



ГОСУДАРСТВЕННАЯ КОРПОРАЦИЯ  
ПО КОСМИЧЕСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ "РОСКОСМОС"

Федеральное государственное унитарное предприятие  
"ЦЕНТРАЛЬНЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ИНСТИТУТ МАШИНОСТРОЕНИЯ" (ФГУП ЦНИИМаш)



ул. Пионерская, д.4, городской округ  
Королёв, Московская область, 141070

Тел. (495) 513-59-51  
Факс (495) 512-21-00

E-mail: corp@tsniimash.ru  
http://www.tsniimash.ru

ОКПО 07553682, ОГРН 1025002032791  
ИНН/КПП 5018034218/501801001

09.11.2018 исх. № 9001-7622

исх. № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_

Ученому секретарю  
диссертационного совета Д 212.125.12  
Московского авиационного института  
А.В. Старкову  
125993, г. Москва, А-80, ГСП-3,  
Волоколамское шоссе, д. 4, МАИ,  
Ученый совет МАИ

Уважаемый Александр Владимирович!

Направляю Вам отзыв официального оппонента Кутоманова А.Ю. на диссертационную работу Конырбаева Н. Б. на тему «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».

Приложение: 1. Отзыв официального оппонента Кутоманова А.Ю. на диссертационную работу Конырбаева Н. Б. на тему «Решение задачи синтеза системы управления пространственным движением летающего робота методом вариационного аналитического программирования» на 5 л. в 1 экз.

*С уважением,*

Заместитель генерального директора  
по управлению полетами –  
начальник ЦУП

М.М. Матюшин



012415 \* ❄️

## **ОТЗЫВ**

официального оппонента на диссертационную работу **Конырбаева Нурбека Беркинбайулы** на тему **«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».

### **1. Актуальность темы диссертации.**

Решение задачи синтеза управления является сложной проблемой, так как требует нахождения математического выражения, описывающего функциональную зависимость управления от координат пространства состояний объекта.

Задача синтеза автоматического управления летающего робота «без участия человека» является важным направлением в области управления.

До сегодняшнего времени в большинстве работ задача синтеза управления решается «вручную» на основе интуиции, опыта и средств моделирования систем управления. Такой метод решения задачи синтеза управления называется техническим синтезом.

В диссертационной работе разработан и исследован машинный метод решения задачи синтеза управления, метод вариационного аналитического программирования. Метод реализован в виде комплекса программ и исследован на различных примерах решения задачи синтеза управления. Степень разработанности диссертационных исследований доведена до практической реализации в виде программного продукта.

Вычислительные методы сегодня позволяют практически моделировать любую систему управления.

Структурный синтез систем управления в подавляющем большинстве случаев делается «вручную» без участия вычислительных оптимизационных процедур. Такое состояние в разработке систем автоматического управления сильно тормозит их развитие и не позволяет находить решения для сложных задач управления, которые сегодня возникают в связи с бурным развитием робототехнических устройств.

Новейшие методы символьной регрессии с помощью специальных видов кодирования математических выражений и эволюционных алгоритмов позволяют сегодня решать численно задачу структурного синтеза. Диссертационная работа посвящена применению одного из методов символьной регрессии, метода вариационного аналитического программирования, для решения задачи синтеза управления.

Настоящая диссертационная работа посвящена численному решению задачи синтеза управления методом вариационного аналитического программирования. В качестве объекта управления рассматривается группа мобильных летающих роботов типа квадрокоптеров, решающих задачу мониторинга заданного района.

Задача решается в два этапа.

1. На первом этапе с помощью вариационного генетического алгоритма решается задача группы коммивояжеров.

2. На втором этапе решается задача синтеза управления новым методом символьной регрессии, методом вариационного аналитического программирования.

В результате в работе получено решения рассматриваемой прикладной задачи. Эффективность полученного решения подтверждена моделированием, результаты решения опубликованы разных научных изданиях.

## **2. Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, их достоверность и новизна**

Научная новизна, заключается в решении задачи синтеза системы управления вычислительным методом вариационного аналитического программирования.

Из содержания диссертации можно почеркнуть, что в работе получены новые алгоритмические научные результаты:

- разработка нового численного метода вариационного аналитического программирования, построенного на основе метода сетевого оператора и аналитического программирования с использованием принципа малых вариаций базисного решения;

- разработка вариационного генетического алгоритма для решения задачи синтеза системы управления методом вариационного аналитического программирования;

- решение задачи синтеза системы управления летающим роботом методом вариационного аналитического программирования.

Полученные в результате применения метода символьной регрессии решения, в форме функций управления, показали удовлетворительные значения функционала качества и показали свою работоспособность при моделировании объектов управления с синтезированной функцией в обратной связи. Разработанные алгоритмы реализованы в виде комплекса программ, который частично может быть использован в бортовой системе управления летающего робота.

Диссертация состоит из введения, трех глав, основных выводов по работе и заключения. Диссертация написана научно-техническим языком и хорошо оформлена с достаточным количеством рисунков.

