

Вольф Д.А., Галин Р.Р.

Общетеоретические и методологические вопросы обеспечения безопасности при разработке полетного контроллера для БПЛА: управление в процессе постановки экспериментов

Аннотация: Статья посвящена разработке и проведению безопасных экспериментов с беспилотными летательными аппаратами (БПЛА). Рассматриваются ключевые этапы управления БПЛА и аспекты, обеспечивающие безопасность на различных стадиях эксперимента. Работа будет полезна специалистам в области разработки беспилотных систем, а также всем, кто интересуется вопросами безопасного использования БПЛА.

Ключевые слова: беспилотный летательный аппарат, квадрокоптер, процесс, полетный контроллер, регулятор, эксперимент, управление, безопасность

Введение

С ростом популярности беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) все более актуальной становится задача обеспечения безопасности их эксплуатации. Особое внимание следует уделять мерам безопасности в процессе разработки отдельных компонентов БПЛА. Проведение безопасного эксперимента на этапе разработки критически важно [1].

Объектом исследования является процесс управления квадрокоптером, а предметом – механизмы и процессы, обеспечивающие безопасность его эксплуатации.

Работа актуальна, поскольку существует потребность в тщательном анализе механизмов управления квадрокоптерами как сложными техническими системами. Полученные в ходе исследования данные о принципах безопасного функционирования БПЛА могут стать базой для разработки методик безопасного проведения экспериментальных работ.

В качестве цели исследования выступает анализ вклада основных и сопутствующих процессов управления квадрокоптером

в обеспечение безопасности сложных систем и определение ключевых детерминант стабильности и безопасности полета.

Теоретическая значимость исследования заключается в углублении понимания принципов управления сложными техническими системами на примере квадрокоптеров. Практическая значимость состоит в возможности применения полученных результатов для повышения безопасности эксплуатации БПЛА.

1. Управление полетом БПЛА: последовательность этапов и ключевые компоненты системы

Процесс управления БПЛА инициируется путем задания оператором целевых параметров (уставок), включающих необходимые значения ориентации, высоты и скорости полета. После этого регулятор, опираясь на заданные уставки и актуальные данные о текущем состоянии полета, вырабатывает управляющие сигналы, предназначенные для полетного контроллера. Полетный контроллер преобразует эти сигналы в команды, адресованные двигателям БПЛА.

Для обеспечения эффективного управления на борту БПЛА предусмотрена система датчиков, которая осуществляет сбор информации о ряде физических параметров.

Собранные данные подвергаются обработке в полетном контроллере, что позволяет рассчитать параметры, необходимые для управления и стабилизации полета БПЛА. Последующий цикл управления реализуется с учетом обновленных данных, что обеспечивает выполнение полетного задания в соответствии с заданными оператором уставками.

Детальное описание процессов, реализуемых в полетном контроллере при управлении БПЛА, может быть представлено в следующем виде [2] (рисунок 1):

Состояние 1: получение задающего воздействия.

На первом этапе оператор БПЛА задает уставки, включающие целевые значения:

- тангажа;
- крена;
- рысканья;
- мощности (газа).

Состояние 2: управление с использованием регуляторного механизма.

Регулятор на основе заданных уставок и текущих параметров полета (измеренных угловых скоростей, ускорений и других показателей) формирует управляющие сигналы для полетного контроллера. В настоящее время в полетном контроллере [3] реализовано управление с применением пропорционально-интегрально-дифференциального (ПИД) регулятора.

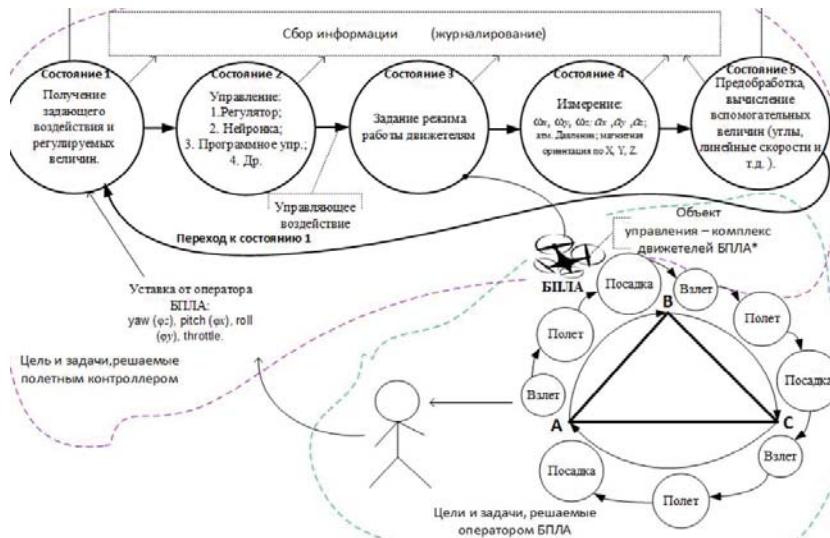


Рисунок 1 – Схема основных и сопутствующих процессов, протекающих в процессе управления полетом квадрокоптерной системой

Регулятор анализирует входные данные для определения необходимого управляющего воздействия, которое впоследствии обрабатывается на следующем этапе.

