

*Дубровин Сергей Игоревич*

*Академия Федеральной службы охраны Российской Федерации*

*сотрудник*

*Россия, г. Орёл*

*Научный руководитель: Меркулов Павел Александрович*

*Академия Федеральной службы охраны Российской Федерации*

*сотрудник*

*Россия, г. Орёл*

## **ОПТОВОЛОКОННЫЙ ДАТЧИК И ЕГО ПРИМЕНЕНИЕ В БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТАХ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ТОКА**

***Аннотация:** В данной статье рассматривается применение волоконно-оптических датчиков (ВОД) в сенсорных технологиях, подчеркиваются ключевые преимущества ВОД, такие как их компактность, легкость, простота установки, экономичность и устойчивость к электромагнитным помехам, что делает их идеальными для измерения широкого спектра параметров. Подчеркивается, что ВОД обеспечивают надежность измерений благодаря их невосприимчивости к электромагнитным помехам, что делает их предпочтительным выбором для интеграции в системы БПЛА.*

***Ключевые слова:** волоконно-оптические датчики, сенсорные технологии, оптоволоконные датчики тока (ОДТ), блок управления полетом (FCU)*

***Annotation:** This article reviews the application of fiber optic sensors (FOS) in sensor technologies, highlighting the key advantages of FOS such as their compactness, lightness, ease of installation, cost-effectiveness, and immunity to*

*electromagnetic interference, making them ideal for measuring a wide range of parameters. It is emphasized that VODs provide reliable measurements due to their immunity to electromagnetic interference, making them the preferred choice for integration into UAV systems.*

**Key words:** *Fiber optic sensors, sensor technology, fiber optic current sensors (FCU), flight control unit (FCU).*

Волоконно-оптические датчики приобретают все большее значение в области сенсорных технологий. По сравнению с традиционными устройствами волоконно-оптические датчики имеют множество преимуществ. Эти устройства компактны, легки, просты в установке, недороги и нечувствительны к электромагнитным помехам, что является ключевыми характеристиками, необходимыми для сенсорных приложений. Таким образом, волоконно-оптические датчики чрезвычайно универсальны для измерения изменений температуры, деформации, внешнего показателя преломления, давления, влажности и электрического тока в высоковольтных средах.

Оптические датчики тока с использованием оптических волокон исследуются с 1960-х годов. С тех пор несколько исследователей предложили и продемонстрировали ряд практических приложений, использующих оптоволоконные датчики тока (ОДТ). Одна из наиболее популярных конфигураций для измерения тока основана на магнитооптическом эффекте, известном как эффект вращения Фарадея. Например, OFCS на основе эффекта Фарадея для измерения тока плазмы в токамаках. Описаны длиннопериодная волоконная решетка (ДПВР) и чувствительный элемент на основе эффекта Фарадея для измерения электрического тока в линиях передачи, использовать эффект вращения Фарадея с помощью ДПВР, вписанной в волокно, поддерживающее поляризацию, в качестве сенсорного демодулятора. Однако эти методы подвержены влиянию двулучепреломления волокна и ограничены

малой постоянной Верде кремния, что требует очень длинного волокна для повышения чувствительности.

Для того чтобы дистанционно управлять БПЛА, пользователю необходимо посылать командные сигналы на самолет и таким образом регулировать скорость вращения четырех двигателей БПЛА. Другими словами, оператор регулирует широтно-импульсную модуляцию (ШИМ) с помощью беспроводного радиоуправления на радиочастоте 2,4 ГГц (РЧ), указывая желаемую команду. Сигналы ШИМ не воздействуют непосредственно на двигатели БПЛА. На самом деле, блок управления полетом (FCU) внутри летательного аппарата принимает ШИМ-сигналы и передает их на электронный модуль управления скоростью (ESC). Модуль ESC питается от аккумулятора БПЛА и управляет вращением двигателя для обеспечения требуемых условий полета.

На рис. 1 показана подробная зависимость между рабочим циклом ШИМ-сигналов и электрическим током, потребляемым одним двигателем БПЛА, измеренным обычным амперметром с зажимом. Двигатель БПЛА требует большего электрического тока при высоких рабочих циклах, поэтому его реакция не является линейной во всем рабочем диапазоне, и он достигает предела скорости вращения, когда рабочий цикл ШИМ-сигнала составляет 73%, что соответствует 10 А.

