



МИНОБРНАУКИ РОССИИ

федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение
высшего образования

«Балтийский государственный технический
университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова»
(БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова)

Санкт-Петербург, 190005, 1-я Красноармейская ул., д. 1
Тел.: (812) 316-2394, Факс: (812) 490-0591
E-mail: komdep@bstu.spb.su. www.voenmeh.ru
ИНН 7809003047

23.09.2019

№

3/14

На №

от

“УТВЕРЖДАЮ”

Ректор

БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова

д.т.н., профессор

К.М, Иванов

Ученому секретарю диссертационного
совета Д002.024.01 ФГУ «Федеральный

исследовательский центр институт

прикладной математики им. М.В. Келдыша

Российской академии наук»

(ИПМ им. М.В. Келдыша РАН)

М.Г. Широкову

125047, г. Москва, Миусская пл., д.4

ОТЗЫВ

на кандидатскую диссертацию

Савицкого Александра Владимировича, выполненную на тему
«Динамика и алгоритмы управления мультироторным роботом», представ-
ленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук
по специальности 01.02.01 «Теоретическая механика».

В диссертационной работе Савицкого А.В. разработаны научно обос-
нованные модели беспилотных летательных аппаратов и их систем управле-
ния, алгоритмы управления и нейросетевые алгоритмы синтеза управляющих
воздействий, внедрение которых вносит существенный вклад в повышении
эффективности использования беспилотных летательных аппаратов с произ-
вольным числом роторов.

Актуальность темы диссертационной работы определяется следующими положениями:

1) Беспилотные летательные аппараты являются одной из самых быстро развивающихся областей робототехники: за последние годы появилось большое число самых разных моделей.

2) Нижний уровень управления полетом в относительно простых условиях достаточно хорошо реализован на аппаратном и программном уровне. Однако отсутствуют доступные на рынке алгоритмы и программы управления полетом в сложных и меняющихся условиях.

3) Необходимость стабилизации полета в любых условиях применения для повышения эффективности использования навесного оборудования, устанавливаемого на беспилотные летательные аппараты с большим (более 3-х) количеством несущих винтов (роторов).

4) Недостаточной по современным требованиям точностью исследования динамики движения и синтеза управляющих воздействий мультироторного робота, которым является многовинтовой БПЛА.

5) Необходимостью разработки методов и алгоритмов применения перспективных нейросетей для построения эффективных алгоритмов управления и реализации разработанных методов и алгоритмов в нейросетевом контроллере.

Новыми научными результатами, полученными в диссертации лично автором, являются:

1) Составлена теоретико-механическая модель n -роторного ($n > 3$) беспилотного летательного аппарата;

2) Для неопределенной задачи при числе роторов $n > 4$ предложены условия перераспределения силы тяги несущих винтов для повышения маневренности БПЛА и более эффективного распределения нагрузки управляющих воздействий, что приводит к экономии энергии на борту БПЛА.

3) Описана последовательность решения обратной задачи динамики для квадрокоптера, описаны частные решения для некоторых траекторий, составлен набор (алфавит) базовых траекторий, последовательность реализации которых позволит переместить центр масс робота из исходной точки в конечную.

4) Предложен алгоритм гибридного нейросетевого контроллера, в основе которого лежит нейронная сеть, обучение которой было проведено на семействе базовых траекторий, полученных из решения обратной задачи.

5) Описан новый подход таких проблем управления, как наличие погрешности датчиков.

Практическая и теоретическая значимость работы заключается в том, что разработанный алгоритм управления позволяет существенно повысить уровень автономности и безопасности БПЛА.

Предложенный алгоритм управления позволяет синтезировать управляющие воздействия на винты БПЛА для работы в сложных условиях (погода, задымление) и осуществлять требуемые эволюции, например, плавную посадку.

Реализация предложенного алгоритма на нейросетевом контроллере позволяет реализовать высокое быстродействие при управлении, что является особенно актуальным для повышения маневренности и сохранения устойчивости полета при парировании внешних воздействий, например, порывов ветра.

Найденные в общем виде решения обратной задачи динамики для алфавита базовых траекторий могут послужить основой для составления эталонных траекторий для БПЛА и для траектории его движения с требуемыми параметрами.

Достоверность и обоснованность полученных автором результатов подтверждается результатами экспериментальных исследований и моделирования на ЭВМ.

Диссертация написана хорошим литературным языком, стиль изложения доказательный.

Отдельно необходимо отметить положительную черту представленной диссертации – краткость изложения без потери информативности.

Недостатки и замечания

В качестве замечания по представленной диссертационной работе можно отметить следующее:

- 1) Наличие некоторых стилистических ошибок, например, стр. 72, абзац 1-й сверху: либо во фразе пропущено слово, либо вместо слова «эффективно» необходимо было написать «эффективен»;
- 2) В главе 4-й не указаны времена реакции обученной нейросети и нейросетевого контроллера, что ставит под сомнение утверждение о возможности полного противодействия таким непредсказуемым по силе и времени внешним воздействиям, как произвольно направленные порывы ветра.

Заключение:

Анализ материалов, изложенных в представленном на отзыв диссертационной работе, позволяет сделать следующее заключение:

- диссертация выполнена на актуальную тему, обладает научной новизной и практической значимостью;
- научные исследования в достаточной степени представлены 8 публикациями, из которых 4 – в рецензируемых изданиях, включенных в перечень ВАК, и доложены на международных и российских научных конференциях;
- диссертация А.В. Савицкого на тему «Динамика и алгоритмы управления мультироторным роботом» является завершенной научно-

квалификационной работой, соответствующей требованиям ВАК Российской Федерации, предъявляемым к кандидатской диссертации, а её автор заслуживает присуждения учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.01 – Теоретическая механика.

Декан факультета «Информационные и управляющие системы», заведующий кафедрой «Радиоэлектронные системы управления», д.т.н., доцент



С.Ю. Страхов

Главный научный сотрудник НИЛ «Робототехнические и мехатронные системы» БГТУ «ВОЕНМЕХ» имени Д.Ф. Устинова, к.т.н., доцент



Н.Г. Яковенко