

На правах рукописи

Белогусев Владимир Николаевич

**РАЗРАБОТКА ДИНАМИЧЕСКОГО МЕТОДА И
СРЕДСТВА КОНТРОЛЯ МЕХАНИЧЕСКИХ
ПАРАМЕТРОВ АСИНХРОННЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ
ДВИГАТЕЛЕЙ**

05.11.13 – Приборы и методы контроля природной среды,
веществ, материалов и изделий

АВТОРЕФЕРАТ

диссертация на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Томск – 2015

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Поволжский государственный технологический университет» и федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет».

Научный кандидат технических наук, доцент
руководитель: **Егоров Алексей Васильевич**

Официальные Глухов Владимир Иванович, доктор
оппоненты: технических наук, профессор, Омский
государственный технический университет,
заведующий кафедрой «Метрология и
приборостроение»

Чухланцева Марина Михайловна, кандидат
технических наук, доцент, ФБУ
Государственный региональный центр
стандартизации, метрологии и испытаний
«Томский ЦСМ», директор

Ведущая ФГБОУ ВПО «Московский автомобильно-
организация: дорожный государственный технический
университет (МАДИ)»

Защита диссертации состоится «01» декабря 2015 г. в 17.00 на заседании диссертационного совета Д212.269.09 при ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» по адресу: 634028, г. Томск, ул. Савиных, 7, ауд.215

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» по адресу: 634034, г. Томск, ул. Белинского, 55 и на сайте: <http://portal.tpu.ru/council/916/worklist>

Автореферат разослан «15» октября 2015 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета
к. т. н., доцент



Васендина Е.А.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность рассматриваемой проблемы. Сегодня вследствие ограниченных возможностей существующих методов и средств контроля механических параметров существует проблема создания энергоэффективных асинхронных электрических двигателей в широком диапазоне быстроменяющихся скоростных, нагрузочных и переходных режимов работы. Наличие обозначенной проблемы объясняется недостатками применяемых сегодня тормозных методов, которые не позволяют с необходимой точностью получать информацию о механических параметрах асинхронных электрических двигателей во время переходных режимах работы.

Таким образом, на настоящий момент сформировалось противоречие. С одной стороны, необходимо обеспечивать максимальную энергетическую эффективность асинхронных электрических двигателей на всех возможных режимах работы, с другой стороны, существующие методы и средства измерения не позволяют с достаточной точностью проводить контроль механических параметров асинхронных электрических двигателей.

Поэтому необходима разработка метода и средства контроля механических параметров асинхронных электрических двигателей на быстроменяющихся режимах работы.

Степень разработанности темы. Основными механическими параметрами асинхронных электрических двигателей являются: механический коэффициент полезного действия, механическая мощность и вращающий момент на валу двигателя, частота вращения вала и приведенный к оси вращения ротора двигателя момент инерции вращающихся масс с учетом потерь. В процессе эксплуатации, а также в послеремонтный период работы асинхронных электрических двигателей некоторые из механических параметров могут изменяться под воздействием внешней среды (температура, давление, влажность, запыленность), а также параметров питающей сети.

Вопросами разработки методов контроля механических параметров асинхронных электрических двигателей занимались: Л. В. Акимов, О. Д. Гольдберг, Н. Ф. Котельнец, Ю. Г. Борозяк, А. Д. Колесник, О. Л. Литвинов и др.

Объект исследования – асинхронные электрические двигатели.

Предмет исследований – механические параметры асинхронного электрического двигателя (мощность и момент на валу двигателя, приведенный к оси вращения ротора момент инерции вращающихся масс с учетом потерь, механический коэффициент полезного действия).

Цель работы - разработка метода и средства контроля механических параметров асинхронных электрических двигателей, их теоретическое и экспериментальное обоснование.

Для достижения поставленной цели в работе решаются следующие научно-технические задачи:

1. Анализ существующих методов контроля механических параметров асинхронных электрических двигателей и средств на их основе.
2. Разработка динамического метода и средства контроля механических параметров асинхронных электрических двигателей.
3. Сравнение результатов измерений, полученных с помощью разработанного динамического метода контроля механических параметров асинхронных электрических двигателей и с помощью существующих методов контроля.

