

УДК 681.6

4.3.1. Технологии, машины и оборудование для агропромышленного комплекса (технические науки, сельскохозяйственные науки)

РАЗРАБОТКА СТЕНДА ДЛЯ ПРОВЕРКИ ДВИГАТЕЛЕЙ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

Мухаметгалеев Танир Хамитович
канд. техн. наук, доцент
ФГБОУ ВО Казанский государственный
энергетический университет, Казань, Россия

Фаттахова Алина Альбертовна
студент
ФГБОУ ВО Казанский государственный
энергетический университет, Казань, Россия

В работе описана разработка системы работы стенда для проверки двигателей беспилотных летательных аппаратов. Описан принцип работы бесколлекторных электрических двигателей. Приведены частые ошибки в работе двигателя, обозначены возможные их причины. Показана принципиальная схема стенда, описано подключение измерительных элементов и функции контроллера. Приведен пример программы аварийного отключения стенда, написанной в среде программирования OWEN Logic. Обозначены режимы проверки, основные функции стенда, и его практическая значимость в процессе производства беспилотных летательных аппаратов

Ключевые слова: АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА, ПРОВЕРКА ДВИГАТЕЛЕЙ, БЕСПИЛОТНЫЕ ЛЕТАТЕЛЬНЫЕ АППАРАТЫ, АВТОМАТИЗАЦИЯ

<http://dx.doi.org/10.21515/1990-4665-210-043>

UDC 681.6

4.3.1. Technologies, machinery and equipment for the agro-industrial complex (technical sciences, agricultural sciences)

DEVELOPMENT OF A STAND FOR TESTING THE ENGINES OF UNMANNED AERIAL VEHICLES

Mukhametgaleev Tanir Khamitovich
Candidate of Technical Sciences, Associate Professor
Kazan State Power Engineering University, Kazan, Russia

Fattakhova Alina Albertovna
student
Kazan State Power Engineering University, Kazan, Russia

The article describes the development of a system for testing the engines of unmanned aerial vehicles. The principle of operation of brushless electric motors is described. Frequent errors in engine operation are given, and their possible causes are indicated. A schematic diagram of the stand is shown, the connection of measuring elements and the functions of the controller are described. An example of a stand emergency shutdown program written in the OWEN Logic programming environment is given. The inspection modes, the main functions of the stand, and its practical significance in the production process of unmanned aerial vehicles are outlined

Keywords: AUTOMATED SYSTEM, ENGINE INSPECTION, UNMANNED AERIAL VEHICLES, AUTOMATION

Введение.

Современный технологический мир стремится к уменьшению нагрузки на человека. Для достижения этой цели люди разрабатывают множество устройств, которые могут работать автономно, либо требуют минимального вмешательства в процесс.

Для доставки грузов, наблюдения, поиска и исследований труднодоступных мест все чаще применяют БПЛА (беспилотные летательные аппараты), которые могут выполнять задачи как

<http://ej.kubagro.ru/2025/06/pdf/43.pdf>

самостоятельно, так и под полным контролем человека [1]. Эти устройства не требуют нахождения пилота непосредственно в летательном аппарате, а навигация осуществляется дистанционно, что делает их удобными и безопасными. Благодаря возможностям, которые предоставляет использование этой технологии, она обрела огромную популярность.

Обоснование актуальности исследования и обозначение проблемы.

Сейчас разработка и производства БПЛА – крупная отрасль, которая развивается очень быстро благодаря государственной поддержке, однако некоторые комплектующие все еще закупаются с зарубежных предприятий [2]. Среди таких комплектующих – двигатели – одна из самых важных деталей аппарата. К сожалению, среди купленных экземпляров часто обнаруживают брак.

