DOI: 10.24892/RIJIE/20250308

Испытания электродвигателя постоянного тока с планетарным редуктором MY28GP-385*

Девяшин Ф.Е., Митюшов Е.А.
Уральский федеральный университет имени первого президента России Б.Н. Ельцина
г. Екатеринбург, Российская Федерация
filippmetrolog@yandex.ru

Аннотация. **В статье представлены результаты исследования, направленного на определение естественной механической характеристики электродвигателя постоянного тока с планетарным редуктором MY28GP-385. На основании технических параметров, предоставленных поставщиком, была построена расчетная естественная механическая характеристика. Расчеты выполнялись с использованием математической модели, учитывающей механические свойства мотор-редуктора. Валидация математической модели и верификация технических параметров были выполнены посредством экспериментального подхода. Экспериментальная часть включала создание испытательного стенда и применение средств измерения для фиксации действительных значений, таких основных параметров как крутящий момент силы, частота вращения и потребляемый ток электродвигателем. Проведенный сравнительный анализ расчетной естественной механической характеристики и значений, полученных во время стендовых испытаний, позволил выявить значительные расхождения между заявленным и действительным значением номинального крутящего момента силы. Используя математическую модель были определены действительные значения номинальных параметров (крутящий момент силы, частота вращения, сила тока) мотор-редуктора, для которых соответствует наименьшее значение среднеквадратичного отклонения. Исследование имеет практическую значимость при решении задач, связанных с выбором электропривода.**

Ключевые слова: **электродвигатель постоянного тока, математическое моделирование, испытания, верификация, валидация.**

Введение

Электродвигатели постоянного тока широко применяются в машиностроении для решения задач, в которых предъявляются специфические требования к конструкции, такие как небольшие размеры и высокая удельная мощность, простота управления (изменение скорости, реверсирование), высокий пусковой момент и низкое электропотребление для систем где требуется автономная работа. Схожие преимущества данного типа электродвигателя были отмечены в работе [1].

Распространение коллекторных электродвигателей, несмотря на очевидные преимущества бесщеточных, было связано в первую очередь со сложностью коммутации. В коллекторных электродвигателях, коммутация осуществляется механически [2, 3]. Щетки передают ток на коллектор, который переключает направление тока в обмотках якоря. В бесщеточных электродвигателях, отсутствует механический коллекторно-щеточный узел, а переключение фазных токов происходит с помощью электронной коммутации. Это делает бесщеточные электродвигатели более долговечными, энергоэффективными и управляемыми по сравнению с традиционными коллекторными электродвигателями. Метод управления таким двигателем, с применением контроллера был рассмотрен в работе автора [4].

Целью данной работы является проведение верификации технических характеристик электродвигателя с планетарным редуктором MY28GP-385, заявленных поставщиком. Проверка соответствия проводится экспериментальным методом, похожий метод описан в работах [5, 6], при нормальных условиях эксплуатации, исключающих негативное воздействие окружающей среды [7]. Особое внимание уделяется выявлению возможных отличий между заявленными и реальными значениями номинального крутящего момента силы.

Для достижения поставленной цели, определены следующие задачи:

1. Используя уравнение естественной механической характеристики, определить расчетные значения.
2. Разработать стенд, позволяющий провести испытания, в ходе которых будут определены фактические значения электродвигателя.
3. Провести сравнительный анализ расчётных и полученных значений во время испытаний.

Электродвигатель постоянного тока с планетарным редуктором MY28GP-385

Конструкция электродвигателя постоянного тока с планетарным редуктором модели MY28GP-385, представлена на рис. 1.

Рис. 1. Внешний вид электродвигателя постоянного тока с планетарным редуктором MY28GP-385

* Статья публикуется по рекомендации программного комитета Всероссийской научно-технической конференции "Пром-Инжиниринг", https://icie-rus.org

На валу электродвигателя размещена солнечная шестерня, которая обеспечивает передачу вращения на планетарный редуктор и на выходной вал. Крепление редуктора к корпусу электродвигателя осуществляется посредством длинных винтов.

Для размещения мотор-редуктора применяется кронштейн. Технические параметры, предоставлены поставщиком и приведены в табл. 1.