Методы исследования. При выполнении работы использованы методы теоретического и экспериментального исследования: анализ, синтез, сравнение, математическое и физическое моделирование. Метод контроля механических параметров асинхронных электрических двигателей разработан на основе теории электрических машин, кинематики и динамики вращательного движения.

Достоверность научных положений, выводов и рекомендаций. Обеспечена использованием при решении поставленных задач корректных математических методов, строгостью выполненных математических преобразований.

Обоснованность и достоверность теоретических положений, выводов и рекомендаций подтверждается проведенными расчетами и сопоставлением с известными и опубликованными в научно-технической литературе результатами исследований.

Защищаемые научные положения.

1. Динамический метод контроля приведенного к оси вращения ротора момента инерции вращающихся масс с учетом коэффициента, характеризующего механические и добавочные потери, в асинхронных электрических двигателях;

2. Динамический метод и средство контроля механических параметров асинхронных электрических двигателей;

3. Произведения приведенного к оси вращения ротора момента инерции вращающихся масс асинхронного электрического двигателя и коэффициента, характеризующего потери в асинхронном электрическом двигателе с разложением их по составляющим.

Научная новизна результатов диссертационного исследования состоит в следующем.

1. Предложен динамический метод контроля приведенного к оси вращения ротора момента инерции вращающихся масс асинхронного электрического двигателя с учетом коэффициента, характеризующего механические и добавочные потери.

2. Разработаны метод и методика динамического контроля механических параметров асинхронных электрических двигателей.

3. Разработан аппаратно-программный комплекс, реализующий динамический метод контроля.

Практическая значимость и реализация результатов работы. Разработан динамический метод контроля механических параметров асинхронных электрических двигателей. На базе этого метода создан аппаратно-программный комплекс, который позволяет:

1. повысить надежность выпускаемых асинхронных электрических двигателей за счет повышения качества приемосдаточных испытаний;

2. проводить послеремонтные или плановые испытания асинхронных электрических двигателей без демонтажа на рабочем месте при рабочих параметрах внешней среды двигателя (запыленность, влажность, температура и т. д.);

3. снизить массогабаритные показатели испытательного оборудования до 1-15 килограмм;

4. сократить время контроля механических параметров асинхронного электрического двигателя от нескольких часов до 5-10 минут.

Метод, методика и аппаратно-программный комплекс внедрены в практику диагностирования и послеремонтных испытаний приводных асинхронных электрических двигателей и технологического оборудования на ООО «Поволжский центр неразрушающего контроля», ООО «Интеллектуальные технологии», ООО «Институт перспективных технологий». Теория динамического контроля механических параметров асинхронных электрических двигателей внедрена в магистерскую программу «Технологии инерционного контроля машин и оборудования нефтегазового и энергомашиностроительного комплексов» по направлению 150402 «Технологические машины и оборудование» (Приложения 1-4).

Апробация работы. Основные результаты исследования докладывались и обсуждались на конференциях и семинарах:

1) Всероссийская конференция молодых ученых и специалистов «Будущее машиностроения России», г. Москва, МГТУ им. Баумана 2008 год;

2) XV международная научно-техническая конференция студентов и аспирантов "РАДИОЭЛЕКТРОНИКА, ЭЛЕКТРОТЕХНИКА И ЭНЕРГЕТИКА", » г. Москва, МЭИ 2009 год;

3) 3 Международной научной конференции «Автоматизация в промышленности» в Институте проблем управления им. В.А.Трапезникова РАН » в г. Москва 2009 год;

4) XVIII Научно-техническая конференция ОАО НПЦ «Полюс» «Электронные и электромеханические системы и устройства» г. Томск 2010 год;

5) V международная молодежная научная конференция «Тинчуринские чтения» в Казанском государственном энергетическом университете г. Казань 2010 год.

6) II Всероссийская научно-практическая конференция «Актуальные проблемы машиностроения» г. Самара 2010 год.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 15 научных работы, в том числе четыре статьи в изданиях рекомендованных ВАК, получен патент № 2425342 МПК G01M 1/00 от 27.07.2011.

Личный вклад автора. Автором разработан динамический метод контроля механических параметров асинхронных электрических двигателей, проведены научные эксперименты, обработаны экспериментальные данные, подготовлены публикации и оформлены патенты.

