

## О Т З Ы В

председателя диссертационного совета Крылатова Александра Юрьевича 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

Цель диссертационной работы Баранова Олега Владимировича состоит в построении такой системы управления и такой аппаратной конфигурации квадрокоптера, которая бы позволяла работу в особом (аварийном) режиме. Данная тема без сомнения является актуальной, так как повсеместное внедрение БПЛА вертолетного типа повышает требования к их надежности. На сегодняшний день такие БПЛА изготавливаются в соответствии с внутренними стандартами качества фирм-производителей. За редким исключением, эти аппараты не отвечают принятым в «большой» авиации стандартам в части безопасности, летной живучести и времени наработки на отказ.

Одним из актуальных путей развития беспилотной авиации является доставка грузов на так называемой «последней миле», т. е. от крайнего склада непосредственно к заказчику. Эту задачу могут решить квадрокоптеры и другие аппараты вертолетного типа. Логистика «последней мили» подразумевает массовые полеты над густонаселенными районами, что означает необходимость применения стандартов безопасности не ниже, чем в пилотируемой авиации.

Автором данной работы рассмотрены несколько видов возможных аварий на борту БПЛА и предложены методы минимизации негативных последствий. Подход автора заключается в проектировании квадрокоптера особой аппаратной и программной конфигурации. Так, в частности, предлагается наделять БПЛА двигателями со значительным запасом по тяге, избыточным для обычной эксплуатации. Этот запас, вместе с особыми программными режимами управления, позволяет посадить аппарат при потере двух двигателей из четырех. Причины таких отказов могут быть различны. Возможность квадрокоптера сохранять управление по высоте при таком отказе давно показана в работах различных авторов. Однако в диссертации Баранова О.В. был сделан следующий шаг непосредственно к реализации такого режима: проработана методика выбора аппаратной составляющей, а так же предложены алгоритмы работы отказоустойчивой системы управления. Численные эксперименты показывают эффективность такого подхода.

Аналогичные шаги были сделаны автором на пути интеграции результатов математического моделирования (решения задачи управления) для спасения аппарата при потере данных от спутниковых навигационных систем. Проработан вопрос настройки стабилизирующего ПИД-регулятора для аппарата особой конфигурации.

Таким образом, ряд «точечных» изменений в процесс проектирования квадрокоптера, предложенный автором, может стать частью списка изменений, необходимых для сертификации БПЛА при полетах в густонаселенных районах.

В целом, работа представляет связанную последовательность результатов, применение которых при разработке БПЛА позволяет повысить безопасность его эксплуатации.

Подводя итоги, можно перечислить основные результаты диссертации:

1. Ряд предложений (целевые ЛТХ, классификатор аварий, классификатор аппаратов, особенности сборки) по проектированию отказоустойчивой аппаратной конфигурации и вспомогательные результаты;
2. Алгоритмы спасения при отказе одного или двух двигателей в ручном и автоматическом режиме.
3. Алгоритм настройки стабилизирующего ПИД-регулятора.
4. ПО для решения задачи оптимального управления квадрокоптером, как часть проблемно ориентированной системы управления.

**Замечания:**

1. Ряд результатов, а именно представленные в п. 2.2.1 и п. 2.2.4 требуют некоторого практического подтверждения: проведения натурного эксперимента при фиксации соответствующих зависимостей с помощью телеметрии.
2. В контексте рассматриваемого в п. 3.3.3 вопроса внедрения «программной ИНС» следует проанализировать вопрос скорости накопления ошибки в такой системе инерциальной навигации.
3. В тексте диссертации присутствуют некоторые опечатки.

Наличие данных замечаний не снижает теоретическую и практическую значимость работы и ее общую положительную оценку.

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.

Председатель диссертационного совета,  
доктор физико-математических наук,  
профессор, заведующий Кафедрой  
математической теории экономических решений



Крылатов А. Ю.

24.08.2023