

О Т З Ы В

члена диссертационного совета Соколова Бориса Владимировича 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 диссертационной работе Баранова О.В. изучается вопрос отказоустойчивости БПЛА вертолетного типа с четырьмя роторами (квадрокоптера). Известно, главным вопросом на пути расширения сфер применения беспилотной авиации остается вопрос безопасности полетов. В данной работе ставится цель спасти аппарат, попавший в определенные виды аварий. Для этого предлагается конструировать аппарат по предложенной автором методике. Автором представлен подход к выбору основных комплектующих, конструктивному исполнению аппарата и материалам, а затем описаны алгоритмы работы отказоустойчивой системы управления. Таким образом, внедрение мер по повышению отказоустойчивости обеспечивается комплексом аппаратно-программных средств. Такой последовательный подход к решению поставленной задачи является целостным и конструктивным.

Поскольку проведение натуральных экспериментов для верификации алгоритмов является затратным, автором работы было разработано программное обеспечение (ПО) для проведения численных экспериментов. С учетом всего вышесказанного можно сделать вывод, что представленная работа является важной и актуальной не только с научной, но и с прикладной точки зрения.

Объем и структура работы. Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения и списка литературы.

В главе 1 описана поставка задачи, представлена математическая модель и раскрыт вопрос о выборе аппаратной конфигурации БПЛА. Определены целевые летно-технические характеристики для отказоустойчивой модификации квадрокоптера, проведены соответствующие расчеты для аппаратов двух классов. Полученные результаты проанализированы, указаны недостатки предложенного подхода к выбору аппаратной части. Также раскрыт вопрос выбора материалов и отдельных конструктивных решений, прямо влияющих на отказоустойчивость аппарата.

Глава 2 посвящена моделированию аварийных ситуаций и настройке системы управления. С использованием разработанного ПО проведены численные эксперименты, где показано поведение квадрокоптера в аварийных ситуациях. Для наглядности представлены две версии результатов моделирования аварийных ситуаций: с работающими и неработающими алгоритмами спасения. Детально рассмотрен ещё один вопрос настройки системы управления в аварийных режимах — вопрос настройки стабилизирующего ПИД-регулятора.

Глава 3 посвящена применению адаптивного метода Р. Габасова для решения задачи управления квадрокоптером. К внедрению в систему управления аппаратом предлагается модуль расчета угловых скоростей винтов для перевода аппарата из одной заданной точки в другую. Согласно предлагаемой схеме внедрения, полученные управляющие сигналы могут быть использованы при авариях, связанных с потерей связи с внешними навигационными системами и/или при отказах инерциальной навигации.

Объем русскоязычной версии работы составляет 148 страниц, включая список литературы и три приложения.

Основные результаты. В соответствии с темой диссертации, ключевым результатом является новый подход к разработке отказоустойчивых конфигураций квадрокоптеров, включающий себя следующие основные составляющие:

- Целевые ЛТХ отказоустойчивой конфигурации квадрокоптера;
- Алгоритмы спасения при отказе одного или двух двигателей и алгоритм настройки стабилизирующего ПИД-регулятора;
- ПО для моделирования процесса полета и решения задачи оптимального управления квадрокоптером, как часть проблемно ориентированной системы управления.

Научная и практическая значимость. Ценность работы заключается в разработанной автором целостной методике построения отказоустойчивых конфигураций квадрокоптеров. Ключевые результаты работы являются практическими. Они представлены в диссертации в последовательности проектирования: рекомендации по выбору аппаратной части (п. 1.1, 1.3), настройка системы управления (п. 2.1), настройка стабилизирующего ПИД-регулятора (п. 2.2.2), ПО на основе метода Габасова для решения задачи оптимального управления (п. 3.3).

Обоснованность результатов обеспечивается корректным применением методов оптимального управления; системного, причинно-следственного и сравнительного анализа; подтверждается результатами численных экспериментов. Достоверность результатов подтверждается большим количеством публикаций по теме работы и апробацией на международных конференциях. Специализированное ПО, используемое автором для проведения расчетов и обработки результатов, является общепринятым стандартом. По результатам работы получены акты внедрения и зарегистрирована программа для ЭВМ.

Замечания:

1. В тексте диссертации (п. 2.1.1) без явного обоснования в качестве критерия принятия решения для спасения полезной нагрузки был выбран сатисфакционный критерий не превышения вертикальной скоростью БПЛА значения 3 м/с. Безотносительно конкретных значений параметра, корректным в данной ситуации является использование некоторого значения перегрузки, а не вертикальной скорости.

2. Из текста диссертации не ясно как разработанное ПО будет функционировать в ситуациях, когда возникает комбинированный отказ в подсистемах БПЛА.

3. С учетом универсальности разработанного ПО имело бы смысл рассмотреть и другие виды аварий, проведя соответствующие численные эксперименты.

Указанные замечания не снижают значимости полученных результатов. Считаю, что 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 деятель науки РФ,
доктор технических наук, профессор,
главный научный сотрудник
Федерального государственного бюджетного
учреждение науки «Санкт-Петербургский
Федеральный исследовательский центр
Российской академии наук»



Соколов Б. В.

04.09.23



Подпись руки Соколов Б.В. заверяю
Начальник отдела кадров СПб ФИЦ РАН
Д.В.Токарев
» 09 2023 г.