Таблица 1

Технические параметры

Наименование параметра	Значение
Мотор-редуктор	
Частота вращения холостого хода, об/мин	53
Номинальная скорость, об/мин	40
Номинальный крутящий момент силы, Нм (кгс·см)	1,275 (13)
Номинальный ток, А	1
Номинальная мощность, Вт	12
Предельный крутящий момент силы, Нм (кгс·см)	7,845 (80)
Предельный ток, А	3,5
Предельная мощность, Вт	28
Электродвигатель	
Габаритные размеры (ДхШхВ), мм	38x28x28
Частота вращения электродвигателя, об/мин	8000
Планетарный редуктор	
Габаритные размеры (ДхШхВ), мм	34,5x28x28
Диаметр вала, мм	6
Передаточное отношение	151

ЕСТЕСТВЕННАЯ МЕХАНИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА

Механической характеристикой электродвигателя, называется зависимость частоты вращения от момента на валу двигателя. Характеристика двигателя называется естественной, если она получены при номинальных значениях, а также при отсутствии добавочных сопротивлений в цепях обмоток двигателя [8-10].

Для двигателей постоянного тока (с независимым и параллельным возбуждением) характерна прямая зависимость и описывается линейной функцией. Прямая, проходящая через точки с координатами (n_0 0) и ($M_н$ $n_н$).

$$M(n)=\frac{M_н \cdot n_0}{n_0-n_н}-\frac{M_н}{n_0-n_н}\cdot n \qquad (1)$$

где n – частота вращения, об/мин; n_0 – частота вращения холостого хода, об/мин; $n_н$ – номинальная частота вращения, об/мин; $M_н$ – номинальный крутящий момент силы, Нм.

Для построения расчетной естественной механической характеристики электродвигателя с планетарным редуктором MY28GP-385 используются параметры, указанные в таблице 1.

Используя пакет компьютерной алгебры Mathcad для указанных значений построен график естественной механической характеристики, показанный на рис. 2.

В работе [11] создается имитационная динамическая модель, где интегрирование уравнения динамической модели осуществляется с использованием вычислительного блока Given – Odesolve, реализующего метод Рунге-Кутта. Подобный подход был реализован, при следующих параметрах: приведенный к валу мотор-редуктора статический момент (Mc) = 0,632 Н·м; приведенный момент инерции мотор-редуктора (Iпр) = 0,1 кг·м^2.

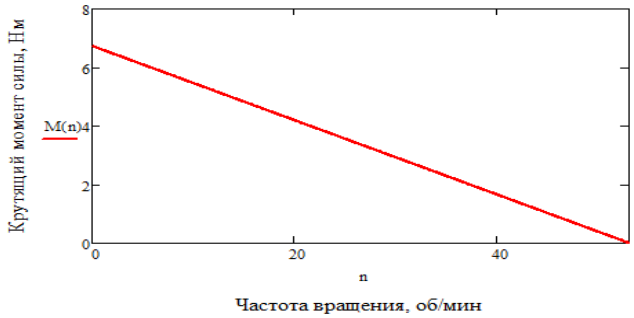

Рис. 2. График расчетной естественной механической характеристики электродвигателя с планетарным редуктором MY28GP-385

Результаты моделирования показаны на рис. 3.

На графике показано изменение угловой скорости выходного вала электродвигателя с планетарным редуктором. Угловая скорость установившегося режима составила 2,905 рад/с (частота вращения 27,74 об/мин). Разгон до номинальных параметров составил 4 секунды.

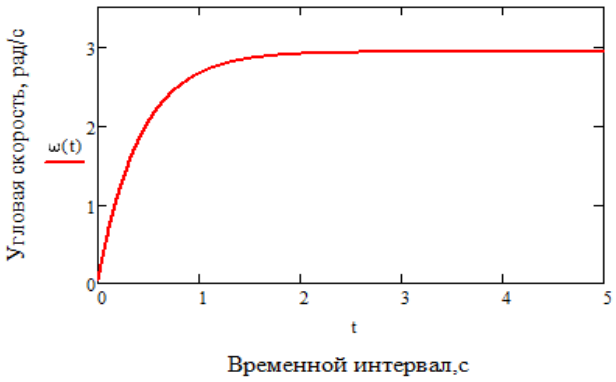

Рис. 3. График угловой скорости вала электродвигателя с планетарным редуктором MY28GP-385

Для данной угловой скорости выходного вала, была определена скорость поднимаемого груза. Результаты изменения скорости поднимаемого груза, представлены в виде графика на рис. 4.

