

Ученому секретарю  
диссертационного совета  
Д 212.125.12  
Старкову А.В.

125993, г. Москва, А-80, ГСП-3  
Волоколамское шоссе, д.4,  
ФГБОУ ВО «МАИ»

26.10.2018 № 8/46-7116

## ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Конырбаева Нурбека Беркинбайулы «Решение задачи синтеза системы управления пространственным движением летающего робота методом вариационного аналитического программирования», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.07.09 – «Динамика, баллистика, управление движением летательных аппаратов».

Беспилотные летательные аппараты (БЛА) принимают все большее применение для мониторинга земной поверхности и находящихся на них объектах. Весьма эффективно их групповое применение, так как при этом покрываются большие поверхности и уменьшается время мониторинга и инспекции. Групповое управление в свою очередь требует решение задач по формированию управляющих воздействий для каждого БЛА - исключения столкновения, повтора облета контрольных точек и др. Настоящая работа направлена на решение этих вопросов и в этой связи является актуальной.

Работа посвящена разработке методики решения задачи мониторинга группой БЛА, в качестве которых в работе рассматриваются квадрокоптеры, или летающих роботов, и исследованию вычислительного метода вариационного аналитического программирования для задачи синтеза системы управления. Решение задачи разделяется на два этапа. Первый предусматривает отбор точек для каждого БЛА. Здесь используется эволюционный генетический алгоритм, который не находит гарантированного оптимального решения, но позволяет за конечное число итераций найти близкое к оптимальному решение. Второй этап предусматривает решение задачи синтеза системы управления БЛА. Здесь дано расширение метода вариационного аналитического программирования. Использование принципа малых вариаций кода базисного решения в методе аналитического программирования позволило найти новое решение метода символьной регрессии, который автором назван метод вариационного аналитического программирования. Определены условия и закономерности работы с малыми вариациями кода, определяющие базовые функции и выражения. Это дает возможность использование функций с любым количеством аргументов. Для оптимизации траекторий движения БЛА использован вариационный генетический алгоритм. При решении задачи синтеза систем управления использовалось объединенное множество, включающее переменные параметры и совокупность элементарных функций с наложенными логическими условиями. Математическое моделирование управлением группой БЛА из двух квадрокоптеров по 23

контрольным точкам в 3-х мерном пространстве показало работоспособность и эффективность разработанной методики и предложенного математического аппарата.

**Научная новизна** работы прежде всего состоит в следующем:

- разработана модификация численного метода вариационного аналитического программирования основанная на использовании принципа малых вариаций базисного решения;
- дано расширение генетического алгоритма для решения задачи синтеза системы управления методом вариационного аналитического программирования;
- решена задача синтеза системы управления БЛА методом вариационного аналитического программирования.

**Практическая значимость** работы состоит в разработке алгоритмов и комплекса программ для автоматического синтеза систем управления методом вариационного аналитического программирования.

*В то же время следует отметить, что в автореферате критерий качества управления – функционал (12) задан в общем виде. Следовало раскрыть его для оценки динамики квадрокоптера на различных участках траектории.*

**В целом диссертационная работа** представляет законченную научно-исследовательскую и научно-квалификационную работу; соответствует научной специальности 05.07.09 – «Динамика, баллистика, управление движением летательных аппаратов» и отвечает требованиям ВАК, предъявляемым к кандидатским диссертациям по заявленной специальности. Соискатель Конырбаев Нурбек Беркинбайулы заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук.

Заведующий кафедрой «Мехатроника и электронные системы автомобилей» Владимирского государственного университета имени А.Г. и Н.Г. Столетовых, доктор технических наук, профессор



25.10.18

Кобзев Александр Архипович

600000, г. Владимир, ул. Горького, 87, Владимирский государственный университет имени А.Г. и Н.Г. Столетовых.

Тел.: раб 4922-47-98-63, e-mail:kobzev42@mail.ru

Подпись зав. кафедрой, д.т.н., профессора Кобзева А.А. заверяю,  
ученый секретарь Совета Владимирского государственного университета



Копцова Татьяна Григорьевна