Структура работы: диссертации состоит из введения, четырех глав, заключения, библиографии, приложений. Общий объем диссертации 157 страниц. Работа содержит 19 таблиц, 33 рисунка. Библиография включает 92 наименований. 6 приложений

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность выбранной темы диссертации, сформулированы цель работы и задачи исследования, показана научная новизна практическая значимость полученных результатов, изложены сведения об апробации результатов.

Первая глава посвящена анализу существующих методов и средств контроля механических параметров асинхронных электрических двигателей (далее двигатели). Анализ существующего уровня развития техники показывает, что применяемые в настоящее время методы контроля механических параметров асинхронных электрических двигателей не позволяют с необходимой точностью контролировать механические параметры асинхронных электрических двигателей в переходных режимах работы вследствие косвенности измерений, а средства контроля на

основе этих методов, характеризуются низкой частотой регистрации измеряемых параметров. Поэтому исследования, направленные на разработку методов и средств контроля механические параметры асинхронных электрических двигателей, расширяющих возможности существующих, являются актуальными.

Вторая глава посвящена разработке динамического метода контроля механических параметров асинхронного электрического двигателя.

Реализацию метода поясним на примере асинхронного электрического двигателя, вал которого соединен с потребителем через предохранительную муфту (рисунок 1).

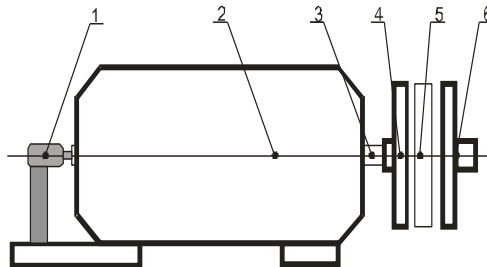


Рисунок 1. Асинхронный электрический двигатель.

где 1- энкодер; 2 – асинхронный электрический двигатель; 3 – вал асинхронного электрического двигателя; 4 - первая полумуфта, 5 – диск с известным моментом инерции (эталонный диск); 6 - вторая полумуфта.

Из муфты вынимаются скрепляющие устройства и удаляется диск с эталонным моментом инерции 5. Запускается двигатель 2 с полумуфтой 4, и определяется среднее значение углового ускорения вала двигателя ε_1 на выбранном скоростном диапазоне, который может находиться в пределах от нуля до номинального значения угловой скорости. Выбор скоростного диапазона зависит от поставленной задачи и средств измерения угловой скорости. При этом значение вращающего момента M , который развивает система вращающихся масс «вращающиеся массы двигателя 2, полумуфта 4» определяется как:

$$M = (k_{\text{ном}} \cdot J_{\text{в.м.д}} + J_{\text{муф}}) \cdot \varepsilon_1, \quad (1)$$

где k_{nom} – коэффициент характеризующий механические и добавочные потери в роторе двигателя, $J_{в.м.д}$ - приведенный к оси вращения ротора момент инерции вращающихся масс асинхронного электрического двигателя, кг м², $J_{муф}$ - приведенный к оси вращения ротора двигателя момент инерции полумуфты 4, кг м².

Далее двигатель 2 останавливается. Затем на полумуфту 4 ротора двигателя 2 с помощью скрепляющих элементов закрепляется диск с эталонным моментом инерции 5 J_5 . Двигатель 2 запускается и определяется среднее значение угловой скорости системы вращающихся масс «вращающиеся массы двигателя 2, полумуфта 4 и диск с эталонным моментом инерции 5», на выбранном скоростном диапазоне ε_2 . Величина вращающего момента M , который развивает система вращающихся масс «вращающиеся массы двигателя 2, полумуфта 4 и диск с эталонным моментом инерции 5», определяется как:

$$M = (k_{nom} \cdot J_{в.м.д} + J_{муф} + J_5) \cdot \varepsilon_2 \quad (2)$$

Поскольку при первом и втором запуске потери в статоре и роторе двигателя остаются неизменными (так как не меняется напряжение, частота питающей сети и температура двигателя (сопротивление обмоток статора)), следовательно, механическая характеристика двигателя 2 не меняется. Поэтому правые части выражений (1) и (2) приравниваются и определяется приведенный к оси вращения ротора момент инерции вращающихся масс асинхронного электрического двигателя с учетом коэффициента, характеризующего потери:

$$k_{nom} \cdot J_{в.м.д} = J_5 \cdot \frac{\varepsilon_2}{\varepsilon_1 - \varepsilon_2} - J_{муф} \quad (3)$$

В отличие от традиционного динамического метода, ввели коэффициент, характеризующий потери, который включает в себя:

$$k_{nom} = (1 + k_1 + k_2), \quad (4)$$

где k_1 - коэффициент, характеризующий механические потери, k_2 – коэффициент, характеризующий добавочные потери. В том случае если механические и добавочные потери равны нулю, коэффициент, характеризующий потери, равен единице.

