

УДК 621.22.018.8

РАЗРАБОТКА ТЯГОИЗМЕРИТЕЛЬНОГО СТЕНДА ДЛЯ СНЯТИЯ ХАРАКТЕРИСТИК ВИНТОМОТОРНЫХ ГРУПП БПЛА

В. Е. ЗАЙЦЕВ¹, Р. А. КИЛЬМЕТОВ², М. В. ИВАНОВ³

¹vadim.zaitzew2014@yandex.ru, ²kilmetovrafael@gmail.com, ³r.miv@bk.ru

¹⁻³ФГБОУ ВО «Уфимский университет науки и технологий» (УУНИТ)

Аннотация. В статье описан процесс разработки и создания тягоизмерительного стенда для испытаний электродвигателей с воздушным винтом. Стенд разработан с целью обеспечения измерений характеристик двигателей, включая частоту вращения, тягу, потребляемый ток и напряжение. Сбор данных осуществляются с помощью микроконтроллеров Arduino, а обработка данных и интерфейс для проведения испытаний реализованы на языке Python и C++.

Ключевые слова: тягоизмерительный стенд, электродвигатель, испытания, программное обеспечение, arduino, тензометрические датчики, щелевой оптический датчик, ШИМ, обработка данных.

ВВЕДЕНИЕ

Цель проведения испытаний электродвигателя заключается в осуществлении полного спектра тестирования, включающего в себя прогоны двигателя от минимальных до максимальных оборотов. На каждой определенной точке этого спектра измеряются и регистрируются основные параметры работы двигателя с целью детального анализа его характеристик и эффективности.

Проведение тестов на различных оборотах позволяет получить информацию о поведении электродвигателя в различных режимах работы, что необходимо для оценки его производительности и надежности. Измерение параметров, таких как обороты, тяга, ток и напряжение, на каждой точке тестового спектра позволяет провести комплексный анализ работы двигателя и выявить любые аномалии или несоответствия требованиям.

Такой подход к тестированию обеспечивает полную информацию о работе электродвигателя и позволяет выявить любые потенциальные проблемы или неисправности, что является критически важным для обеспечения безопасности и надежности аэронавигационных систем, в которых эти двигатели используются.

РАЗРАБОТКА ТЯГОИЗМЕРИТЕЛЬНОГО СТЕНДА

На этапе проектирования каркаса для тягоизмерительного стенда было принято решение использовать металлическую пластину толщиной 10 мм. Выбор этой толщины был обусловлен необходимостью минимизации вибраций и исключения возможности вхождения в резонанс, что критически важно для обеспечения точности измерений. Из металлической пластины были вырезаны элементы каркаса с использованием электроэрозионного станка, что позволило добиться высокой точности резки и обеспечить соответствие заданным конструктивным параметрам.

Конструктивно стенд представляет собой сваренные в местах сопряжения металлические элементы. Такая конструкция обеспечивает высокую жесткость и устойчивость каркаса.

Электродвигатель размещается горизонтально на высоте, достаточной для свободного вращения винта в вертикальной плоскости. Сборка стенда представлена на рисунке 1.