В современных БПЛА, в зависимости от их назначения, используют разные виды двигателей: от простых электродвигателей, весом не более 200 грамм, до двигателей внутреннего сгорания, вес которых измеряется в килограммах. Для небольших моделей, в задачи которых не входит перенос тяжелых грузов, применяют бесколлекторные электрические двигатели постоянного тока. Они обладают небольшим размером, малым весом и невысокой стоимостью, однако могут развивать высокую скорость, имеют высокий коэффициент полезного действия и считаются надежными. Их конструкция довольно простая, поэтому такие двигатели ремонтпригодны.

Бесколлекторный электродвигатель постоянного тока состоит из вращающегося ротора, на котором расположен постоянный магнит, и многофазной обмотки статора, выполненной медным проводом. Наиболее часто используется трехфазная обмотка статора, к которой прикладывается трехфазная система напряжений, то есть 3 фазы статора питаются

напряжением со сдвигом на 120 градусов. Это создает вращающееся магнитное поле, взаимодействуя с которым и заставляет магнитный ротор вращаться вслед за ним. Управление двигателем осуществляется с помощью специального контроллера (драйвера), который регулирует напряжение на обмотках, позволяя выполнять плавный пуск, регулировать скорость вращения двигателя и управлять направлением вращения электродвигателя.

Опыт работы с двигателями показывает, что самая частая причина некорректной работы двигателей – подшипник. Некачественная выточка или нехватка смазывающих веществ приводят к излишнему трению и перегреву. Замена подшипника занимает немного времени, но эта операция способна полностью восстановить работу двигателя.

Постановка задачи и методика решения.

Чаще всего двигатели не тестируют перед установкой, из-за чего брак выявляется на последних этапах сборки. Это сильно замедляет процесс, ведь необходимо разбирать и заново собирать часть аппарата, что занимает много времени. Для ускорения процесса необходимо подвергать проверке двигатель до того, как он будет установлен на корпус. Для проведения такой проверки был разработан стенд, работа которого будет описана в данной статье.

Понять, что двигатель работает некорректно можно по ряду признаков:

1. Ослабление тяги на лопастях двигателя (лопасти дергаются, ротор вращается не плавно, а «прыгает» на определенный угол). Чаще всего причиной такой работы двигателя являются проблемы с питанием;
2. Наблюдается излишняя вибрация во время работы. Причиной этого может быть дисбаланс ротора (неравномерная нагрузка на ось

вращения) или проблемы с подшипником (некачественная выточка, нехватка смазывающих веществ);

3. Сила тока или напряжение резко возрастает. Это может быть вызвано механической перегрузкой двигателя, проблемами с питанием или качеством обмоткой;

4. Двигатель перегревается. Причин для этого множество, необходима комплексная диагностика.

Методы и результаты исследования.

Для проверки бесколлекторных двигателей разработан стенд. Он позволяет измерять параметры, по которым можно оценить на работу двигателя. Компьютер анализирует их, сравнивает с идеальными показателями, выводит графики, по которым можно судить о работоспособности и качестве двигателя. Такими параметрами являются: вибрация, тяга, сила тока, напряжение и температура [3]. Кроме того, на случай аварийной ситуации (перегрева, скачка напряжения, превышения допустимого уровня вибрации) предусмотрен режим полной остановки процесса [4].

Помехи в работе двигателя будут сразу заметны по резкому отклонению или постепенному нарастанию значений вышеуказанных параметров. Корректировка режима экстренной остановки должна производиться индивидуально для каждой модели.

На схеме (рис.1) показан двигатель, к которому подключены: термометр (ТТ), виброметр (VT), амперметр (IT), вольтметр (ЕТ), тягомер (ST). В таблице ниже указано, какие функции будет выполнять контроллер при получении сигнала с датчиков. В случае превышения показаний по одному или нескольким параметрам (вибрация, напряжение, сила тока, температура) питание будет отключено.

