



влева// Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. – 2014. – Т.3. – С. 129-162.

6. Mirsayar, M.M. Tangential strain-based criteria for mixed-mode I/II fracture toughness of cement concrete/ M.M. Mirsayar, A. Razmi, F. Berto// Fatigue Fracture Engineering Materials Structure. – 2017. – P. 1-9.

7. Fakhri, M. Mixed mode tensile – In plane shear fracture energy determination for hot mix asphalt mixtures under intermediate temperature conditions/ M. Fakhri, E. Haghighat Kharrazi, M.R.M. Aliha// Engineering Fracture Mechanics – 2018. P. 98-113.

8. Ayatollahi, M.R. Experimental Determination of Mode II Fracture Resistance in Asphalt Concretes/ M.R. Ayatollahi, Sadjad Pirmohammad// 13th International Conference on Fracture – 2013.

В.С. Фетисов, И.В. Мирская, Р.А. Кильметов

## АВТОМАТИЗАЦИЯ ИСПЫТАНИЙ ВИНТОМОТОРНЫХ ГРУПП МАЛЫХ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

(Уфимский государственный авиационный технический университет)

В 2006 г. в Германии был изобретен мультикоптер – беспилотный летательный аппарат (БПЛА) вертолетного типа с несколькими несущими винтами. С тех пор во всем мире стали появляться многочисленные разработки различных разновидностей этих аппаратов. Основу силовой установки мультикоптера составляют бесколлекторные электродвигатели – достаточно дешевые и надежные двигатели, которые питаются от так называемых ESC (Engine Speed Control) – специальных преобразователей постоянного напряжения в трехфазное напряжение регулируемой частоты. Винтомоторная группа (ВМГ) – это совокупность электродвигателя и закрепленного на его валу воздушного винта.

Эффективность мультикоптера (а также связанные с этим грузоподъемность и время полета) зависят от того, насколько правильно подобраны его ВМГ. Другими словами, для определенной задачи должны быть правильно выбраны тип двигателя, диаметр и шаг винта, а также ESC и источник питания (которым является, как правило, аккумуляторная батарея со свойственными ей параметрами - напряжением, энергоемкостью и предельным током).

Большую помощь при разработке мультикоптеров оказывают различные устройства для испытания ВМГ (впрочем, не только мультикоптеров – при разработке аппаратов самолетного типа характеристики ВМГ не менее важны). В простейшем случае это динамометры для измерения тяги, развиваемой ВМГ (как правило, до 5 кгс). Несколько фирм выпускают различные испытательные стенды для измерения тяги и других параметров ВМГ. На этом рынке известны бренды Turnigy, Racerstar [1, 2] и др. (рис.1).



Рис. 1. Простой стенд от компании Turnigy

Часто индикация измеренных результатов осуществляется на жидкокристаллическом индикаторе, размещенном непосредственно на самом стенде. Для небольших ВМГ это оправдано. Так, на испытательном стенде Thrust Stand V3 от компании Racerstar (рис.2) есть два индикатора, на одном из которых индицируется тяга в выбранных единицах ( в граммах, унциях и др.), а на другом другие результаты измерений и вычислений: ток, напряжение, мощность, частота вращения, КПД, коэффициент KV (отношение частоты вращения к напряжению).

Однако для того, чтобы предоставить разработчику больше свободы и удобств в организации испытаний, такие стенды, конечно, необходимо подключать к компьютеру с соответствующим сервисным программным обеспечением.