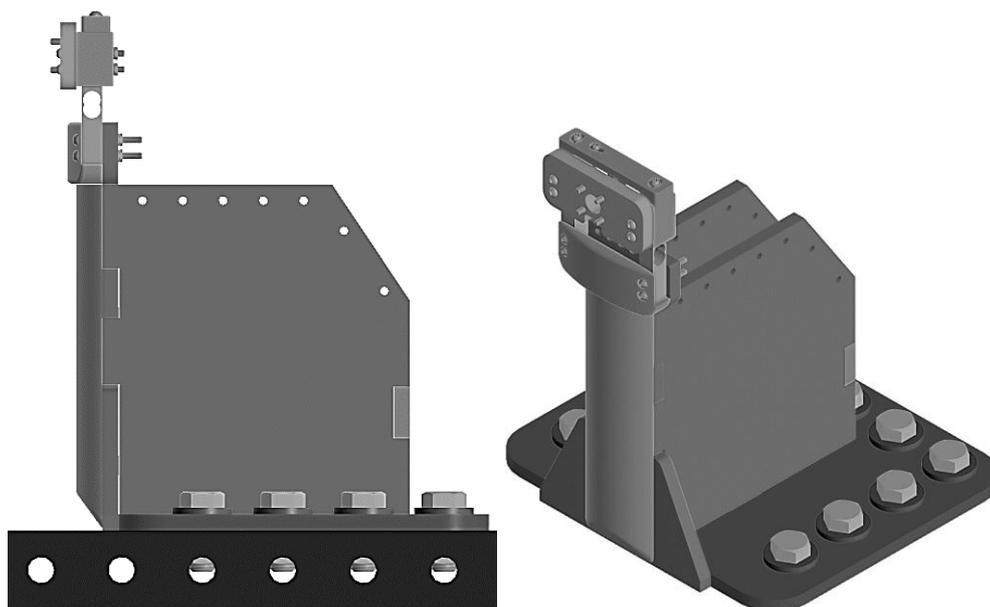


Рис. 1. Стенд в сборе

Данная конструкция каркаса была разработана с учетом требований к простоте и быстротемонтажу испытуемого оборудования. Металлическая пластина такой толщины минимизирует риск возникновения резонансных явлений.

Для измерения тяги электродвигателя использовались два тензометрических датчика, закрепленных вертикально. На эти датчики крепится маунт, на который устанавливается сам электродвигатель.

При измерении частоты вращения возникли трудности, так как использование обычного цифрового тахометра оказалось проблематичным для подключения к компьютеру и автоматической передачи данных. Поскольку одним из главных параметров стенда является простота и скорость проведения испытаний, использование внешнего измерителя оборотов требовало бы ручного ввода данных, что значительно увеличивало бы время проведения испытаний.

Для решения этой проблемы на задний выход вала электродвигателя был установлен прерывательный элемент, распечатанный на 3D-принтере, называемый "волчок" (представлен на рисунке 2).

При вращении "волчок" прерывает сигнал щелевого оптического датчика, что позволяет вычислять обороты электродвигателя. Этот метод обеспечивает автоматическое считывание данных и их передачу на компьютер, что значительно ускоряет процесс испытаний.

Для измерения потребляемого тока и напряжения электродвигателя используется монитор тока и мощности INA226. Эта микросхема подключена к модулям Arduino, что позволяет интегрировать измерительные данные в общую систему управления и мониторинга стенда.

Управление электродвигателем и контроль датчиков осуществляется через микроконтроллеры Arduino Mega и Arduino Nano. Код, написанный на языке C++, задает режимы работы двигателя по сигналу оператора. Данные с датчиков собираются, обрабатываются и отправляются на персональный компьютер.

На языке Python был разработан интерфейс испытаний, который позволяет подключиться к стенду с любого компьютера. Интерфейс обеспечивает удобное управление процессом испытаний: оператор может начать испытания нажатием одной кнопки, а все данные автоматически сохраняются в отдельный Excel-файл, где информация уже оформлена и подсчитана для дальнейшего анализа.

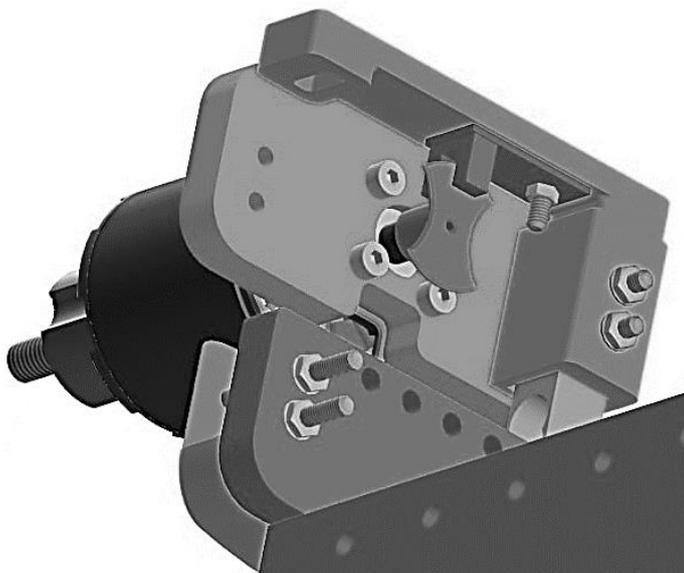


Рис. 2. Прерывательный элемент «волчок»

Испытания начинаются с запуска электродвигателя по сигналу оператора. Двигатель приводится в действие и последовательно проходит через диапазон оборотов от минимальных до максимальных значений. Конкретные значения регулируются с помощью широтно-импульсной модуляции (ШИМ), задаваемой в пределах от 1100 до 1900 PWM (Pulse Width Modulation). Шаг изменения оборотов составляет 100 PWM, что позволяет получить подробные данные о работе двигателя на различных режимах.

