

## О Т З Ы В

члена диссертационного совета Жабко Алексея Петровича на диссертацию **Баранова Олега Владимировича** на тему «Построение отказоустойчивых конфигураций квадрокоптеров», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.3.1. Системный анализ, управление и обработка информации, статистика

**Актуальность.** В работе рассматривается задача построения отказоустойчивой конфигурации квадрокоптера. Вопросы отказоустойчивости и летной живучести летательных аппаратов, особенно беспилотных, сегодня находятся центре внимания различных специалистов: проектировщиков, разработчиков систем управления, производителей БПЛА. Автором работы данная проблематика раскрывается последовательно начиная от вопросов выбора аппаратной составляющей, заканчивая настройкой и проработкой особых режимов работы системы управления.

Для построения отказоустойчивой конфигурации автором предлагается использовать серийно производимые комплектующие, выбор которых необходимо производить по предложенной методике. Система управления так же должна быть настроена особым образом в соответствии с предложенными алгоритмами. В виду расширения областей применения БПЛА, вопросы отказоустойчивости таких аппаратов являются актуальными.

**Структура диссертации.** Диссертация содержит введение, три главы, заключение, список литературы и три приложения. Объем работы составляет 148 страниц, список литературы включает в себя 102 источника.

В первой главе определены целевые летно-технические характеристики отказоустойчивого квадрокоптера. Приведены расчеты двух отказоустойчивых конфигураций и показана достижимость целевых летно-технических характеристик при использовании серийно производимых компонентов.

Во второй главе рассматриваются вопросы настройки системы управления отказоустойчивой системы. Показано, каким образом возможно спасение аппарата при аварийном отказе одного или двух диагональных винтов. Предложен алгоритм настройки стабилизирующего ПИД-регулятора. Приводятся результаты моделирования аварийных ситуаций, описаны алгоритмы спасения.

В третьей главе автор раскрывает перспективы использования результатов математического моделирования при работе отказоустойчивой системы управления. К внедрению предлагается модуль на основе адаптивного метода Р. Габасова для решения задачи оптимального управления. С этой целью рассмотрена задача построения управляющих сигналов для перевода аппарата из одной заданной точки в другую, сформулирован критерий качества. Кроме того, отдельно исследуется вопрос оптимального

управления электродвигателями аппарата. Совокупность этих результатов представляет особый практический интерес, т. к. предложенный подход позволяет полностью построить стратегию управления для движения из одной заданной точки в другую, без использования внешних навигационных систем. Автором предлагается использовать управляющие сигналы, полученные в результате математического моделирования, в отказоустойчивой системе управления. Таким образом осуществляется интеграция в классическую систему управления БПЛА расчетных данных, полученных при математическом моделировании. Данный подход является новым, оригинальным. Представлена принципиальная схема такого внедрения.

#### **Основные научные результаты:**

1. Подход к выбору аппаратной составляющей отказоустойчивого квадрокоптера.
2. Метод настройки стабилизирующего ПИД-регулятора для предложенной отказоустойчивой конфигурации аппарата.
3. Программное обеспечение для моделирования процесса полета (в том числе аварийных ситуаций).
4. Программное обеспечение на основе метода Р. Габасова для решения задачи оптимального управления в контексте отказов навигационных систем.

**Обоснованность научных результатов.** Достоверность результатов обеспечивается корректностью поставленной задачи, а также применением научных подходов для достижения результатов, в том числе методов теории обыкновенных дифференциальных уравнений и теории оптимального управления. Приведенные выводы были апробированы во время выступлений на нескольких международных научных конференциях, зафиксированы актами внедрения. При авторстве или соавторстве Баранова О.В. опубликовано 15 работ по теме диссертации.

**Замечание.** В контексте вопросов, рассмотренных в первых двух главах, не вполне обоснован выбор именно метода Габасова для решения задачи оптимального управления. Для полноты картины было бы хорошо оценить сложность разработанных алгоритмов, провести сравнение с другими подходами.

**Заключение.** Диссертация Баранова Олега Владимировича на тему: «Построение отказоустойчивых конфигураций квадрокоптеров» соответствует основным требованиям, установленным Приказом от 19.11.2021 № 11181/1 «О порядке присуждения ученых степеней в Санкт-Петербургском государственном университете», соискатель **Баранов Олег Владимирович** заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических

наук по специальности 2.3.1. Системный анализ, управление и обработка информации, статистика. Нарушения пунктов 9 и 11 указанного Порядка в диссертации не обнаружены.

Член диссертационного совета,  
заслуженный работник  
Высшей школы Российской Федерации,  
профессор, заведующий Кафедрой теории управления  
Санкт-Петербургского государственного университета,  
доктор физико-математических наук, профессор



**Жабко А. П.**

04.09.2023