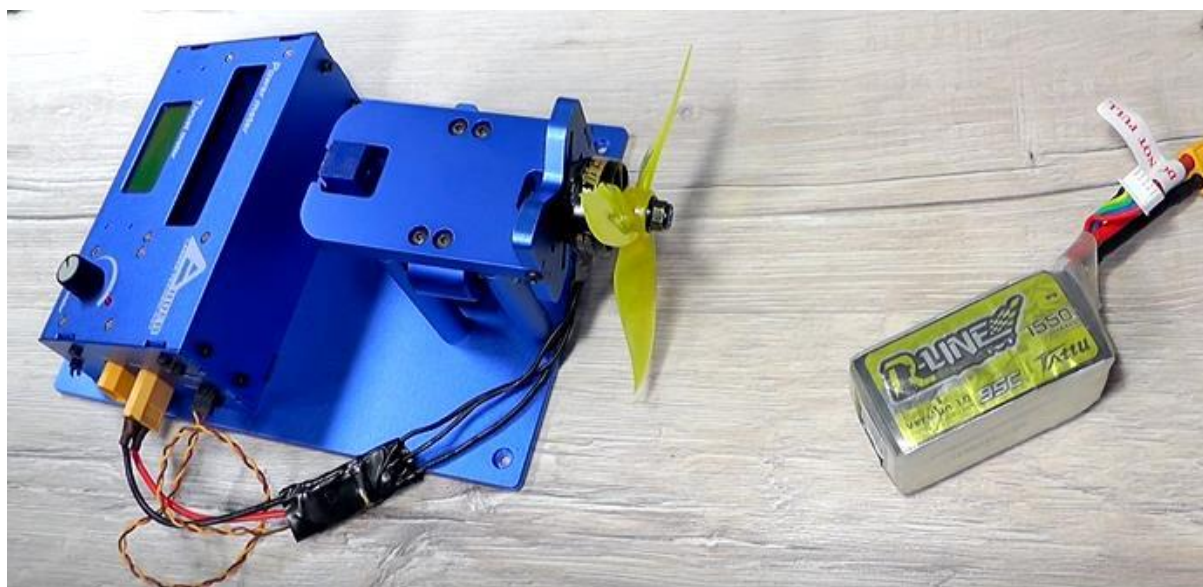


Рис. 2. Thrust Stand V3 от компании Racerstar



Хорошим примером специализированного компьютеризованного испытательного стенда являются изделия, производимые компанией Tyto Robotics (Канада). Компания производит целую линейку испытательных стендов: модельные ряды 1520, 1580 и 1780 отличаются размерами испытуемых ВМГ и сложностью оборудования. Во всех стендах есть модуль первичного преобразования, соединяемый посредством USB-интерфейса к компьютеру. Наиболее простой стенд серии 1520 позволяет измерять тягу (до 5 кгс), частоту вращения, напряжение и ток для небольших ВМГ (до 1400 Вт). Более совершенный стенд серии 1580 [3] кроме указанных параметров позволяет измерять еще крутящий момент, сопротивление обмоток, интенсивность вибраций (с помощью встроенного акселерометра) и температуру (рис.3). Модификации стенда серии 1780 предназначены для испытаний крупноразмерных ВМГ (тягой до 25 кгс). Специализированное программное обеспечение позволяет в процессе испытаний строить различные графики и сохранять данные в стандартных форматах, что очень важно для серьезного разработчика.