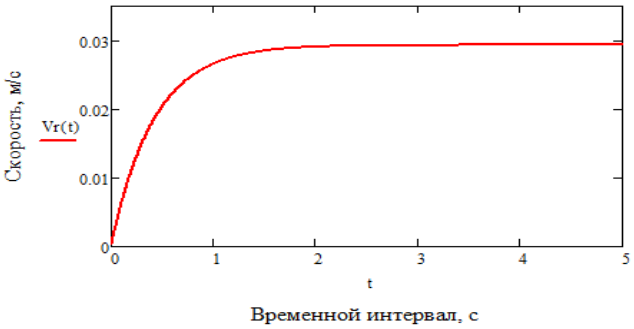

Рис. 4. График скорости груза

Стендовые испытания

Проведение стендовых испытаний электродвигателя постоянного тока с планетарным редуктором MY28GP-385, позволит оценить достоверность характеристик, заявленных поставщиком и подтвердить правильность полученных расчетных значений естественной механической характеристики.

Общий вид стенда для испытания электродвигателя с планетарным редуктором MY28GP-385, показан на рис. 5.

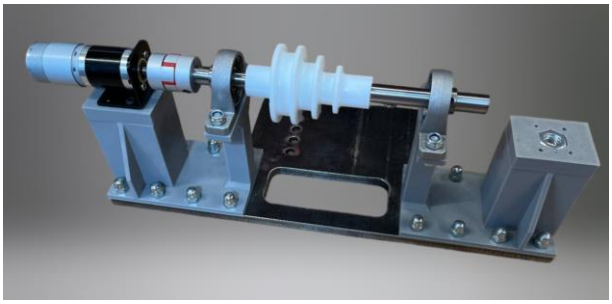

Рис.5. Общий вид стенда для испытания электродвигателя с планетарным редуктором MY28GP-385

Конструкция стенда представляет собой металлическое основание, на котором смонтированы стойки для размещения испытываемого мотора-редуктора. Металлический вал (диаметром 12 мм) размещен в подшипниковых опорах, вращение которого осуществляется через упругую муфту. Применение подшипниковых опор обусловлено необходимостью снижения негативного воздействия, изгибающего момента, уменьшить влияние отклонений в расположении базовых поверхностей опор, а также для минимизации влияния трения, возникающего в кинематической паре [12].

Для воспроизведения необходимого крутящего момента силы, на металлический вал устанавливается лебедка. Конструкция лебедки представляет собой многоуровневый барабан, где каждый ярус имеет свой радиус намотки: 10, 15 и 20 мм. Каждая секция расположена последовательно вдоль оси, образуя ступенчатую форму. Подвешивание груза на барабане осуществляется с помощью лески, проходящей через отверстие в металлическом основании. Конструкция поднимается относительно пола на высоту, достаточной для проведения измерений частоты вращения вала в установившемся режиме.

Общий вид используемого материально-технического и метрологического обеспечения приведен на рис. 6.

Рис. 6. Материально-техническое и метрологическое обеспечение испытаний

Для воспроизведения напряжения питания 12 В, применяется регулируемый двухканальный источник питания постоянного тока SPS3010-2KD (мощностью 300 W). Измерение тока, потребляемого электродвигателем, осуществляется мультиметром цифровым CEM DT-9939, подключенного последовательно в цепь питания в режиме измерения постоянного тока.

Измерение частоты вращения вала, осуществляется бесконтактным методом, для чего применяется тахометр с датчиком Холла. На вращающийся вал крепится постоянный магнит, а датчик Холла фиксируется на неподвижном основании, вблизи вала (на расстоянии 2 – 5 мм).