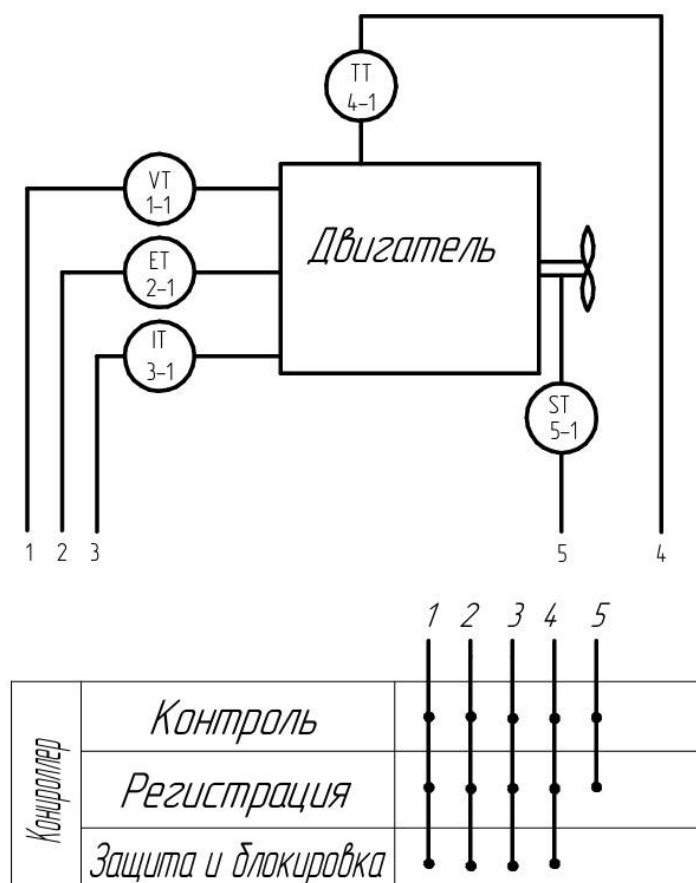


Рис. 1. Структурная схема стенда

Для обеспечения безопасности во время работы стенда будет выполняться следующая программа (рис. 2). Для примера использована программа, написанная в среде программирования OWEN Logic для контроллера ПР103-24.1618.16.X.0 [5,6].

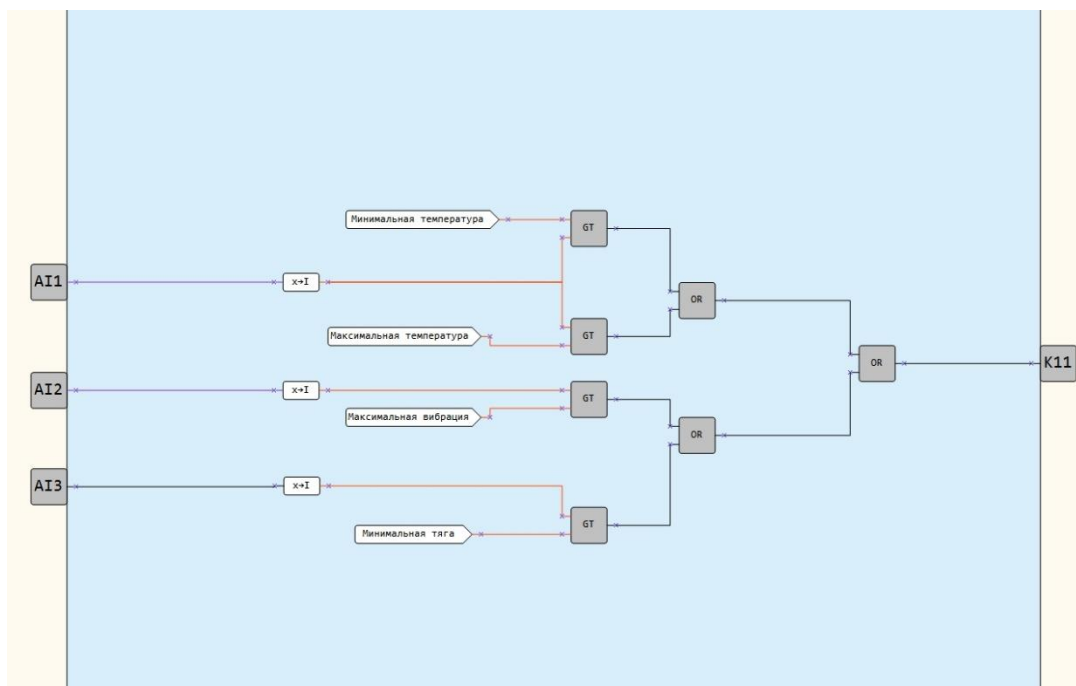


Рис. 2. Программа экстренного отключения питания на языке FBD (FunctionBlockDiagram)