Приведенный к оси вращения ротора момент инерции вращающихся масс асинхронного электрического двигателя состоит из:

$$J_{в.м.д.} = J_{рот} + J_{под} + J_{вент}, \quad (5)$$

где $J_{рот}$ - приведенный к оси вращения ротора момент инерции ротора асинхронного электрического двигателя; $J_{под}$ - приведенный к оси вращения ротора момент инерции 2-х внутренних колец опорных подшипников и их тел качения, $J_{вент}$ - приведенный к оси вращения ротора момент инерции вентилятора.

Вращающий момент на валу асинхронного электрического двигателя M_2 :

$$M_2 = (J_{в.м.д.} + J_{муф}) \cdot \varepsilon, \quad (6)$$

Механическая мощность на валу асинхронного электрического двигателя:

$$P_2 = M_2 \cdot \omega = (J_{в.м.д.} + J_{муф}) \cdot \varepsilon \cdot \omega, \quad (7)$$

Механический коэффициент полезного действия асинхронного электрического двигателя:

$$\begin{aligned} \eta_{мех} &= \frac{P_2}{P_3} = \frac{(J_{в.м.д.} + J_{муф}) \cdot \varepsilon \cdot \omega}{((1 + k_1) \cdot J_{в.м.д.} + J_{муф}) \cdot \varepsilon \cdot \omega} = \\ &= \frac{J_{в.м.д.} + J_{муф}}{(1 + k_1) \cdot J_{в.м.д.} + J_{муф}} \end{aligned} \quad (8)$$

где P_3 – это сумма механической мощности на валу двигателя P_2 и мощности механических потерь.

На представленный выше метод определения приведенного к оси вращения ротора момента инерции вращающихся масс асинхронного электрического двигателя с

учетом потерь получен патент на изобретение РФ.

Третья глава посвящена разработке средства контроля механических параметров асинхронных электрических двигателей.

Для контроля механических параметров асинхронного электрического двигателя, разработан аппаратно-программный комплекс (АПК). АПК предназначен для контроля двигателей переменного тока мощностью до 90 кВт при напряжении питающей сети до 400 В (рисунок 2). Прибор имеет три аналоговых (напряжение в трех фазах) и четыре цифровых (токи в трех фазах и энкодер) измерительных канала. Оценка электрических параметров необходима для контроля идентичности подвода энергии при первом и втором запуске. При вращении ротора двигателя в энкодере формируется цифровой сигнал. Цифровые сигналы с датчиков поступают в аппаратно-программный комплекс (АПК) и накапливаются во Flash-памяти до конца измерения. После окончания измерения данные из Flash-памяти поступают в персональный компьютер (ПК) и обрабатываются терминальной программой, установленной на ПК.

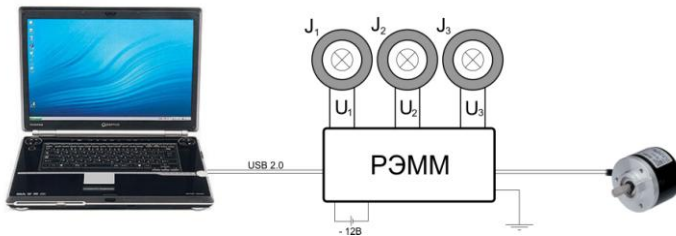


Рисунок 2. Структура АПК динамического контроля асинхронных электрических двигателей.

В терминальной программе на ПК осуществляется математическая обработка массива данных, вычисление угловых скоростей, ускорений ротора двигателя, и производится контроль механических параметров по методике, приведенной во второй главе. На рисунке 3 представлена блок-схема терминальной программы АПК.

Разработана методика контроля механических

параметров асинхронных электрических двигателей динамическим методом, руководство по эксплуатации АПК, технические условия на его производство.

