

**РАЗРАБОТКА И АНАЛИЗ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ
КВАДРОКОПТЕРОМ НА ОСНОВЕ СКОЛЬЗЯЩИХ
РЕЖИМОВ ВЫСШИХ ПОРЯДКОВ**

Надольский Михаил Александрович

Студент

Факультет ВМК МГУ имени М. В. Ломоносова, Москва, Россия

E-mail: nadolskyma@my.msu.ru

Научный руководитель — Фомичёв Василий Владимирович

Беспилотные летательные аппараты нашли широкое применение в различных сферах жизнедеятельности человека, например, мониторинг окружающей среды, доставка грузов, поисково-спасательные операции и другие. Однако эффективность их использования снижается из-за сложной динамики летательного аппарата, наличия внешних возмущений, неидеальностей приводов. В рамках данной работы рассмотрены координатные возмущения, такие как порывы ветра, и параметрические неопределенности в виде изменения массы объекта управления во время полета из-за сброса груза.

Часто к подобного рода летательным аппаратам применяется классический метод управления через ПИД-регуляторы из-за легкой настройки и вычислительной простоты. Однако подобное решение обладает недостаточной робастностью, что в итоге может привести к потере контроля над летательным аппаратом. Перспективным направлением исследований можно назвать алгоритмы управления, основанные на скользящих режимах [1].

Скользящий режим первого порядка страдает от явления дребезжания, вызывающего высокочастотные колебания и быстрый износ аппаратуры. Для преодоления этого недостатка существуют скользящие режимы высших порядков. Алгоритмы второго порядка, такие как супер-скручивающий скользящий режим, позволяют минимизировать влияние дребезга, сохраняя робастность [2]. При этом критически важным для практического применения становится корректный выбор и настройка коэффициентов усиления. Адаптивная версия данного алгоритма [3] является следующим этапом развития управления и необходима в условиях априорно неизвестных границ возмущений или их возможного изменения в течение времени. Данная модернизация необходима, так как фиксированные коэффициенты могут быть либо недостаточными, что приведет к потере робастности, либо избыточными. В данной работе также рассмотрен квазинепрерывный скользящий режим третьего порядка [4]. Вопрос же о

целесообразности перехода к данному алгоритму для задач управления квадрокоптером, а также сравнительная эффективность с алгоритмами скользящих режимов второго порядка в условиях комплексных неопределенностей остаются предметом исследований.

Практическая значимость работы заключается в выработке рекомендаций по применению рассмотренных перспективных алгоритмов для повышения автономности и надежности квадрокоптеров при выполнении сложных задач в недетерминированных условиях. Данная работа позволит определить наиболее эффективный алгоритм для конкретных эксплуатационных условий, что обеспечит основу для внедрения в бортовые системы реальных беспилотных летательных аппаратов.

Литература

1. Hadid S., Boushaki R., Boumchedda F., Merad S. Enhancing Quadcopter Autonomy: Implementing Advanced Control Strategies and Intelligent Trajectory Planning // Automation. 2024. Vol. 5, № 2, P. 151–175.
2. Yazdanshenas A., Faieghi R. Quaternion-Based Sliding Mode Control for Six Degrees of Freedom Flight Control of Quadrotors // arXiv. 2024. <https://arxiv.org/abs/2403.10934>
3. Hoang V. T., Pham Q. H. Adaptive Super-twisting Second-order Sliding Mode for Attitude Control of Quadcopter UAVs // arXiv. 2018. <https://arxiv.org/abs/1803.07690>
4. Shtessel Y., Edwards C., Fridman L., Levant A. Sliding Mode Control and Observation. New York: Birkhäuser, 2014.