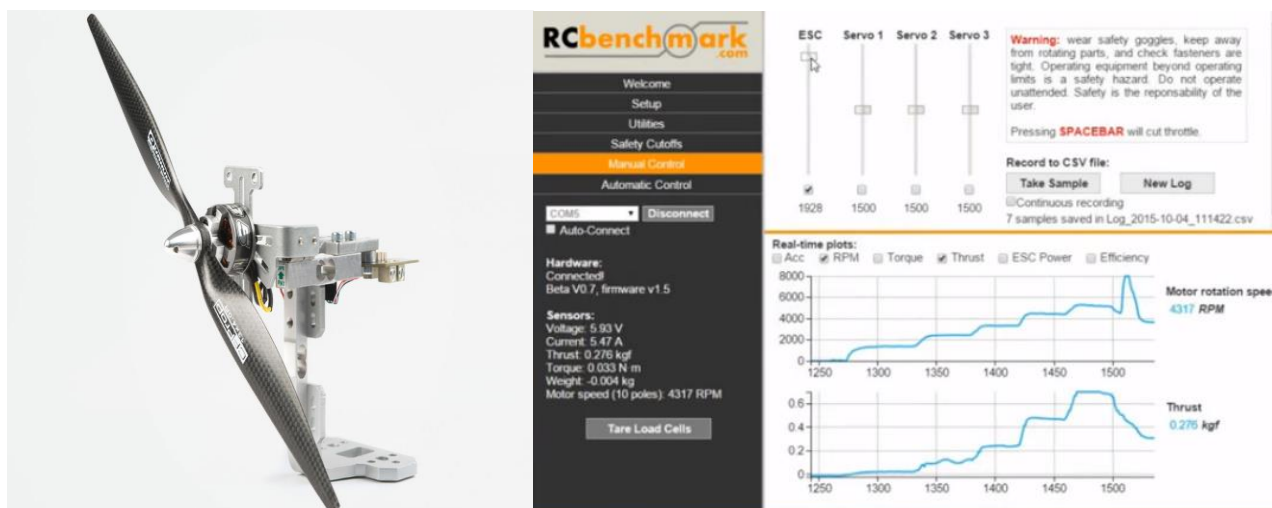


Рис. 3. Стенд серии 1580 от компании Tyto Robotics и вид экрана при испытаниях ВМГ

Однако во всех существующих испытательных стендах не заложена возможность проведения динамических испытаний ВМГ с целью определения их инерционных свойств (реакции на ступенчатое изменение частоты или напряжения). Результаты таких испытаний могли бы позволить производить предварительную настройку ПИД-коэффициентов для контуров управления, в которые включаются ВМГ на борту БПЛА.

Кроме того, существующие стенды, как правило, не имеют механических приспособлений для испытаний ВМГ с дополнительными элементами – защитными кольцами, сетками и т.п. Нет возможности также использовать спаренные соосные ВМГ. Для обработки измерительной информации более удобным и универсальным было бы программное обеспечение с открытым исходным кодом и возможностью доработок пользователем.



Указанные обстоятельства привели авторов к необходимости начать разработку собственного автоматизированного испытательного стенда, свободного от перечисленных недостатков.

### **Источники информации:**

1. <https://www.youtube.com/watch?v=vb6xuzENlzM> Review: Turnigy Thrust Measuring Stand.
2. <http://www.racerstar.com/Racerstar-Brushless-Motor-Thrust-Stand-V3-For-11mm-59mm-Outrunner-Motor-p-199.html> Racerstar Brushless Motor Thrust Stand V3 For 11mm-59mm Outrunner Motor.
3. <https://www.rcbenchmark.com/dynamometer-series-1580> Series 1580: Thrust Stand and Dynamometer

Д.В. Фетисов, Т.А. Фетисова, А.Н. Колесенков, С.И. Бабаев

## **СУБПИКСЕЛЬНАЯ ОБРАБОТКА АЭРОКОСМИЧЕСКИХ СНИМКОВ ПРИ ДИСТАНЦИОННОМ МОНИТОРИНГЕ ЗЕМЛИ**

(Рязанский государственный радиотехнический университет)

Научно-технические исследования и достижения в последнем тысячелетии в области развития космических технологий, систем получения, обработки, хранения, передачи способствуют расширению спектра задач, решаемых средствами дистанционного зондирования поверхности Земли [7]. Множество методов и способов аэрокосмической съёмки [1, 3] позволяют определить достаточно точно географическое положение анализируемых объектов, явлений и процессов, а на их основе получить качественные и количественные характеристики местности. Так для задач мониторинга Земли, недр или полезных ископаемых значимым аспектом является крупномасштабная цифровая съёмка, на основе которой производится оперативная обработка полученных данных. Одно из важнейших условий такой съёмки заключается в высокой разрешающей способности, непосредственно, самой камеры [1]. Современные цифровые фотоаппараты могут позволить получить требуемую точность и разрешение аэрокосмических снимков, но по большей части, с низких высот.

Однако предъявляемые требования точности оценки местоположения объектов, высокого разрешения цифрового снимка и, одновременно, большого охвата камеры с высоты более 1500 м, до сих пор не позволяют получать необходимое качество аэрокосмических снимков. Поэтому следует обратить внимание не на улучшение аэрокосмических фотоаппаратов, а на методы, повышающие разрешающую способность получаемых снимков, т.е. их качество. Существует несколько возможных путей повышения цифровых аэрокосмических снимков, среди которых можно выделить следующие:

1. Метод Канни [2, 8] – основан на определении и выделении границ объектов на снимке с помощью изменения интенсивности пикселей. Однако такое