Испытания электродвигателя с планетарным редуктором MY28GP-38, проводились в несколько подходов, с постепенным увеличением массы поднимаего груза. Для каждой массы груза фиксировались значения частоты вращения и потребляемый ток.

Крутящий момент силы мотор-редуктора опредеяется по формуле:

$$M = F \cdot r \qquad (2)$$

где F – приложенная сила, г; r – радиус барабана, мм.

Масса поднимаемого груза выбиралась таким образом, что бы обеспечить равномерное увеличение крутящего момента силы, от 0 до 0,98067 Нм. Временной интервал поднятия груза обеспечивался максимально возможным, что бы зафиксировать частоту вращения установившегося режима.

Полученные результаты измерений, во время проведения стендовых испытаний представлены в виде графика, на рис. 7.

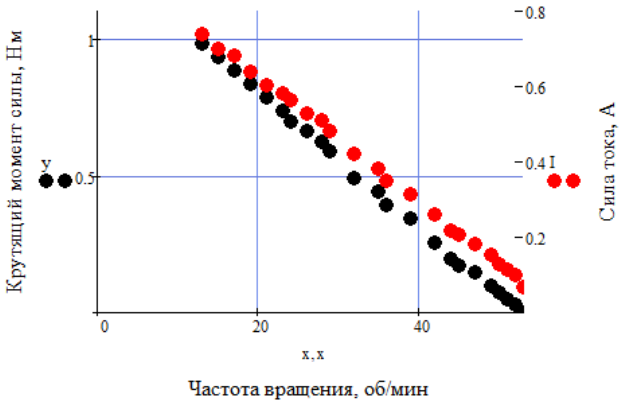

Рис. 7. Значения частоты вращения и потребляемого электродвигателем тока, полученные во время проведения стендовых испытаний

На графике видно линейную зависимость частоты вращения от крутящего момента силы, а также линейное увеличение потребляемого тока электродвигателем.

Пропорциональное увеличение потребляемого тока является положительным признаком и подтверждает работоспособность электродвигателя.

Сравнительный анализ

Сравнительный анализ естественной механической характеристики электродвигателя постоянного тока с планетарным редуктором MY28GP-38 проводится для расчетных и действительных значений, которые были получены в ходе проведения стендовых испытаний.

Для построения естественной механической аналитическим методом, использовалась функция прямой, проходящей через точки с координатами (n_0 0) и ($M_н$ $n_н$).

Полученные значения частоты вращения (n), соответствующие определенному крутящего моменту силы (Мэ), в ходе проведения стендовых испытаний подтвердили линейную зависимость. Однако полученные значения отличаются от заявленных производителем.

В технических характеристиках указываются номинальные параметры: крутящий момент силы 1,275 Н·м (13 кгс·см); ток 1 А; частота вращения 43 об/мин. Естественная механическая характеристика, для этих значений была построена в виде графика (красная линия), представленном на рис. 8.

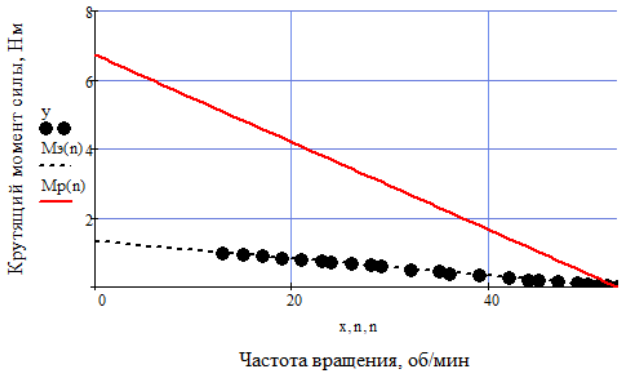

Рис. 8. График сравнительного анализа естественной механической характеристики электродвигателя с планетарным редуктором MY28GP-385

Полученные действительные значения частоты вращения (n) и крутящего момента силы (Мр), указаны в виде точек. Определение действительных значений номинальных параметров мотор-редуктора: крутящего момента силы и частоты вращения было выполнено методом эмпирического подбора.

