

УДК 621.396.96

Моделирование захода на посадку беспилотного воздушного судна на посадочную платформу, совершающую угловое движение

Ахмад Бушра

bushraahmad407146@gmail.com

Неусыпин Константин Авенирович

neusipin@bmstu.ru

SPIN-код: 2860-1736

Масленников Андрей Леонидович^(*)

amas@bmstu.ru

SPIN-код: 7087-6303

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия

Аннотация. Рассмотрена задача обеспечения посадки беспилотного воздушного судна на посадочную платформу, совершающую угловое движение. Использованы тестовые математические модели динамики БВС и движения посадочной платформы. Угловое движение посадочной платформы задавалось по гармоническому закону по углу тангажа. Решение задачи определения углового движения платформы реализовано с применением метода наименьших квадратов с функционалом, основанном на геометрических соотношениях расположения радиомаяков на посадочной платформе. Проведенный вычислительный эксперимент показал работоспособность предлагаемого подхода

Ключевые слова: подвижная посадочная платформа, беспилотное воздушное судно, метод наименьших квадратов, посадка, моделирование

Modeling the approach to landing of an unmanned aerial vehicle on a moving base performing angular movement

Ahmad Bushra

bushraahmad407146@gmail.com

Neusipin Konstantin Avenirovich

neusipin@bmstu.ru

SPIN-code: 2860-1736

Maslennikov Andrey Leonidovich^(*)

amas@bmstu.ru

SPIN-code: 7087-6303

BMSTU, Moscow, Russia

Abstract. This work addresses the problem of ensuring the landing of an unmanned aerial vehicle on a landing platform undergoing angular motion. Test mathematical models of UAV dynamics and moving base were used. The angular motion of the moving base was defined by a harmonic law concerning the pitch angle. The solution to the problem of determining the angular motion of the moving base was implemented using the least squares method with a functional based on the geometric relationships of the locations of the radio beacons on the moving base. The computational experiment conducted demonstrated the viability of the proposed approach.

Keywords: mobile landing platform, unmanned aerial vehicle, least squares method, landing, simulation

Введение. Актуальной остается задача обеспечения надежной посадки (строго говоря, захода на посадку) различных видов беспилотных воздушных судов (БВС) на подвижное основание, представляемое в виде подвижной платформы. Существуют различные подходы решения этой задачи: по данным от глобальных спутниковых навигационных систем, по информации от систем технического зрения на основе данных от оптических камер, по данным от других источников информации. Авторами ранее был предложен подход к решению задачи на основе данных от массива малогабаритных радиомаяков ближнего действия, установленных в определенной конфигурации на посадочной платформе, как показано на рис. 1.