С термометра приходит сигнал на порт AI1, после чего значение температуры сравнивается с нижним и верхним допустимым пределом. В случае, если значение не удовлетворяет безопасным условиям работы двигателя, питание отключается и процесс останавливается (порт K11 подключен к нормально замкнутому контактору). С виброметра сигнал приходит на порт AI2; в случае если вибрация превышает допустимый предел, сигнал подается на порт K11. С тягомера сигнал приходит на порт AI3, после чего его значение сравнивается с максимальным, и если оно его превышает, подается сигнал на порт K11 [7]. Эта программа направлена на обеспечение безопасности процесса. Если значение параметра выходит за рамки допустимого, контактор, находящийся на выходе из порта K11 размыкается, и питание двигателя прекращается.

Каждая измеряемая величина регистрируется и записывается в памяти, компьютер сравнивает показания с идеальными и рассчитывает величину отклонения, после чего на основе этих данных строятся графики,

по которым можно оценить работу двигателя [8]. В зависимости от того, какой параметр показывает неудовлетворительные результаты, будут проверены или заменены различные составные части двигателя [9]. Если после починки и повторной проверки на стенде двигатель работает правильно, то его можно будет установить на БПЛА.

Таким образом можно узнать корректно ли работает двигатель до установки его на корпус. Это помогает избежать поломок уже собранных БПЛА, и устранить необходимость замены двигателя в случае обнаружения неисправностей при эксплуатации. Кроме того, эффективность производства повысится, ведь бракованные компоненты не будут допущены к установке, и вероятность того, что нужно будет разбирать аппарат в случае отказа двигателя будет значительно уменьшена.

Помимо обычной проверки двигателей на наличие неисправностей стенд можно использовать для тестирования двигателей в разных условиях (при высокой и низкой температуре, влажности и т.д.), а также в аварийной ситуации: например, установить напряжение выше рабочего и засечь, сколько двигатель сможет проработать, и как будут меняться измеряемые параметры во время его работы.

На стенде можно проводить исследования, сравнивая двигатели разных производителей, при одинаковых параметрах окружающей среды. Это может помочь при выборе двигателя для определенных задач, и сделает аппарат более качественным и подходящим в конкретной ситуации, без внесения изменений в конструкцию.

Заключение.

Проверка двигателя перед установкой – важный этап производства. Она облегчит сборку и проверку работоспособности аппарата в целом, уменьшит вероятность его поломки при использовании и увеличит эффективность производства [10]. Это особенно важно для небольших

компаний, которые часто используют недорогие двигатели, купленные у зарубежных компаний, которые не всегда тщательно проверяют качество своего товара перед отправкой.

Стенд позволит проверить качество двигателя быстро и безопасно. Все датчики и контроллер будут жестко закреплены, а также предусмотрены защитные экраны, если появится необходимость наблюдать за проверкой. Вероятность возгорания сведена к минимуму, ведь в случае перегрева или скачка напряжения питание незамедлительно отключается, что делает его более безопасным, чем простое тестирование после сборки аппарата.