Используя встроенную функцию Stdev для вычисления среднеквадратического отклонения, было получено значение, которое составило 0,011. Это свидетельствует о незначительном разбросе.

Значения среднеквадратического отклонения для каждой точки, представлены в виде графика, на рис. 9.

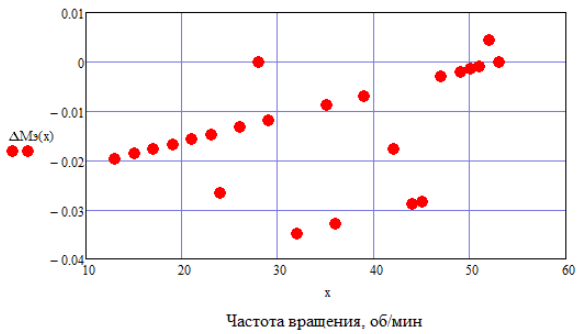

Рис. 9. График среднеквадратичного отклонения крутящего момента силы

На основании проведенного анализа, были установленны действительные номинальные значения мотор-редуктора: крутящий момент силы 0,6 Н·м (6,12 кгс·см); частота вращения 28 об/мин и потребляемый ток 0,5 А.

Заключение

В рамках проведенного исследования электродвигателя постоянного тока с планетарным редуктором MY28GP-385 реализован комплексный подход, объединяющий: математическое моделирование – разработка аналитической модели с применением пакета компьютерной алгебры Mathcad, описывающей естественную механическую характеристику мотор-редуктора и стендовых испытаний – проведение серии измерений ключевых параметров (крутящий момент силы, частота вращения и потребляемый ток).

Проведенные стендовые испытания позволили выполнить верификацию заявленных поставщиком технических параметров, аналогичный метод был проведен в работе [13], а также валидацию математической модели. Идея создания математической модели двигателя постоянного тока была рассмотрена в работах [14, 15]. В ходе испытаний обнаружены значительные расхождения между заявленным и действительным значением номинального крутящего момента силы.

Такие несоответствия могут привести к некорректной работе оборудования, а также к выходу из строя мотор-редуктора из-за работы в режимах на которые он не рассчитан.

Используя математическую модель был определен действительный номинальный крутящий момент силы мотор-редуктора. Данное значение имеет наименьшее значение среднеквадратичного отклонения.

Полученные результаты проведенного исследования, направлены помочь инженерам и специалистам в различных отраслях, таких как автоматизация, робототехника, а также послужить основой для дальнейших исследований.

Литература

1. Шестаков А.В. Динамическая модель коллекторного двигателя постоянного тока, возбуждаемого от постоянных магнитов, с учетом влияния реальных факторов / А.В. Шестаков // Машиностроение: сетевой электронный научный журнал. – 2022. – Т. 9, № 2. – С. 22-27.

2. Борисов Ю.М. Электротехника / Ю.М. Борисов, Д.Н. Липатов, Ю.Н. Зорин. – СПб.: БВХПетербург, 2012. – С. 375-376.

3. Зихерман М.Х. Коллекторные двигатели постоянного тока // Энергоэксперт. – 2018. – № 2(66). – С. 75.

4. Šustek M. DC motors and servo-motors controlled by Raspberry Pi 2B / M. Šustek, M. Marcaník, P. Tomášek, Z. Úředníček, N. Mastorakis, V. Mladenov, A. Bulucea // MATEC Web of Conferences. – 2017. – vol. 125. – P. 20-25.

5. Селезнев И.А. Проектирование и изготовление установки для исследования характеристик двигателей постоянного тока // Политехнический молодежный журнал. – 2017. – № 9(14). – С. 1-7.

6. Бебихов Ю.В. Анализ методов моделирования технических систем в среде MATLAB / Ю.В. Бебихов, А.С. Семенов, М.Н. Семенова, И.А. Якушев // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. – 2019. – Т. 7, № 3(26). – С. 5-6.

7. ГОСТ 2582-81. Машины электрические вращающиеся тяговые. Общие технические условия. – Введ. 1983-01-01. – М.: Изд-во стандартов, 1981. – С. 3.