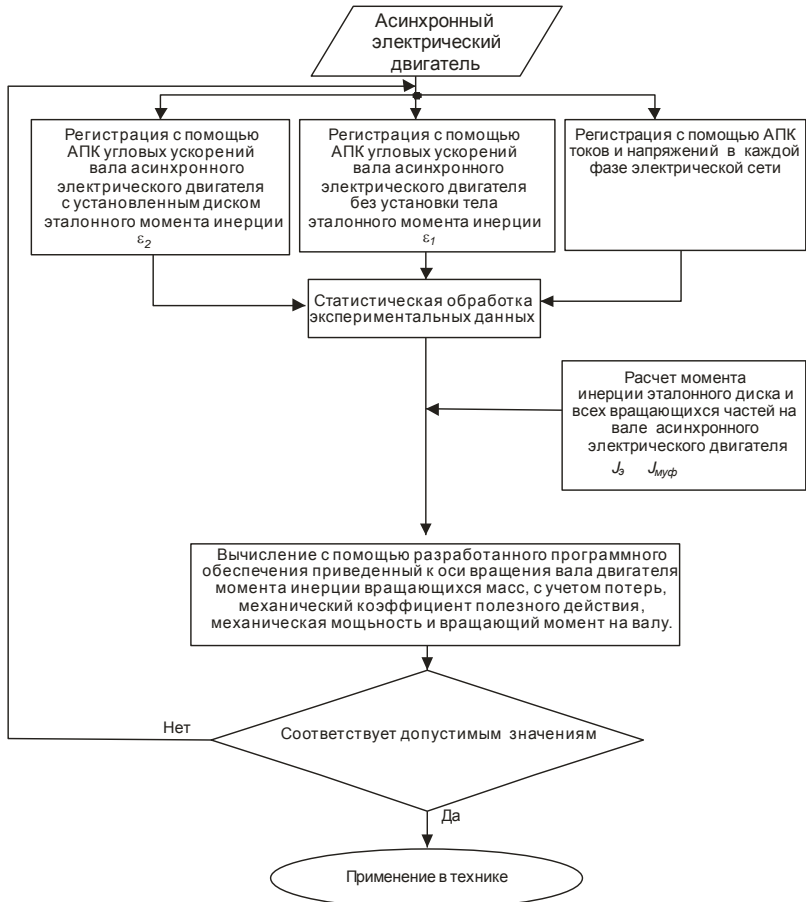


Рисунок 3. Блок-схема терминальной программы АПК для динамического контроля механических параметров асинхронного электрического двигателя.

Четвертая глава посвящена сравнению результатов контроля, полученных с помощью разработанного динамического метода контроля механических параметров

асинхронных электрических двигателей и с помощью существующих методов контроля. Для этого используются три двигателя производства ОАО «Элдин» А71В2 (2800 об/мин, мощность 0,55 кВт), А71А4 (1410 об/мин, мощность 1,1 кВт), А80А6 (930 об/мин, мощность 0,75 кВт). Опыт первых экспериментальных запусков этих двигателей в трехфазном режиме показал, что параметры питающей сети стремительно меняются, возникает перекося фаз, что приводит к низкой точности контроля. Чтобы повысить точность контроля механических параметров асинхронных электрических двигателей необходимо перевести питание двигателей с трехфазного в однофазный режим.

В начале определяются приведенные к оси вращения ротора моменты инерций вращающихся масс двигателя существующими методами (ротора и вентилятора - методом крутильных колебаний по ГОСТ 11828-86, подшипников - расчетным путем).

Далее разработанным динамическим методом определяются приведенные к оси вращения ротора моменты инерции вращающихся масс асинхронных электрических двигателей с учетом потерь. Затем определяются произведение приведенного к оси вращения ротора момента инерции вращающихся масс асинхронного электрического двигателя и коэффициента, характеризующего механические потери $k_1 \cdot J_{в.м.д.}$; произведение приведенного к оси вращения ротора момента инерции вращающихся масс асинхронного электрического двигателя и коэффициента, характеризующего добавочные потери $k_2 \cdot J_{в.м.д.}$ (Таблица 1 и Рисунок 4).

