

И.О. Иванов¹, М.С. Ананьевский², С.Ю. Кerpелева³, М.В. Абрамчук⁴

РАЗРАБОТКА ГИРОСКОПИЧЕСКОГО ИСПЫТАТЕЛЬНОГО СТЕНДА ДЛЯ БПЛА



¹Илья Олегович Иванов,
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра
Великого, Россия, Санкт-Петербург
Тел.: +7 900 996-53-59, E-mail: ilyagriff11@gmail.com



²Михаил Сергеевич Ананьевский,
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра
Великого, Россия, Санкт-Петербург
Тел.: +7 911 765-01-00, E-mail: msaipme@ya.ru.



³Светлана Юрьевна Кerpелева,
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра
Великого, Россия, Санкт-Петербург
Тел.: +7 921 926-34-62, E-mail: svetlana.yu.perepekina@gmail.com.



⁴Михаил Владимирович Абрамчук,
Университет ИТМО
Россия, Санкт-Петербург
Тел.: +7 905 275-51-86, E-mail: amv76@list.ru.

Аннотация

В работе рассмотрены вопросы, связанные с проектированием гироскопического стенда для проведения испытаний беспилотных летательных аппаратов. Стенд представляет собой универсальную площадку для испытаний как беспилотных летательных аппаратов, предложенных на рынке, так и для самостоятельно сконструированных приборов. Спроектированное устройство позволяет испытать не только конструктивные особенности, но и алгоритмы управления БПЛА.

Ключевые слова: испытательный стенд, беспилотные летательные аппараты.

Введение

На сегодняшний день наблюдается стремительное развитие технологий беспилотных летательных аппаратов (БПЛА). Они находят все более широкое применение в различных сферах, таких как: гражданская авиация, охрана окружающей среды, сельское хозяйство и оборонная промышленность [1, 2, 5]. В связи с повышением требований к надежности, безопасности и высокой функциональности БПЛА появляются новые задачи по созданию более совершенных и инновационных систем.

Одной из ключевых составляющих процесса разработки и усовершенствования БПЛА является создание испытательных стендов, позволяющих проводить всесторонние тестирования и испытания различных компонентов и систем беспилотных летательных аппаратов в контролируемых условиях [3]. Подобные испытательные стенды позволяют оценить эксплуатационные характеристики БПЛА, надежность, на ранних этапах разработок, что позволит сократить издержки при последующем производстве, и также при проведении летных испытаний.

На данный момент существует множество стендов для динамических испытаний квадрокоптеров. К ним относятся: температурные и климатические стенды, вибростенды, стенды для усталостных испытаний, имитаторы движения, комбинированные стенды и др. Гироскопические испытательные стенды можно отнести к комбинированным, т. к. при создании можно учесть возможности испытаний по различным параметрам [6, 7].

Гироскопические испытательные установки являются неотъемлемой частью разработки и тестирования БПЛА. Они обеспечивают получение точных данных при проведении контролируемых полетных испытаний. Стандартная процедура тестирования квадрокоптера представляет собой анализ поведения дрона с различными скоростями и характеристиками тяги. Используются тесты барометра и компаса, встроенных в полетный контроллер, с помощью PID настройки (пропорционально-интегрально-производная настройка). [8, 9]. Гироскопический испытательный стенд позволит получать точные результаты в надежных и безопасных условиях, без использования летных площадок. Тестирование в контролируемых условиях помогает усовершенствовать работу БПЛА, а также позволяет выполнять тренировочную функцию для пилотов, контролирующих полеты квадрокоптеров.

Целью работы является проектирование малогабаритного испытательного стенда для использования в том числе, и в учебном процессе.

На данный момент существует множество испытательных стендов для БПЛА в различных вариантах. Стенды имеют различные конструкции и возможности измеряемых величин. Это стенд ООО «Прикладная робототехника», не относящийся к гироскопическим, однако позволяющий обеспечить перемещение дрона относительно трех линейных направлений [10]. Возможность линейных перемещений позволяет в реальном времени наблюдать за поведением квадрокоптера в различных полетных условиях, что значительно повышает точность анализа его характеристик. Положения квадрокоптера в стенде определяется при помощи линейных датчиков положения.

Тестовый стенд для БПЛА от компании BROTHERHOOD, предназначенный для тестирования квадрокоптеров в контролируемых условиях, не требуя выезда на летный полигон. Помимо тестирования, установка может быть применена для обучения и тренировки будущих пилотов БПЛА. К недостаткам данного испытательного стенда также можно отнести отсутствие измерений любого рода данных, что сильно уменьшает его функциональность. Измерение углов наклона подвеса, векторов и подъемной силы не предусмотрено в данной установке. Единственными данными для анализа исправной работы беспилотника являются данные, непосредственно получаемые с испытуемого БПЛА. [11].