**В первой главе** диссертации представлена постановка задачи синтеза управления группой летающих роботов и ее формальное описание, приведен обзор известных аналитических и численных методов ее решения, приведено описание численного метода сетевого оператора для решения задачи синтеза управления и метода аналитического программирования, приведено описание решения задачи для группы коммивояжеров вариационным генетическим алгоритмом.

По сравнению с методом сетевого оператора метод вариационного аналитического программирования может использовать при синтезе функции с тремя и более аргументами. К таким функциям относятся функции, которые описывают действия, аналогичные условному оператору «if».

Существенным ограничением метода сетевого оператора является ограниченная возможность поиска решения, в виде математического выражения, построенного только на функциях с одним или двумя аргументами. Для синтеза сложных логико-функциональных систем управления методом сетевого оператора использовалось два сетевых оператора различного типа, один сетевой оператор включал математические выражения, состоящие из арифметических функций, а второй сетевой оператор включал выражения из функций многозначной логики.

**Во второй главе** диссертации приведено описание метода вариационного аналитического программирования, представлена структура данных для кодирования математического выражения, приведено описание малых вариаций данной структуры данных, описан вариационный генетический алгоритм для поиска решения с использованием принципа малых вариаций базисного решения, приведен пример решения задачи синтеза системы управления для объекта управления третьего порядка с фазовыми ограничениями методом вариационного аналитического программирования.

В данной главе рассмотрено подробное описание вариационного аналитического программирования и форма кодирования математического выражения. Метод вариационного аналитического программирования имеет более компактный код записи математического выражения и более простую форму описания малых вариаций базисного решения по сравнению с методом сетевого оператора.

**В третьей главе** диссертации приведено описание решения задачи мониторинга местности для группы летающих роботов. В главе приведено решение задачи группы коммивояжеров для 23 точек трехмерного пространства и двух квадрокоптеров. На первом этапе решена задача поиска оптимальных траекторий для каждого квадрокоптера с помощью вариационного генетического алгоритма. Сформулирована и решена с помощью разработанного в диссертации метода вариационного аналитического программирования задача синтеза системы управления квадрокоптером. Решение задачи обеспечивает устойчивость квадрокоптера относительно точки в трехмерном пространстве. Приведены результаты вычислительного эксперимента для управления движением двух летающих роботов по двум пространственным траекториям.

Проведенные исследования и полученные научные результаты обоснованы с помощью вычислительных экспериментов

**Достоверность** полученных в диссертации результатов подтверждается программной реализацией разработанных алгоритмов и вычислительными экспериментами, проводимыми в процессе решения задач

синтеза управления методом вариационного аналитического программирования.

**Практическая значимость** диссертационной работы состоит в разработке алгоритмов и комплекса программ для автоматического синтеза систем управления методом вариационного аналитического программирования. Работоспособность программного комплекса подтверждена вычислительными экспериментами. Полученные в результате автоматического синтеза математические выражения для системы управления могут быть непосредственно использованы на бортовых компьютерах систем управления летающими роботами.

#### **Замечания**

В качестве замечания следует указать на отсутствия практического внедрения результатов диссертационной работы

### **3. Заключение о соответствии диссертации критериям, установленным Положением о порядке присуждения ученых степеней.**

В соответствии с требованием «Положения о присуждении учёных степеней»:

- полученные результаты диссертационного исследования соответствуют поставленной цели и задачам;

- в автореферате диссертации полностью соответствует содержанию диссертационной работы;

- основные результаты, полученные в диссертационном исследовании, полностью отражены в 22 опубликованных научных работах, в том числе в 4-х работах, опубликованных в ведущих рецензируемых изданиях, рекомендованных ВАК, апробированы на научно-технических конференциях.

- содержание основных результатов соответствует специальности 05.07.09 - «Динамика, баллистика, управление движением летательных аппаратов».

Диссертационная работа Конырбаева Н.Б. «Решение задачи синтеза системы управления пространственным движением летающего робота методом вариационного аналитического программирования» является завершённым научно-квалификационным исследованием на актуальную тему и имеющей важное научное и практическое значение. Новые научные результаты, полученные диссертантом, имеют существенное значение для науки в области управления летательных аппаратов. Новые результаты, полученные диссертантом, позволяют решать задачу в области синтеза системы управления летающего робота.

По своей актуальности, научной новизне, объёму выполненных исследований и практической значимости полученных результатов, содержанию и оформлению диссертационная работа соответствует требованиям «Положения о порядке присуждения учёных степеней» ВАК министерства Науки и высшего образования РФ, предъявляемым к

диссертациям, представленным на соискание ученой степени кандидата технических наук.

Автор диссертационной работы Конырбаев Нурбек Беркинбайулы заслуживает присуждения ученой степени кандидат технических наук по специальности 05.07.09 «Динамика, баллистика, управление движением летательных аппаратов».

Официальный оппонент:

Кандидат технических наук,  
руководитель Проектного офиса  
ФГУП ЦНИИмаш

А.Ю. Кутоманов

Подпись официального оппонента к.т.н. А.Ю. Кутоманова заверяю.

Главный учёный секретарь  
ФГУП ЦНИИмаш, д.т.н.



Ю.Н. Смагин