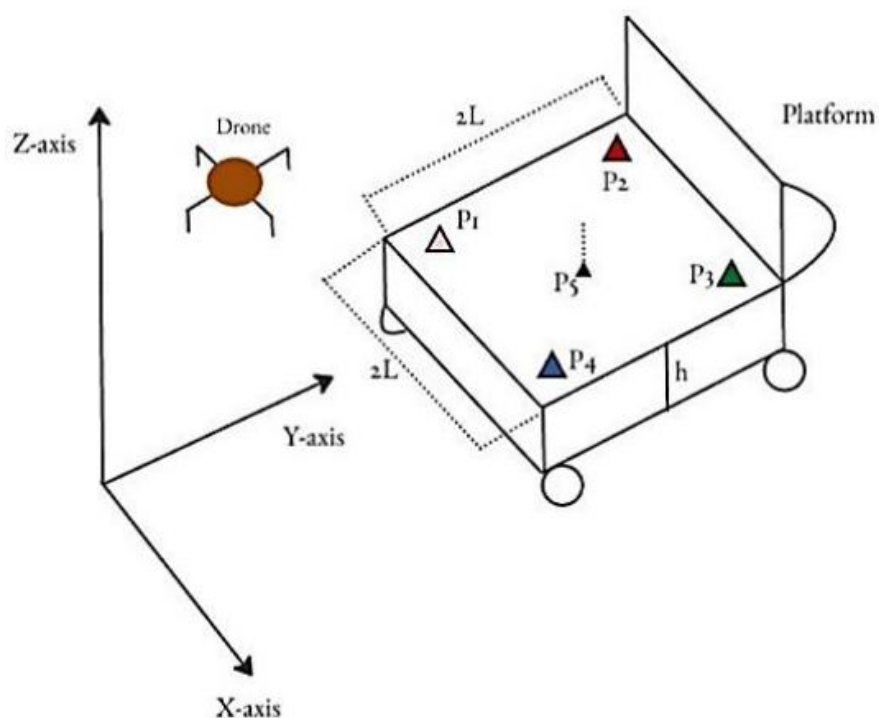


Рис. 1. Схема расположения радиомаяков на посадочной платформе

Алгоритмические решения данной задачи были сформулированы и реализованы на тестовых математических моделях при допущении, что посадочная платформа движется прямолинейно и не совершает угловых движений [1, 2]. В данной работе рассматривается задача моделирования измерений малогабаритных радиомаяков ближнего действия на борту БВС в предположении, что посадочная платформа совершает угловое движение по углу тангажа по гармоническому закону.

Материалы и методы. Мощность радиомаяков оценивается в процессе посадки, и управление БВС осуществляется путем стремления совместить его центр масс с центром посадочной платформы на основе этих измерений [3]. В работе разработана тестовая математическая модель для решения задачи, основанная на моделировании измерений интенсивностей, регистрируемых радиомаяками на борту БВС, с целью определения местоположения БВС,

и, как следствие, определение угловых отклонений посадочной платформы, для обеспечения безопасной посадки на нее.

Тестовая математическая модель БВС представляет собой математическую модель движения материальной точки. Модель измерений интенсивностей радиомаяков основана на геометрических соотношениях с учетом углового движения посадочной платформы, которые задаются в виде гармонического закона. Решение задачи определения угловых отклонений посадочной платформы от плоскости местного горизонта реализуется с применением метода наименьших квадратов, где минимизируемый функционал основан на определении истинных геометрических соотношений в расположении радиомаяков по измерениям их интенсивностей. Стремление БВС к центру посадочной платформы реализуется контурами управления по высоте и курсу с применением ПИ-регуляторов.

Результаты. Для проверки работоспособности предложенного алгоритма был проведен вычислительный эксперимент, в рамках которого считалось, что посадочная платформа совершает угловое движение по заданному гармоническому закону по углу тангажа. Результаты моделирования представлены на рис. 2.