Таблица 1 – Значения моментов инерции вращающихся масс, с учетом коэффициентов характеризующих потери в асинхронных электрических двигателях

Значения, кг·м ²	Тип двигателя		
	А71В2	А71А4	А80А6
$k_{ном} \cdot J_{в.м.д.}$	0,0008782	0,0012187	0,00392
$J_{в.м.д.}$	0,0008302	0,0011301	0,00361
$k_2 \cdot J_{в.м.д.}$	0,00000104	0,00000225	0,00007501
$k_1 \cdot J_{в.м.д.}$	0,00004696	0,00008635	0,00023499

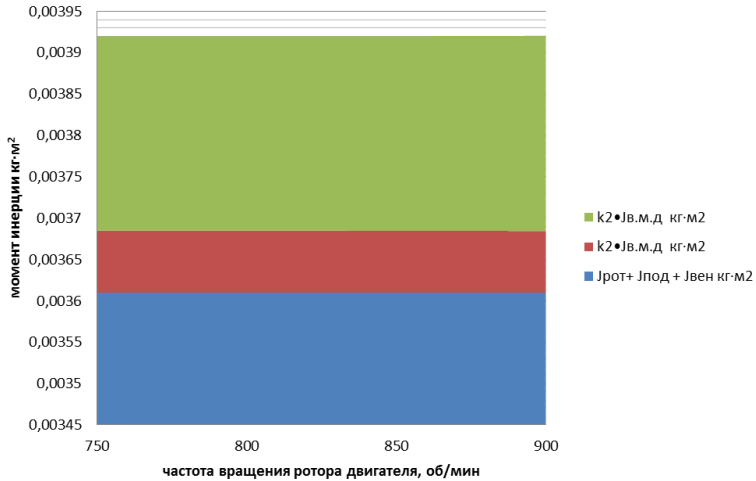


Рисунок 4. Диаграмма разложения $k_{nom} \cdot J_{в.м.д}$ двигателя А80А6 по составляющим от частоты вращения ротора в диапазоне от 750 до 900 об/мин.

Проверка АПК на достоверность получаемых результатов осуществлялась следующим образом. В систему вращающихся масс асинхронного электрического двигателя добавлялся «паразитный» диск. Затем разработанным динамическим методом производится определение приведенного к оси вращения ротора момента инерции вращающихся масс системы «асинхронный электрический двигатель + «паразитный» диск» и определялась разница между моментом инерции вращающихся масс до прибавления «паразитного» диска и после (Таблица 2).

Сравнительные испытания показали, что приведенный к оси вращения ротора момент инерции испытуемых асинхронных электрических двигателей увеличился на величину «паразитного» момента инерции. При этом точность определения момента инерции вращающихся масс «паразитного» диска составила 97% и более. Полученные значения подтверждают достоверность результатов, получаемых с помощью разработанного средства контроля механических

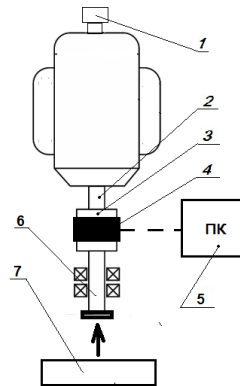
параметров асинхронных электрических двигателей.

Таблица 2 Сравнение значений моментов инерции «паразитного» диска, полученных динамическим методом и расчетным путем

Среднее значение	Тип двигателя		
	A71B2	A71A4	A80A6
Расчетное $J_{n.д.}$ кг·м ²	0,002465	0,002465	0,002465
$k_{ном} \cdot J_{в.м.д.}$ кг·м ²	0,0008782	0,0012187	0,00392
$k_{ном} \cdot J_{в.м.д.} + J_{n.д.}$ кг·м ²	0,0034157	0,003662	0,006341
Экспериментальное $J_{n.д.}$ кг·м ²	0,0025375	0,0024433	0,002421
Точность определения $J_{n.д.}$ %	97	99	98

Для сравнения значений вращающих моментов, полученных с помощью разработанного динамического метода и с помощью существующего тензометрического метода посредством датчика вращающего момента типа М40-10 во время разгона двигателя А80А6, работающего в однофазном режиме, был проведен следующий эксперимент. На рисунке 5 представлена схема подключения датчика вращающего момента к асинхронному электрическому двигателю.

Рисунок 5 – Схема контроля вращающего момента двигателя динамическим и тензометрическим методом: 1 – энкодер; 2- ведущий вал электродвигателя; 3 – предохранительная муфта; 4 – датчик вращающего момента М40-10; 5 – персональный компьютер с установленной программой обработки данных; 6 – ведомый вал с соединительной полумуфтой; 7 – эталонный диск.