8. Кириллов А.В. Электрический привод. Курс лекций / А.В. Кириллов, Д.П. Степанюк, Н.Д. Ясенев, под редакцией А.В. Ефремова. – Екатеринбург: УРФУ, 2016. – С. 11-14 с.

9. Сочава М.В. Испытание электрических машин постоянного тока: учеб. Пособие / М.В. Сочава, Н.А. Хомицевич. – СПб.: Изд-во СПбПУ, 2018. – С. 13-25.

10. Гараев Р.А. Исследование работы двигателя постоянного тока под нагрузкой / Р.А. Гараев, С.Ю. Труднев // Молодежь. Наука. Инновации. – 2022. – Т. 1. – С. 43-45.

11. Митюшов Е.А. Имитационная модель рабочей клети стана ДУО / Е.А. Митюшов, Н.Е. Мисюра, Е.Ю. Раскатов, С.Е. Петров // Машиностроение: сетевой электронный научный журнал. – 2024. – Т. 11, № 3. – С. 65.

12. Фролов К.В. Теория механизмов и машин: учеб. для вузов // К.В. Фролов, С.А. Попов, А.К. Мусатов и др., под редакцией К.В. Фролова. – М.: МГТУ им. Баумана, 2002. – С. 46.

13. Аль Махтури Ф.Ш.И.А. Верификация математической модели бесконтактного двигателя постоянного тока в Simulink с использованием паспортных и экспериментальных данных / Ф.Ш.И.А. Аль Махтури, Д.В. Самохвалов // Международная конференция по мягким вычислениям и измерениям. – 2019. – Т. 1. – С. 304-306.

14. Богданова И. С. Компьютерное моделирование двигателя постоянного тока независимого возбуждения / И.С. Богданова, Т.А. Стрельникова // Молодой исследователь: от идеи к проекту: Материалы VI студенческой науч.-практ. конф., Йошкар-Ола, 26-29 апреля 2022 года. – Йошкар-Ола: Марийский государственный университет, 2022. – С. 40-43.

15. Шухарев, С.А. Моделирование работы двигателя постоянного тока // Вестник института тяги и подвижного состава. – 2018. – № 14. – С. 7-12.

DOI: 10.24892/RIJIE/20250308

Tests of a DC Motor with a Planetry Reducer MY28GP-385

Devyashin F.E., Mityushov E.A.
Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin
Yekaterinburg, Russian Federation
filippmetrolog@yandex.ru

Abstract. **The article presents the results of a study aimed at determining the natural mechanical characteristics of a direct current electric motor with a planetary gearbox MY28GP-385. Based on the technical parameters provided by the supplier, a calculated natural mechanical characteristic was constructed. The calculations were performed using a mathematical model that takes into account the mechanical properties of the gear motor. The mathematical model was tested and the technical parameters were verified using an experimental approach. The experimental part included the construction of a test bench and the use of measuring instruments to record the actual values of such basic parameters as the torque of the force, the frequency of rotation and the current consumed by the electric motor. A comparative analysis of the calculated natural mechanical characteristics and the values obtained during wall tests revealed significant discrepancies between the declared and actual value of the nominal torque of the force. Using a mathematical model, the actual values of the nominal parameters (force torque, rotation speed, current strength) of the gear motor were determined, for which the lowest value of the RMS deviation corresponds. The research has practical significance in solving problems related to the choice of an electric drive.**

Keywords: DC electric motor, mathematical modeling, testing, **verification, validation.**

Библиографическое описание статьи

Девяшин Ф.Е. Испытания электродвигателя постоянного тока с планетарным редуктором MY28GP-385 / Ф.Е. Девяшин, Е.А. Митюшов // Машиностроение: сетевой электронный научный журнал. – 2025. – Т.12, №3. – С. 52-56. DOI: 10.24892/RIJIE/20250308

Reference to article

Devyashin F.E., Mityushov E.A. Tests of a DC motor with a planetry reducer MY28GP-385, *Russian Internet Journal of Industrial Engineering*, 2025, vol.12, no.3, pp. 52-56. DOI: 10.24892/RIJIE/20250308