Список литературы

1. Максимов Н.А., Маршанин Е.В., "Применение беспилотных летательных аппаратов"// Москва: КНОРУС, 2024. - 116 с.
2. А. Р. Заляева, А. М. Аюпова, Т. Р. Хайрутдинов, В. И. Курир Разновидности двигателей тяжелых и средних БПЛА // Нанотехнологии: наука и производство. – 2023. – № 2. – С. 58-64.
3. Уразбахтин Р. Р. Двигатели для беспилотных летательных аппаратов // МНИЖ. 2017. №2-3 (56). URL: <http://cyberleninka.ru/article/n/dvigateli-dlya-bespilotnyh-letatelnyh-apparatov> (дата обращения: 14.04.2025).
4. Анхимюк В.Л. Теория автоматического регулирования. М.: Мангуст, 2000. 144 с
5. PR200 Устройство управляющие многофункциональное: Руководство по эксплуатации // Owen-Prom.Ru: 2019. URL: http://owen-prom.ru/files/pr200_1.pdf (дата обращения: 24.03.2025).
6. Долидзе А.Н. Сравнительный анализ ключевых особенностей контроллеров Siemens LOGO! и OWEN PR200, с целью взаимозамещения в учебном процессе // «Инженерный вестник Дона». 2023. №7. URL: <http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n7y2023/8569>
7. Лазарева Н. Б. Оптимальный подход к разработке программного обеспечения с использованием современных методологий и технических средств // Инженерный вестник Дона, 2020, №10. URL: <http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n10y2020/6625>
8. Collins K. PLC Programming for Industrial Automation. Exposure, 2006. P. 119.
9. Charyyeva, G. Power Surge: a threat to modern grids // Cognitio Rerum. 2024. No. 6. p. 22-23
10. Буцынская Т.А., Фёдоров В.Ю., Буй Суан Хоа. О сокращении временных задержек в АСУ противопожарной защитой объекта // Технологии техносферной безопасности: интернет-журнал. Вып. 5 (39). 2011. 4 .

References

1. Maksimov N.A., Marshanin E.V., "Primenenie bespilotnyh letatel'nyh apparatov"// Moskva: KNORUS, 2024. - 116 s.
2. A. R. Zaljaeva, A. M. Ajupova, T. R. Hajrutdinov, V. I. Kurir Raznovidnosti dvigatelej tjazhelyh i srednih BPLA // Nanotehnologii: nauka i proizvodstvo. – 2023. – № 2. – S. 58-64.
3. Urazbahtin R. R. Dvigateli dlja bespilotnyh letatel'nyh apparatov // MNIZh. 2017. №2-3 (56). URL: <http://cyberleninka.ru/article/n/dvigateli-dlya-bespilotnyh-letatelnyh-apparatov> (data obrashhenija: 14.04.2025).
4. Anhimjuk V.L. Teorija avtomaticheskogo regulirovanija. M.: Mangust, 2000. 144 s
5. PR200 Ustrojstvo upravljajushhie mnogofunkcional'noe: Rukovodstvo po jekspluatacii // Owen-Prom.Ru: 2019. URL: http://owen-prom.ru/files/pr200_1.pdf (data obrashhenija: 24.03.2025).
6. Dolidze A.N. Sravnitel'nyj analiz ključevyh osobennostej kontrollerov Siemens LOGO! i OVEN PR200, s cel'ju vzaimozameshhenija v uchebnom processe // «Inženernyj vestnik Dona». 2023. №7. URL: <http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n7y2023/8569>
7. Lazareva N. B. Optimal'nyj podhod k razrabotke programmogo obespechenija s ispol'zovaniem sovremennyh metodologij i tehničeskikh sredstv // Inženernyj vestnik Dona, 2020, №10. URL: <http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n10y2020/6625>
8. Collins K. PLC Programming for Industrial Automation. Exposure, 2006. R. 119.
9. Charyyeva, G. Power Surge: a threat to modern grids // Cognitio Rerum. 2024. No. 6. p. 22-23
10. Bucynskaja T.A., Fjodorov V.Ju., Buj Suan Hoa. O sokrashhenii vremennyh zaderzhek v ASU protivopozharnoj zashhitoj ob#ekta // Tehnologii tehnosfernoj bezopasnosti: internet-zhurnal. Vyp. 5 (39). 2011. 4 .