Стенд, описанный в патенте [12]. Данный стенд относится к категории испытательных машин для комплексных испытаний и тестирования БПЛА мультироторного типа.

Устройство для испытаний обеспечивает вращение БПЛА на 360 градусов в трех взаимно перпендикулярных плоскостях, что позволяет полностью имитировать различные полетные режимы, расширяя возможности проведения испытаний.

Конструкция стенда характеризуется компактностью и малым количеством деталей, что упрощает процессы изготовления и сборки. Для изготовления стенда возможно использование металла, с применением как обычного, так и литевого прессования, а также современные технологии, такие как трехмерная печать. Однако для создания данной конструкции требуется соблюдение высокой точности изготовления комплектующих, а также точный расчет всех составляющих испытательного стенда, в особенности резиновых лент, которые выполняют роль фиксации установки в начальном положении.

Данная установка позволяет проводить проверку максимальной полезной грузоподъемности летательного аппарата [12]. К недостаткам данной конструкции относится невозможность измерения углов наклона подвеса квадрокоптера и его векторов, что необходимо предусмотреть в

рамках данной работы. Кроме того, система не представляет собой гироскопическую, что тоже является отрицательным аспектом.

Особый интерес представляет стенд, собранный в Самарском Университете (рис. 1) [13].



Рис. 1. Гироскопический стенд Самарского университета

Конструкция представляет собой каркас в форме куба с массивной нижней частью, выполняющей роль фундамента для обеспечения устойчивости системы. Каркас состоит из профильных алюминиевых труб, скрепленных между собой соединением «болт-гайка», что обеспечивает удобную сборку установки.

Испытательный стенд оснащен хорошо спроектированной гироскопической системой, состоящей из двух колец, вращающихся вокруг двух различных осей. Вращение вокруг третьей оси осуществляется за счет вращения пластины, к которой непосредственно крепится квадрокоптер. Также было заявлено, что данная конструкция способна полностью имитировать реальный полет БПЛА, включая вибрации и динамические изменения. Данный испытательный стенд может получать все необходимые по заданию данные, что обеспечивает высокую точность изучения поведения БПЛА.

Однако конструкция не оснащена защитными щитами или сетками, что может привести к повреждению дрона и создать опасность для работников, находящихся поблизости. Кроме того, было установлено, что крепление вращающейся пластины имеет только одно фиксированное положение, что исключает возможность смещения центра масс дрона.

Результаты

Итоговая система представляет собой гироскопическую систему подвеса квадрокоптера. Каркас данной системы выполнен в форме куба с ребром 1 метр. Данный куб имеет систему жесткого крепления и выдерживает 5 кг подъемной силы без движения. Предусмотрена возможность установки на куб защитных сеток или экранов для предотвращения вылета дрона за пределы испытательной зоны.

На рисунке 2 представлена разработанная конструкция испытательного стенда.