На каждой из восьми точек измерений (от 1100 до 1900 PWM) датчики снимают показания пять раз. Это необходимо для обеспечения точности и надежности данных. Собранные данные включают в себя:

1. частоту вращения электродвигателя, измеряемую щелевым оптическим датчиком;
2. тягу электродвигателя, измеряемую тензометрическими датчиками;
3. потребляемый ток и напряжение, измеряемые микросхемой INA226.

Все данные автоматически передаются на микроконтроллеры Arduino Mega и Arduino Nano, где они обрабатываются и передаются на персональный компьютер.

Программа, разработанная на языке Python, обрабатывает полученные данные, вычисляя средние значения для каждой точки измерений. Для повышения точности результатов используется медианный фильтр, который позволяет исключить выбросы и шумы из собранных данных.

После обработки все данные автоматически сохраняются в Excel-файл. Этот файл содержит уже оформленную и подсчитанную информацию, что значительно упрощает дальнейший анализ результатов испытаний. Каждое измерение сопровождается меткой времени и соответствующими параметрами, что позволяет легко изобразить график и проанализировать работу двигателя.

По завершении испытаний текущего двигателя его замена на следующий осуществляется быстро и просто, что позволяет значительно сократить общее время проведения испытаний. Быстроръемная конструкция маунта и удобство крепления обеспечивают минимальные затраты времени и усилий при смене испытуемых двигателей.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные испытания показали, что стенд успешно выполняет свою функцию, позволяя проводить комплексное тестирование электродвигателей на различных режимах работы. Полученные данные были легко обработаны и представлены в удобном для анализа виде, что позволило эффективно оценить производительность и надежность испытуемых двигателей.

В дальнейшем планируется продолжить совершенствование стенда. Одним из направлений развития является подключение цифрового лазерного тахометра к компьютеру, что позволит повысить точность измерений и упростить процесс использования стенда. Также рассматривается возможность расширения функционала программного обеспечения для более детального анализа данных и проведения дополнительных тестов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Mega 2560 Rev3 // docs.arduino URL: <https://docs.arduino.cc/hardware/mega-2560/> (дата обращения: 07.05.2024).
2. Nano // docs.arduino URL: <https://docs.arduino.cc/hardware/nano/> (дата обращения: 07.05.2024).
3. INA226 DC current and power sensor // esphome URL: <https://current--esphome.netlify.app/components/sensor/ina226> (дата обращения: 07.05.2024).
4. Тензодатчики и HX711. Руководство пользователя. // wiki.iarduino URL: https://wiki.iarduino.ru/page/hx_711_with_tenzo/ (дата обращения: 08.05.2024).

ОБ АВТОРАХ

ЗАЙЦЕВ Вадим Евгеньевич, студент ПИШ «Моторы будущего» Уфимский университет науки и технологий.

КИЛЬМЕТОВ Рафаэль Айдарович, аспирант ПИШ «Моторы будущего» Уфимский университет науки и технологий.

ИВАНОВ Михаил Валерьевич, студент ПИШ «Моторы будущего» Уфимский университет науки и технологий.

METADATA

Title: Development of a thrust-measuring stand for removing characteristics of UAV propeller-motor groups.

Authors: V.E. Zaitsev¹, R.A. Kilmetov², M.V. Ivanov³

Affiliation:

¹⁻³ Ufa University of science and technology (UUST), Russia.

Email: ¹vadim.zaitzew2014@yandex.ru, ²kilmetovrafael@gmail.com, ³r.miv@bk.ru

Language: Russian.

Source: Molodezhnyj Vestnik UGATU (scientific journal of Ufa University of Science and Technology), no. 2 (31), pp. 64-67, 2024. ISSN 2225-9309 (Print).

Abstract: The article describes the process of developing and creating a thrust measurement rig for testing electric motors with a propeller. The rig is designed to provide measurements of engine characteristics, including rotation speed, thrust, consumed current and voltage. Data is collected using Arduino microcontrollers, and data processing and the interface for testing are implemented in Python and C++.

Key words: traction test bench, electric motor, testing, software, arduino, strain gauges, slot optical sensor, PWM, data processing.

About authors:

ZAITSEV Vadim Evgenievich, student of the PISh "Motors of the Future" Ufa University of Science and Technology.

KILMETOV Rafael Aidarovich, postgraduate student of the PISh "Motors of the Future" Ufa University of Science and Technology.

IVANOV Mikhail Valerievich, student of the PISh "Motors of the Future" Ufa University of Science and Technology.