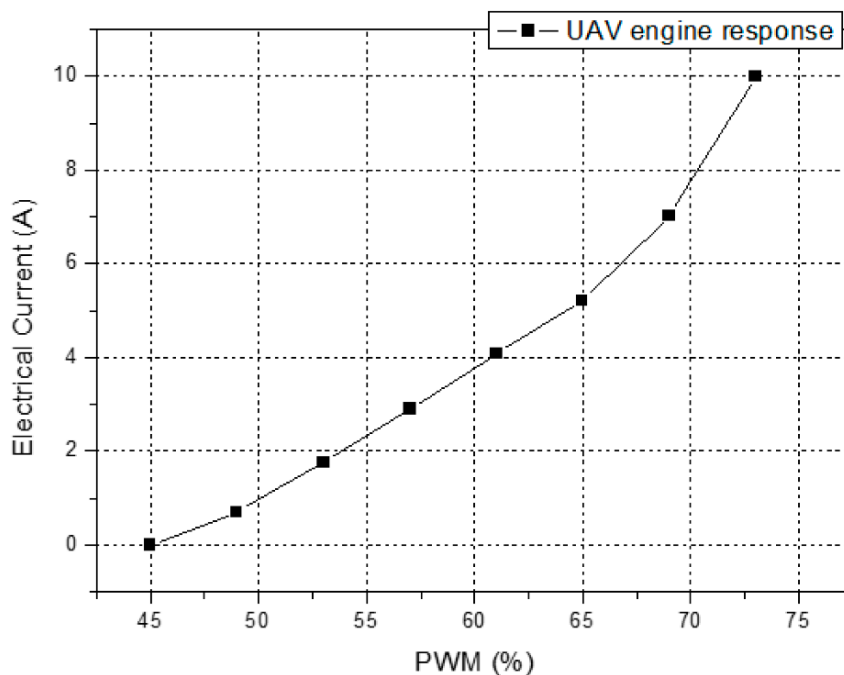


Рисунок 1. Измеренный электрический ток, потребляемый тестируемым двигателем БПЛА, в зависимости от различных рабочих циклов ШИМ-сигналов

Помимо радиочастотной передачи сигналов пилота на воздушный аппарат на частоте 2,4 ГГц, в систему БПЛА встроены и другие коммуникационные технологии, такие как система глобального позиционирования (GPS), бортовые сигналы WiFi, передающие видеосигналы обратно пилоту, и телеметрия. Кроме того, существует шум, который могут вызывать электромагнитные помехи (ЭМИ), генерируемые двигателями летательного аппарата и электронными блоками управления. Таким образом, учитывая все эти аспекты, использование OFCS обеспечивает надежные измерения электрического тока благодаря его невосприимчивости к ЭМИ от компонентов БПЛА и нечувствительности к спутанным частотам в том же диапазоне, чего не обеспечивают обычные датчики.

Таким образом, волоконно-оптические датчики тока (ОДТ) представляют собой перспективное направление в области сенсорных технологий, обеспечивая высокую точность и надежность измерений в условиях, где традиционные датчики могут быть неэффективны.

Использование эффекта Фарадея в ОДТ позволяет измерять электрический ток без прямого контакта с измеряемой средой, что делает их идеальными для применения в высоковольтных и электромагнитно-загруженных средах, таких как токамаки и линии электропередач. Несмотря на некоторые ограничения, такие как двулучепреломление волокна и малая постоянная Верде кремния, современные разработки направлены на улучшение характеристик ОДТ, расширяя их функциональные возможности и области применения.

Применение ОДТ в управлении беспилотными летательными аппаратами (БПЛА) демонстрирует их способность обеспечивать точные измерения в динамичных и помехозащищенных условиях. Это открывает новые горизонты для развития авиационной техники и повышения безопасности полетов. В целом, ОДТ играют ключевую роль в развитии сенсорных систем, способствуя созданию более безопасных и эффективных технологических решений в различных отраслях промышленности.

#### **Использованные источники:**

1. J. C. Juarez и Н. F. Taylor. «Полевые испытания распределенной системы волоконно-оптических датчиков проникновения для длинных периметров», Прикладная оптика, том 46, № 11, стр. 1968-1971, 2007.
2. Ш.-Ч. Хуанг и Х. Лин, «Обработка сигнала счета и методы нормализации уровня счета для поляризационно-нечувствительных волоконно-оптических интерферометрических датчиков Майкельсона», Прикладная оптика, том 45, № 35, стр. 8832-8838, 2006.
3. Jonas H. Osório, et al., «Упрощение конструкции микроструктурированных оптоволоконных датчиков давления», Scientific Reports, 7, 2017.
4. S. Poeschel, et al., Оптоволоконные датчики давления в медицинских приложениях, Sensors, № 15(7), pp. 17115-17148, 2015.