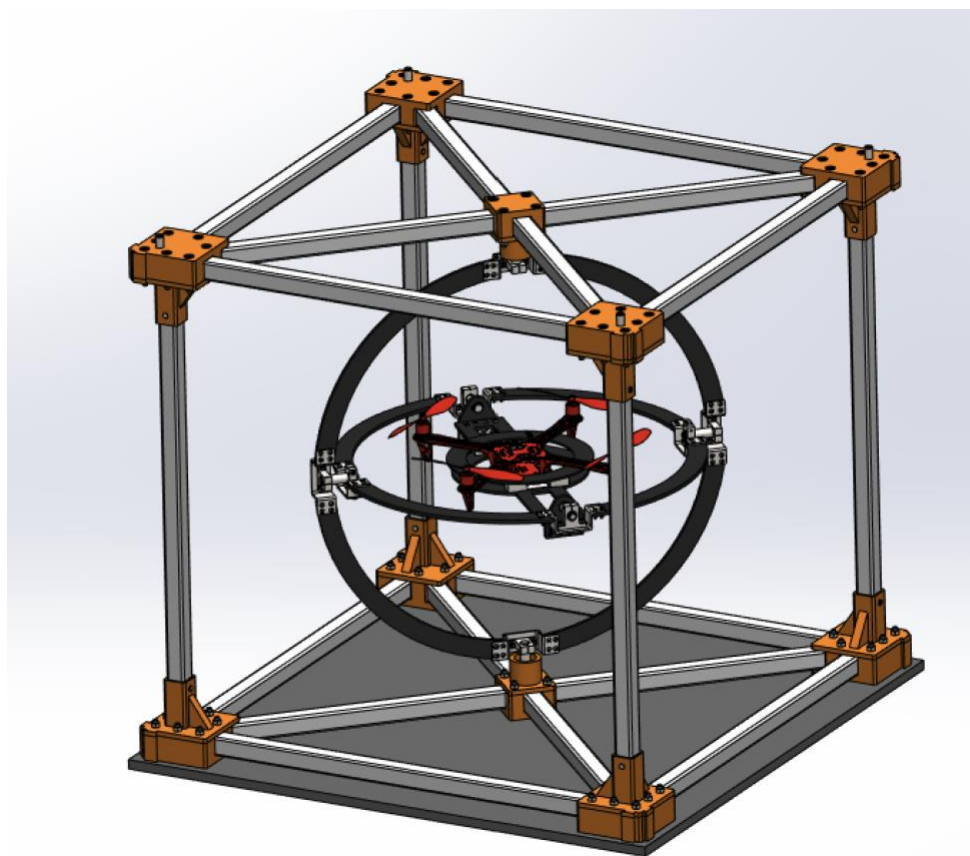


Рис. 2. Конструкция испытательного стенда для БПЛА

В каркасе крепится гироскопическая система, в которой будет зафиксирован квадрокоптер. Гироскопическая система обеспечивает вращение дрона вокруг трех осей. Данная система также обеспечивает ориентацию в пространстве и поддержание угловой скорости. В основе работы данной системы лежит гироскопический эффект. [4]. Принцип заключается в том, что ось вращающегося объекта стремится сохранять свое направление в пространстве, даже в случае внешних воздействий. Благодаря гироскопической системе испытательный стенд позволит в реальном времени производить настройки управления квадрокоптером,

менять алгоритмы управления и проводить пробные контролируемые полеты. [2, 4]. Вращение вокруг трех осей обеспечивается за счет подшипниковых узлов. Вращение большого кольца обеспечивается при помощи радиально-упорных подшипников, а вращение оставшихся двух колец при помощи игольчатых подшипников, в связи с тем, что они имеют меньшие габариты и предназначены для вращений при сравнительно небольших скоростях.

Гироскопическая система крепится к каркасу при помощи соединительных конструкций, скрепляемых соединением «болт-гайка». Первый подшипниковый узел будет находиться в данных соединительных конструкциях.



Рис. 3. Каркасная конструкция с надетыми защитными сетками

Для возможности точного и качественного тестирования БПЛА, в конструкции гироскопической системы необходимо предусмотреть возможность измерения углов наклона подвеса квадрокоптера, вектора и подъемной силы. Для измерения углов наклона подвеса квадрокоптера и его вектора будут использоваться модули пространственной ориентации IMU MPU-9250 (гироскоп, акселерометр, магнитометр) [14], а для измерения подъемной силы – тензорезисторный датчик T24A [15]. Их крепление будет осуществляться непосредственно во вращающемся узле, к которому крепится БПЛА, для обеспечения необходимой точности измерения.

Материалы для изготовления каркаса и для крепежных узлов были выбраны алюминий АД31Т1 и сталь 25 в связи с их технологичностью и прочностными характеристиками.

Для элементов гироскопической системы, представленных в конструкции был выбран полимерный композит с углеродным наполнителем для облегчения конструкции.

В случае неконтролируемого полета дрона, открепившегося от гироскопической системы, тот будет остановлен рамой с сетью (рис. 3) из капроновой ткани. Таким образом квадрокоптер будет остановлен с меньшими повреждениями.

Заключение

Спроектированный стенд представляет собой гироскопическую систему подвеса квадрокоптера. Каркас данной системы выполнен в форме куба с ребром 1 метр. Спроектированный стенд позволит проводить испытания БПЛА без необходимости задействования летных полигонов. На стенде будут проводиться испытания БПЛА с точки зрения как конструктивных особенностей, а также и управления.