Состояние 3: определение режима функционирования двигателей.

Полетный контроллер генерирует широтно-импульсную модуляцию (ШИМ) сигналов для каждого двигателя, что позволяет обеспечить требуемые угловые и скоростные характеристики.

Состояние 4: процедура измерения.

С помощью сенсорной системы производится измерение:

- угловых скоростей;
- линейных ускорений;
- атмосферного давления;
- параметров магнитной ориентации.

Данные измерения осуществляются при помощи датчиков, интегрированных в систему полетного контроллера.

Состояние 5: предварительная обработка данных и расчет вспомогательных параметров.

Контроллер выполняет обработку собранных данных, рассчитывая необходимые для управления БПЛА величины (углы, скорости и т. д.).

После завершения пятого состояния происходит возврат к первому состоянию, и полетный контроллер продолжает управлять БПЛА на основе обновленных входных данных и рассчитанных параметров.

2. Безопасность управления экспериментальным БПЛА: от отдельных процессов к комплексной системе

Рассмотрим, как основные и сопутствующие процессы при разработке полетного контроллера для экспериментального БПЛА влияют на безопасность системы в целом. Постановка экспериментов позволит выявить ключевые аспекты управления и усовершенствовать алгоритмы работы контроллера.

Получение задающего воздействия. На первом этапе в ходе эксперимента оператор задает уставки – требуемые значения ориентации, высоты, скорости и других параметров. Это позволяет четко определить цели и ограничения для полета, что является основой безопасного управления. В ходе экспериментов важно фиксировать, как система реагирует на различные уставки, чтобы выявить возможные уязвимости и непредсказуемое поведение.

Управление на основе регулятора. В рамках экспериментов регулятор обрабатывает уставки и текущую информацию о полете, формируя управляющие сигналы для полетного контроллера. Тестирование различных методов управления (например, ПИД-регулятора или алгоритмов на основе нейронных сетей) поможет определить, какой подход обеспечивает наиболее точное следование

заданным параметрам и способствует стабильности и безопасности полета.

Сигналы управления двигателями. В экспериментах особое внимание уделяется тому, как полетный контроллер передает управляющие сигналы на двигатели и обеспечивает требуемые значения углов и скоростей. Точное управление двигателями – критически важный аспект для поддержания курса и высоты, поэтому в ходе испытаний необходимо тщательно анализировать работу этой системы [4].

Сбор данных. Экспериментальный БПЛА оснащен датчиками, которые собирают данные об ускорении, угловой скорости, давлении и магнитной ориентации. В ходе экспериментов проводится мониторинг этих параметров, что позволяет своевременно выявлять отклонения от заданных уставок и оценивать, насколько эффективно система корректирует свое состояние.

Обработка данных и расчет параметров управления. В процессе экспериментов контроллер обрабатывает полученные данные, вычисляя необходимые величины для управления БПЛА. Анализ результатов покажет, насколько хорошо система адаптируется к изменениям внешней среды и состояния аппарата, и поможет предотвратить возможные аварийные ситуации в будущем.

Стабилизация полета. В ходе экспериментов регулятор контроллера использует рассчитанные параметры для стабилизации БПЛА в полете. Эффективность стабилизации – один из главных факторов безопасности, поскольку она помогает избежать потери управления и крушения. Эксперименты помогут определить, какие алгоритмы наиболее эффективны для стабилизации полета в различных условиях.

Таким образом, разработка полетного контроллера для экспериментального БПЛА требует:

- четкой последовательности этапов управления;
- использования надежных методов регулирования;
- постоянного мониторинга параметров с помощью датчиков;
- быстрой обработки данных и адаптации к изменениям;
- эффективной стабилизации системы.

Заключение

Анализ процесса управления БПЛА позволяет сделать вывод о том, что эффективное и безопасное управление беспилотным аппаратом требует четкой последовательности этапов и слаженной работы всех компонентов системы управления.

Проводя эксперименты и анализируя их результаты, можно существенно повысить безопасность и эффективность управления экспериментальным БПЛА. Эти процессы показывают, как важно учитывать каждый этап управления и обеспечивать его корректную работу для гарантии безопасности при эксплуатации системы.

Литература:

1. *Ma B., Chen M.* Safety flight envelope calculation and protection control of UAV based on disturbance observer // Security and Safety. – 2023. – Vol. 2. – 2023020. – DOI: 10.1051/sands/2023020.
2. *Вольф Д.А., Широков А.С.* Исследование основных и сопутствующих процессов управления полетом квадрокоптерной системы / Труды 14-го Всероссийского совещания по проблемам управления. – М.: ИПУ РАН, 2024. – С. 1171-1175.
3. *Вольф Д.А., Александров В.А., Резков И.Г.* Автоматизация поведения пилота БПЛА с применением отечественного микроконтроллера // Промышленные АСУ и контроллеры. – 2023. – № 3. – С. 9-16.
4. *Dong T., Zhang Y., Xiao Q., Huang Y.* The Control Method of Autonomous Flight Avoidance Barriers of UAVs in Confined Environments // Sensors. – 2023. – 23(13). – 5896. – DOI: 10.3390/s23135896.