

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ Н.Г.ЧЕРНЫШЕВСКОГО»

Кафедра физики открытых систем
наименование кафедры

Проектирование и реализация модуля автопилота БПЛА
наименование темы выпускной квалификационной работы полужирным шрифтом

АВТОРЕФЕРАТ МАГИСТЕРСКОЙ РАБОТЫ

студента (ки) 2 курса 2241 группы

направления 09.04.02 Информационные системы и технологии
код и наименование направления

Института
физики

наименование факультета
Беликова Александра Александровича

фамилия, имя, отчество

Научный руководитель
Доцент, к.ф.-м. н.

должность, ученая степень, уч. звание

подпись, дата

Л.В.Бессонов
Инициалы Фамилия

Зав. кафедрой физики открытых систем
полное наименование кафедры

Профессор, д.ф.-м. н.

должность, ученая степень, уч. звание

подпись, дата

А.А. Короновский
Инициалы Фамилия

Саратов 2025 г.

Общая характеристика

В настоящее время беспилотные летательные аппараты (БПЛА) самолетного типа привлекают значительное внимание в научных кругах и являются объектом интенсивных исследований. Эти исследования направлены на улучшение их функциональных возможностей, автономности и эффективности применения в различных областях, таких как разведка, мониторинг окружающей среды и доставка грузов. Ученые и инженеры работают над совершенствованием технологий, которые позволят БПЛА самолетного типа выполнять более сложные задачи с повышенной точностью и надежностью.

Для обеспечения точного позиционирования применяется интеграция данных, получаемых с GPS-датчиков, и информации, предоставляемой инерциальной навигационной системой (ИНС). Такое сочетание технологий позволяет значительно повысить точность определения местоположения и ориентации беспилотного летательного аппарата. ИНС использует свойства инерции аппарата такие как линейное ускорение и угловую скорость для отслеживания и определения его положения в пространстве. Однако малые размеры БПЛА, с одной стороны, являются причиной их низкой цены по сравнению с пилотируемой авиацией, а с другой стороны, ограничением, из-за которого в БПЛА устанавливают небольшие ИНС.

Инерциальные навигационные системы (ИНС) имеют тенденцию накапливать значительные погрешности с течением времени, что ограничивает их использование в основном задачами поддержания текущего равновесия. Для точного позиционирования в таких системах применяются исключительно данные с GPS, которые поступают в дискретные моменты времени и зачастую содержат собственные погрешности.

Целью работы является разработка системы стабилизации полета БПЛА в условиях значительных ветровых возмущений на основе алгоритма SPISA (Simultaneous Perturbation Stochastic Approximation) для компенсации случайных изменений скорости и направления ветра.

Содержание работы:

Во введении и первой главе обоснована актуальность работы, сформулированы ее цель и задачи, научная новизна, практическая значимость и основные положения, выносимые на защиту.

Вторая глава просвещена обзору алгоритмов траекторного управления и фильтрации погрешностей, методы оценки ветровой нагрузки для БПЛА самолетного типа, а также алгоритм SPSA и автопилот, на базе которого планируется тестирование. Рассмотрены 2 класса методов следования траектории: геометрические и аналитические. Ошибки и неопределенности в управляющих сигналах обычно моделируются как случайные процессы. Наиболее распространенным методом прогнозирования таких процессов является фильтр Калмана. Наряду со статистическими подходами существуют минимаксные постановки задачи, где неопределенности считаются произвольными, но ограниченными по величине. В таких случаях при известном уровне возмущений можно получить предсказания в виде множеств, чьи размеры стабилизируются со временем, однако точные оценки остаются недостижимыми. Рассмотрены модуль PX4, который представляет собой модульный многопоточный фреймворк с открытым исходным кодом, разработанный для глубоко встраиваемых систем. Он реализует многопоточную архитектуру, где каждый модуль выполняется в отдельной задаче или потоке, а взаимодействие между ними обеспечивается через систему обмена сообщениями uORB.

В третьей главе представлено описание разработанного алгоритма оценки ветровой нагрузки, включая его ключевые особенности и решаемые технические проблемы. Описана система координат, основанная на классификации Бойффера, в которой для оценки ветровой нагрузки используются три декартовы системы координат. Земная (глобальная) система координат (g) имеет оси: x - направлена на север, y - на восток, z - вниз. Связанная система с началом в центре масс БПЛА включает оси: x - вперед по продольной оси аппарата, y - вправо по курсу, z - вниз. Скоростная система (a) с тем же началом координат, что и связанная, ориентирована по воздушному

потоку: ось x направлена вдоль вектора воздушной скорости, ось y перпендикулярна потоку в плоскости симметрии БПЛА, а ось z направлена вниз относительно аппарата. Рассматривается метод РТА (Алгоритм трубки Пито), оценивающий усредненный за временной интервал вектор ветра, не обеспечивает возможности анализа локальных порывов в воздушном потоке. Это ограничение связано именно с процедурой усреднения, которая нивелирует кратковременные колебания ветровых характеристик. Трубка Пито устанавливается соосно с осью x связанной системы координат БПЛА, что позволяет измерять исключительно продольную составляющую воздушной скорости.

В четвертой главе приводится описание архитектуры автопилота PX4-Autopilot, из каких частей он состоит, а также особенности реализации модуля предсказания ветра. Полетный контроллер представляет собой набор алгоритмов для следования заданной траектории, навигации и управления различными беспилотными аппаратами. Также она показывает полный путь от датчиков, системы навигации и сигналов от пульта управления до моторов и сервоприводов. Компонент оценки принимает на вход данные с одного или нескольких датчиков и на их основе, а также предыдущих шагов, вычисляет состояние аппарата.

В пятой главе описывается сравнение точности следования по маршруту автопилота PX4-Autopilot с использованием полученного модуля предсказания ветра и без него. Имитационное моделирование выполнялось в среде FlightGear, которая обеспечивает реалистичное воспроизведение полета БПЛА в различных метеоусловиях, включая настраиваемые параметры ветра: интенсивность, частоту и амплитуду колебаний по направлению и скорости. Для верификации разработанного модуля были реализованы четыре тестовых сценария с различными ветровыми режимами: постоянный ветер, слабые, значительные и сильные возмущения. Апробация модифицированной прошивки проводилась на БПЛА "Диам-20" в ходе натурных испытаний, где измерялась ошибка следования по прямолинейной 2-километровой траектории, аналогичной использованной при имитационном моделировании

В заключении сформулированы следующие результаты работы: Разработанный адаптивный модуль на основе SPSA успешно интегрирован в систему управления PX4-Autopilot, продемонстрировав эффективность в условиях переменных ветровых нагрузок. Решение сочетает теоретическую обоснованность с практической применимостью, открывая перспективы для дальнейшего совершенствования алгоритмов ветроустойчивого управления