Стенд будет использоваться для научных исследований, а также в учебном процессе при подготовке студентов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Рынок БПЛА в России: развитие и перспективы [Электронный ресурс] // Московский государственный университет геодезии и картографии. URL: https://www.miigaik.ru/about/news/5832/?sphrase_id=508864 (дата обращения: 04.12.2024).
- [2] Технология испытания дронов [Электронный ресурс] // MMCUAV. URL: <https://www.mmcuav.com/ru/technologies/drone-testing-technology/> (дата обращения: 04.12.2024).
- [3] Тарасов Я.О. Квадрокоптеры: проектирование, конструирование и испытания // Киберленинка. 2023. Вып. 5. С. 21–27.
- [4] Испытания квадрокоптеров на гироскопических стендах [Электронный ресурс] // Московский Технический Университет Связи и Информатики. URL: https://mtuci.ru/science/tsentr_transfera_tekhnologiy/services_and_developments/detail.php?id=8346&utm_source=google.com&utm_medium=organic&utm_campaign=google.com&utm_referrer=google.com (дата обращения: 06.12.2024).
- [5] Кузнецов Г.А., Кудрявцев И.В., Крылов Е.Д. Ретроспективный анализ, современное состояние и тенденции развития отечественных беспилотных летательных аппаратов // Инженерный журнал: наука и инновации. 2018. №9 (81). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/retrospektivnyy-analiz-sovremennoe-sostoyanie-i-tendentsii-razvitiya-otechestvennyh-bespilotnyh-letatelnyh-apparatov>
- [6] Каримов А.Х. Возможности беспилотных авиационных систем следующего поколения // Электронный журнал «Труды МАИ».

- Выпуск № 47 // Московский авиационный институт URL: <https://mai.ru/upload/iblock/020/vozmozhnosti-bespilotnykh-aviatsionnykh-sistem-sleduyushchego-pokoleniya.pdf>
- [7] Kraev V.M., Siluyanov M.V., Tikhonov A.I. Creation of supersonic civil aviation in Russia // Russian Engineering Research. 2020. T. 40. № 9. С. 755-758.
- [8] Paweł Ćwiakała. Testing Procedure of Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) Trajectory in Automatic Missions August 2019. Applied Sciences 9(17): 3488 DOI: 10.3390/app9173488.
- [9] Marius Boshoff, Gustavo Barros, Bernd Kuhlenkötter. Performance measurement of unmanned aerial vehicles to suit industrial applications. November 2024 Production Engineering 18(6). DOI: 10.1007/s11740-024-01313-y.
- [10] Учебный стенд для отработки навыков управления квадрокоптером [Электронный ресурс] // Robot Geeks. URL: https://mtuci.ru/science/tsentr_transfera_tekhnologiy/services_and_developments/detail.php?id=8346&utm_source=google.com&utm_medium=organic&utm_campaign=google.com&utm_referrer=google.com (дата обращения: 07.12.2024).
- [11] Тестовый стенд для БПЛА 10 дюймов [Электронный ресурс] // BROTHERHOOD. URL: <https://brother-hood.com.ua/ua/p2095783403-testovyyj-stend-dlya.html> (дата обращения: 07.12.2024).
- [12] RU 2862664 С1. Стенд для комплексного тестирования и настройки систем беспилотного летательного аппарата мультироторного типа / Сущенко Д.О., Болясов Д.А. Опубл. 16.09.2024. Бюл. №26. МО, г. Балашиха.
- [13] Самарские ученые разработали уникальный тренажер, который упростит и ускорит обучение пилотов БПЛА [Электронный ресурс] // Самарский Университет. URL: <https://ssau.ru/news/18853-samarskie-uchenye-razrabotali-unikalnyy-trenazher-kotoryy-uprostit-i-uskorit-obuchenie-pilotov-bpla> (дата обращения: 07.12.2024).
- [14] iArduino.ru: [сайт]/учредитель ООО «iArduino». – Москва, 2013. Обновляется в течение суток. – URL: <https://iarduino.ru/shop/Sensory-Datchiki/mpu-9250-9dof-giroskop-akselerometr-kompas.html> (дата обращения: 06.12.2024). 6. Tenso-m.ru: [сайт]/учредитель ООО «Тензо-М». – Санкт-Петербург, 2024. Обновляется в течение суток. – URL: <https://spb.tenso-m.ru/tenzodatchiki/single-point/85/> (дата обращения: 06.12.2024).
- [15] Tenso-m.ru: [сайт]/учредитель ООО «Тензо-М». – Санкт-Петербург, 2024. Обновляется в течение суток. – URL: <https://spb.tenso-m.ru/tenzodatchiki/single-point/85/> (дата обращения: 06.12.2024).

FORMATION OF INFORMATION CULTURE OF STUDENTS IN THE STUDY OF PROFESSIONAL DISCIPLINES

^{1,2,3}Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, Russia;

⁴ITMO University, Russia.

Abstract

The paper considers issues related to the design of a gyroscopic test bench for testing unmanned aerial vehicles. The bench is a universal testing platform for both UAVs offered on the market and for self-designed devices. The designed device allows testing not only the design features, but also the control algorithms of the UAV.