Поскольку датчик вращающего момента измеряет вращающий момент в том месте, где он установлен, то в условиях данного эксперимента определяется вращающий момент, равный разнице значения момента на валу привода и момента, необходимого для приведения во вращение системы вращающихся масс, расположенной до датчика. Определим значение вращающего момента измеряемого датчиком с помощью динамического метода по формуле (9) и сравним с показаниями датчика вращающего момента:

$$M = M_{\text{привода}} - k_{\text{ном}} \cdot J_{\text{вчд}} \cdot \varepsilon \quad (9)$$

где $J_{\text{вчд}}$ – момент инерции вращающихся масс системы до датчика вращающего момента «ротор асинхронного электродвигателя, вентилятор двигателя, подшипниковые узлы двигателя, полумуфта»; ε – угловое ускорение электропривода; $M_{\text{привода}}$ – вращающий момент однофазного асинхронного электродвигателя А80А6.

Определим зависимость вращающего момента от угловой скорости однофазного асинхронного электрического двигателя А80А6 с инерционным диском $0,003646 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$. Для наглядности построим графики моментных характеристик.

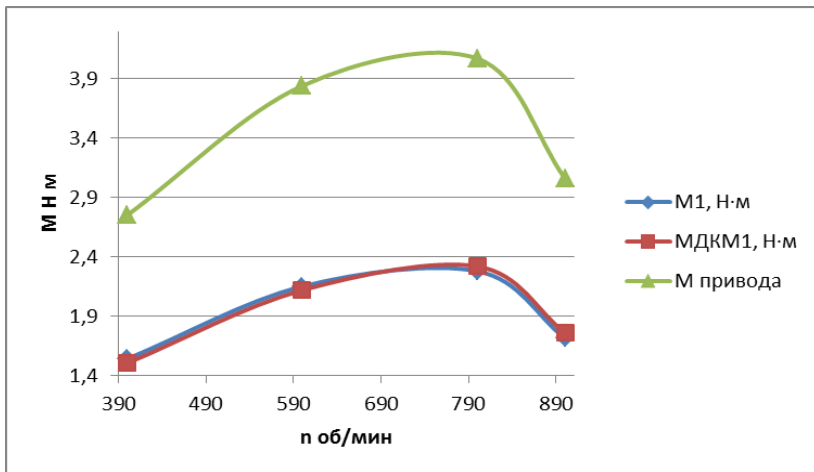


Рисунок 6. – Зависимость вращающего момента от угловой скорости однофазного асинхронного электрического двигателя

А80А6 с инерционным диском №1 с моментом инерции, равным $0,003646 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$, M_1 – вращающий момент электропривода; $M_{ДКМ1}$ – вращающий момент электропривода, определяемый датчиком вращающего момента М40 в месте установки на привод, который нагружен инерционным диском №1.

Из рисунка 6 видно, что значения вращающего момента, полученные динамическим методом и с помощью датчика вращающего момента, отличаются с максимальной относительной погрешностью, равной 2,6 %, что является показателем высокой сходимости результатов измерений, полученных существующим и разработанным методом, и, как следствие, возможности применения динамического метода для контроля механических параметров асинхронных электрических двигателей.

Основные выводы:

1. Анализ существующего уровня развития техники показывает, что применяемые в настоящее время методы контроля механических параметров асинхронных электрических двигателей не позволяют с необходимой точностью контролировать механические параметры асинхронных электрических двигателей в переходных режимах работы вследствие косвенности измерений, а также характеризуются низкой частотой регистрации измеряемых параметров. Поэтому исследования, направленные на разработку методов контроля, расширяющих возможности существующих методов и средств, являются актуальными.
2. Разработаны динамический метод, методика и средство для контроля приведенного к оси вращения ротора момента инерции вращающихся масс асинхронных электрических двигателей с учетом потерь и механических параметров асинхронных электрических двигателей в широком диапазоне частот вращения, позволяющие проводить контроль без демонтажа двигателя.
3. Впервые определена доля каждого вида потерь (механических, добавочных) в системе вращающихся масс асинхронного электрического двигателя, выраженная величиной приведенного к оси вращения ротора асинхронного

электрического двигателя момента инерции вращающихся масс с учетом потерь.

