от $+20^{\circ}\text{C}$ до -60°C)

Таким образом, предложенное звено коррекции позволяет корректировать выходное значение моментной составляющей в регуляторе скорости. В результате увеличивается точность позиционирования с 10% до 2%.

Анализ графиков переходных процессов, представленных посредством экспериментальных и расчетных данных показал, что на характер изменения момента на выходном валу редуктора при моделировании температуры и частоты оказывают влияние два противоположных процесса различной физической природы, в частности, при понижении температуры повышаются текущий, критический и пусковой моменты за счет уменьшения активных сопротивлений статора и ротора АД.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

1. Созданный алгоритм коррекции и программа расчета параметров регуляторов скорости и тока асинхронного электропривода, которые позволяют учитывать влияние температуры окружающей среды на активное сопротивление обмотки ротора, а также они позволяют обеспечить требуемые показатели качества перемещения рабочего органа трубопроводной арматуры, а именно быстродействие всей системы увеличилось от 0.06496 с до 0.05 с и точность увеличилась с 10% до 2%.

2. Разработанный вариант корректирующего устройства в виде апериодического звена, позволяет сформировать дополнительную составляющую задания электромагнитного момента асинхронного двигателя, что приводит к уменьшению вибраций от 0.9 Н·м, до 0.05 Н·м в механической части электропривода трубопроводной арматуры.

3. Разработанная программа расчета сигнальной величины дополнительного задания на электромагнитный момент с учетом изменения механических потерь в редукторе и температуры окружающей среды в реальном времени на базе контроллера TMS320, которая позволяет учитывать потери, возникающие в редукторе при этом автоматически подстраивать систему управления для получения необходимого сигнала на формирование требуемого момента в режиме реального времени.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мустафин Ф. М. Трубопроводная арматура. Учебное пособие для вузов. – Уфа: ГУП РБ УПК, УГНТУ, 2007. – 326 с.;
2. Копылов И.П. Математическое моделирование электрических машин. – М.: Высшая школа, 2001. – 274 с.

3. Каракулов А.С., Ланграф С.В. Разработка системы управления электроприводом запорной арматуры методом разделения математических моделей объектов управления // Известия ВУЗов. Электромеханика, №3, 2006. С. 54-56.
4. Шрейнер Р.Т. Математическое моделирование электроприводов переменного тока с полупроводниковыми преобразователями частоты. - Екатеринбург: УРО РАН, 2000. - 654 с. Гошко А.И. Арматура трубопроводная целевого назначения. Выбор. Эксплуатация. Ремонт. – М.: Машиностроение, 2003 – 432 с.
5. Бекишев Р.Ф., Ланграф С.В., Смирнов А.О. Влияние низких температур окружающей среды на устойчивую работу электропривода запорной арматуры магистральных трубопроводов //Электроэнергия: от получения и распределения до эффективного использования: Материалы всероссийской научно-технической конференции - Томск, 12-14 мая 2008. - Томск: ТПУ, 2008. - с. 261-263
6. Смирнов А.О. , Букреев В. Г. Повышение работоспособности электропривода при низких температурах. Повышение работоспособности асинхронного электропривода запорной арматуры при низких температурах. - Saarbrucken : LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH & Co. KG, 2012 - 169 с.
7. Langraf S.V., Obraztsov K.V. Optimization of vector control system induction motor drives. Modern techniques and technologies. MTT-2006. Proceedings of the 12-th International Scientific and Practical Conference of Students, Postgraduates and Young Scientists, 27-31 March, 2006 Tomsk, Russia. TPU, – P. 68-70.