Keywords: test bench, unmanned aerial vehicles.

REFERENCES

- [1] The UAV market in Russia: development and prospects [Electronic resource] // Moscow State University of Geodesy and Cartography. URL: https://www.miigaik.ru/about/news/5832/?sphrase_id=508864 (date of access: 04.12.2024).
- [2] Drone testing technology [Electronic resource] // MMCUAV. URL: <https://www.mmcuav.com/ru/technologies/drone-testing-technology/> (date of access: 04.12.2024).
- [3] Tarasov Ya.O. Quadcopters: design, construction and testing // Cyberleninka. 2023. Issue 5. Pp. 21–27.
- [4] Testing quadcopters on gyroscopic stands [Electronic resource] // Moscow Technical University of Communications and Informatics. URL: https://mtuci.ru/science/tsentr_transfera_tekhnologiy/services_and_developments/detail.php?id=8346&utm_source=google.com&utm_medium=organic&utm_campaign=google.com&utm_referrer=google.com (accessed: 06.12.2024).
- [5] Kuznetsov G.A., Kudryavtsev I.V., Krylov E.D. Retrospective analysis, current state and development trends of domestic unmanned aerial vehicles // Engineering Journal: Science and Innovation. 2018. No. 9 (81). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/retrospektivnyy-analiz-sovremennoe-sostoyanie-i-tendentsii-razvitiya-otchestvennyh-bespilotnyh-letatelnyh-apparatov>
- [6] Karimov A.Kh. Capabilities of Next-Generation Unmanned Aircraft Systems // Electronic Journal "Proceedings of MAI". Issue No. 47 //

- Moscow Aviation Institute URL:
<https://mai.ru/upload/iblock/020/vozmozhnosti-bespilotnykh-aviatsionnykh-sistem-sleduyushchego-pokoleniya.pdf>
- [7] Kraev V.M., Siluyanov M.V., Tikhonov A.I. Creation of Supersonic Civil Aviation in Russia // Russian Engineering Research. 2020. Vol. 40. No. 9. P. 755-758.
 - [8] Paweł Ćwiakała. Testing Procedure of Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) Trajectory in Automatic Missions August 2019. Applied Sciences 9(17): 3488 DOI: 10.3390/app9173488.
 - [9] Marius Boshoff, Gustavo Barros, Bernd Kuhlenkötter. Performance measurement of unmanned aerial vehicles to suit industrial applications. November 2024 Production Engineering 18(6). DOI: 10.1007/s11740-024-01313-y.
 - [10] Training rig for practicing quadcopter control skills [Electronic resource] // Robot Geeks. URL: https://mtuci.ru/science/tsentr_transfera_tekhnologiy/services_and_developments/detail.php?id=8346&utm_source=google.com&utm_medium=organic&utm_campaign=google.com&utm_referrer=google.com (accessed: 07.12.2024).
 - [11] Test stand for 10-inch UAV [Electronic resource] // BROTHERHOOD. URL: <https://brother-hood.com.ua/ua/p2095783403-testovyyj-stend-dlya.html> (accessed: 07.12.2024).
 - [12] RU 2862664 C1. Stand for complex testing and adjustment of multicopter unmanned aerial vehicle systems / Sushchenko D.O., Bolyasov D.A. Published 16.09.2024. Bulletin No. 26. MO, Balashikha.
 - [13] Samara scientists have developed a unique simulator that will simplify and speed up the training of UAV pilots [Electronic resource] // Samara University. URL: <https://ssau.ru/news/18853-samarskie-uchenyeyarabotali-unikalnyy-trenazher-kotoryy-uprostit-i-uskorit-obucheniye-pilotov-bpla> (date of access: 07.12.2024).
 - [14] iArduino.ru: [website]/founder of iArduino LLC. - Moscow, 2013. Updated within 24 hours. – URL: <https://iarduino.ru/shop/Sensory-Datchiki/mpu-9250-9dof-giroskop-akselerometr-kompas.html> (date of access: 06.12.2024). 6. Tenso-m.ru: [website]/founder Tenso-M LLC. – St. Petersburg, 2024. Updated within 24 hours. – URL: <https://spb.tenso-m.ru/tenzodatchiki/single-point/85/> (date of access: 06.12.2024).
 - [15] Tenso-m.ru: [website]/founder of Tenso-M LLC. – Saint Petersburg, 2024. Updated within 24 hours. – URL: <https://spb.tenso-m.ru/tenzodatchiki/single-point/85/> (date accessed: 06.12.2024).