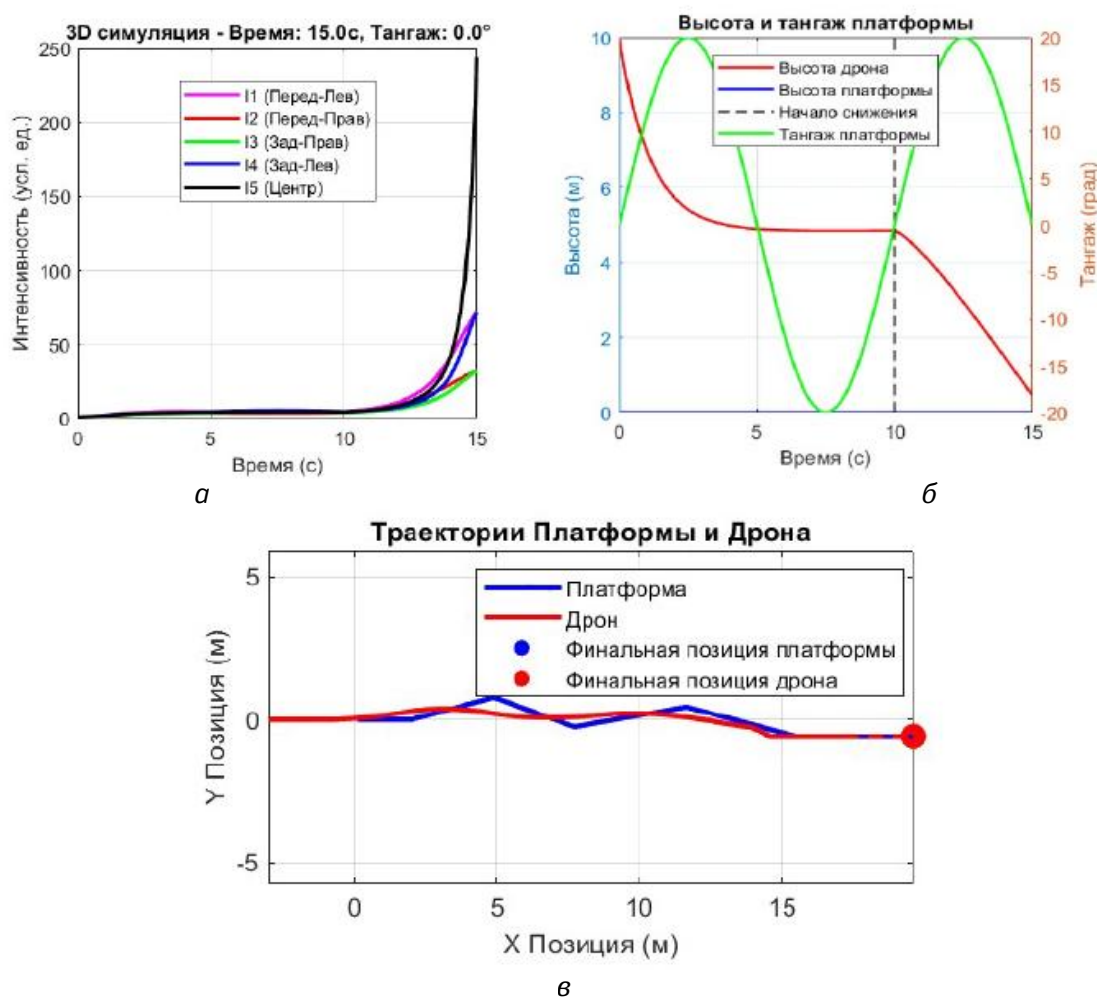


Рис. 2. Результаты моделирования:

а — моделируемая интенсивность радиомаяков; б — зависимости изменения угла тангажа и высоты БВС;
в — результат решения задачи посадки — сближения БВС и посадочной платформы в плоскости XY

Обсуждение полученных результатов. Характер изменения интенсивностей радиомаяков при приближении БВС к центру посадочной платформы может носить скачкообразный характер, что влияет на точность решения задачи.

Заключение. В работе рассмотрена задача обеспечения посадки БВС на подвижное основание, совершающее угловое движение по углу тангажа. Предложенный подход на основе геометрических соотношений и тестовых математических моделей динамики и управления показал свою принципиальную применимость.

Список источников

- [1] Масленников А.Л., Чжан С., Неусыпин К.А., Селезнева М.С. Система посадки МБПЛА на подвижное основание на базе радиомаяков ближнего действия. *Автоматизация. Современные технологии*, 2023, т. 77, № 5, с. 224–228. <https://doi.org/10.36652/0869-4931-2023-77-5-224-228>
- [2] Суркова А.Д., Масленников А.Л., Чжан С. Система посадки беспилотного аппарата на подвижную платформу с использованием радиомаяков. *XLVII Академические чтения по космонавтике, посвященные памяти академика С.П. Королёва и других выдающихся отечественных ученых — пионеров освоения космического пространства: сб. тез.* Москва, Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2023, т. 3, с. 232–236.
- [3] Бушра А., Неусыпин К.А. Подход к решению задачи посадки беспилотного летательного аппарата на движущуюся посадочную платформу. *Автоматизация. Современные технологии*, 2025, т. 79, № 3, с. 125–128. <https://doi.org/10.36652/0869-4931-2025-79-3-125-128>