4. Экспериментально доказана достоверность получаемых значений приведенного к оси вращения ротора момента инерции вращающихся масс асинхронных электрических двигателей с учетом потерь с помощью разработанного АПК с максимальной относительной погрешностью 3 %.

5. По результатам сравнительного контроля вращающих моментов асинхронных электрических двигателей, определяемых с помощью разработанного динамического и существующего тормозного методов доказана сходимость результатов с максимальной относительной погрешностью, равной 2,6 %.

Публикации в журналах по списку ВАК

1. Белогусев В. Н. Бестормозное определение эффективных характеристик электрических двигателей вращательного действия / А.В. Егоров, В.Н. Белогусев // Контроль и диагностика. – 2010. – №7. – С.66-72.

2. Белогусев В. Н. Инерционный метод оценки мощности механических потерь в асинхронном зубчатом электроприводе / А.В. Егоров, В.Н. Белогусев, // Ремонт, восстановление, модернизация. – 2011. - №6. - С.34-37.

3. Белогусев В. Н. Определение коэффициента полезного действия асинхронных электрических машин с помощью эталонного момента инерции / А.В. Егоров В.Н. Белогусев // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2010. – Том 12 (33) №1(2). - С.349-353.

4. Белогусев В. Н. Инерционный метод контроля качества цепных передач / А.В. Егоров В.Н. Белогусев, К.Э. Козлов // Политематический сетевой электронный журнал кубанского государственного аграрного университета – Краснодар, 2013. - №88 – С.140-154.

Основное содержание диссертации отражено в следующих работах:

1. Белогусев В. Н. Бестормозной способ определения момента инерции электрического двигателя / А.В.

Егоров, В.Н. Белогусев // Будущее машиностроения России: Сборник трудов Всероссийской конференции молодых ученых и специалистов. – М.: МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2008. – С.207-208.

2. Белогусев В. Н. Диагностирование эффективных показателей электрических двигателей, работающих в составе приводов / А.В. Егоров, В.Н. Белогусев // РАДИОЭЛЕКТРОНИКА, ЭЛЕКТРОТЕХНИКА И ЭНЕРГЕТИКА: XV международная научно-техническая конференция студентов и аспирантов: Тез. докл. В 3-х т. Т. 2. М.: издательский дом МЭИ, 2009. – С.58-60.

3. Белогусев В. Н. Диагностирование эффективных показателей электрических двигателей / А.В. Егоров, В.Н. Белогусев // Автоматизация в промышленности: III Международной научной конференции: Тез. докл. . М.: Институте проблем управления им. В.А.Трапезникова РАН, 2009. – С.105-110.

4. Белогусев В. Н. Испытание асинхронного двигателя без демонтажа с помощью АПК «Омид» / А.В. Егоров, В.Н. Белогусев, С.В. Зверев, А.Г. Демьянов // Материалы докл. V молодежной Международной науч. конф. «Тинчуринские чтения» / Под общ. ред. д-ра физ.-мат. наук, проф. Ю.Я. Петрушенко. В 4т.; Т.3 – Казань, Казанский Государственный Энергетический Университет. – 2010. – С.52-54.

5. Белогусев В. Н. Определение потерь и КПД асинхронного двигателя с помощью АПК «Омид» / А.В. Егоров, В.Н. Белогусев, С.В. Зверев, А.Г. Демьянов // Электронные и электромеханические системы и устройства: Тез. докл. XVIII науч.-техн. конф. ОАО «НПЦ» Полус». – Томск: ООО «Печатная мануфактура». - 2010 – С.154-156.

6. Пат. 2425342 Российская Федерация, МПК G01M 1/00. Способ определения момента инерции электрического двигателя [Текст]/ А.В. Егоров, В.Н. Егоров, В.Н. Белогусев; заявитель и патентообладатель А.В. Егоров, В.Н. Егоров, В.Н. Белогусев. Заявл. 03.07.2008; опубл. 27.07.2011, Бюл. №21.

Подписано в печать 16.10.2015. Формат 60×84¹/₁₆. Усл. печ. л. 1,0. Тираж 100 экз. Заказ № 5684.

Отпечатано в редакционно-издательском центре ПГТУ. 424006, Йошкар-Ола, ул. Панфилова, 17