

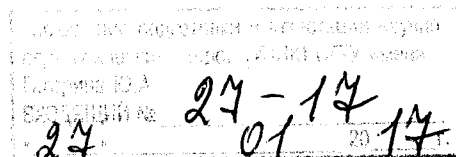


**Филиал ФГУП «НПЦАП им. академика Н.А.Пилюгина»  
ПРОИЗВОДСТВЕННОЕ ОБЪЕДИНЕНИЕ  
«КОРПУС»**

(Филиал ФГУП «НПЦАП» — «ПО «Корпус»)

Осипова ул., д. 1, Саратов, 410019  
Тел.: +7 (8452)64-84-85. Факс: +7(8452)64-15-02  
www.korpus64.ru, e-mail: po\_korpus@forpost.ru  
ИНН/КПП 7728171283/645243001  
ОГРН 1027739552642

24.01.2017 № 8-230/794



### **ОТЗЫВ**

официального оппонента Депутатовой Екатерины Александровны  
на диссертацию Нелаевой Екатерины Игоревны  
«Развитие бикватернионной теории кинематического управления и ее при-  
ложение к решению обратной задачи кинематики роботов-манипуляторов»,  
представленной на соискание учёной степени кандидата технических наук  
по специальности 05.13.01 – Системный анализ, управление и обработка  
информации (в технической отрасли).

**Актуальность темы.** Решение кинематических управляющих задач играет важную роль в теории управления движением твердого тела или движущегося объекта, рассматриваемого как твердое тело, т.к. чаще всего указанные задачи имеют аналитические решения, которые используются при построении программных и стабилизирующих траекторий. Полученное аналитическое решение в сочетании с решением обратной задачи позволяет построить эффективный закон управления движением, учитывающим динамику твердого тела.

Задачи управления движением в кватернионной постановке, кватернионные и бикватернионные модели стабилизирующих траекторий, практическое применение разрабатываемых кватернионных и бикватернионных моделей для систем управления различными объектами рассматриваются многими отечественными и зарубежными специалистами, среди которых можно отметить работы Бранца В.Н., Шмыглевского И.П., Челнокова Ю.Н., Диментберга Ф.М. и многих других. В диссертации соискателем показано, что в рамках развития бикватернионной теории решения кинематической задачи управления движением твердого тела существует много нерешенных частных задач, решению одной из которых, а именно, развитию бикватернионной теории кинематического управления и ее приложению к решению обратной задачи кинематики роботов-манипуляторов, и посвящена диссертационная работа. В связи с чем, тема диссертации является актуальной.

**Общая характеристика работы.** Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы из 112 наименований и двух приложений. Объем диссертации составляет 176 страниц, включая 29 рисунков и 16 таблиц. Работа написана грамотным языком с использованием принятой в теории кинематического управления терминологии, вводимые автором понятия подробно разъяснены. Выдержана логическая стройность и последовательность изложения. По объему, структуре и оформлению диссертация соответствует требованиям Положения о присуждении ученых степеней.

По своему содержанию диссертация является законченным научно-квалификационным трудом. Объем и глубина проработки всех глав диссертации достаточны для решения поставленных задач. Личный вклад автора диссертации не вызывает сомнений.

Из рассмотрения текста диссертации следует, что её тема и содержание полностью соответствуют специальности 05.13.01 – Системный анализ, управление и обработка информации (в технической отрасли).

**Автореферат** отражает основное содержание диссертации.

#### **Достоверность и обоснованность научных положений и выводов.**

Обоснованность научных положений и выводов является следствием корректной постановки цели и задач исследования на основе анализа современного состояния кинематической теории бикватернионного управления движением свободного твердого тела и существующих методов решения обратной задачи кинематики роботов-манипуляторов. Автором используется научно-техническая литература отечественных и зарубежных авторов, в том числе, публикации за последние пять лет.

Достоверность результатов, полученных в диссертационной работе, обеспечивается строгой математической постановкой задачи и корректным применением кватернионных и бикватернионных моделей и методов, разделов теории кинематического управления и теории дифференциальных уравнений. Полученные теоретические результаты получили подтверждение при численном моделировании.

Полученные в диссертации результаты обладают **научной новизной и практической значимостью. К новым результатам относятся:**

- аналитические бикватернионные решения нелинейных кинематических задач оптимального программного и стабилизирующего управлений движением свободного твердого тела;
- оптимальный программный бикватернионный закон управления, минимизирующий затраты на кинематическое управление;
- стабилизирующий бикватернионный закон управления, оптимальный в смысле минимизации затрат на кинематическое управление и минимизации среднеквадратичных отклонений фазовых переменных;
- алгоритмы формирования двух стабилизирующих бикватернионных законов управления в нормированных и ненормированных бикватернионах, построенных по принципу обратной связи, а также алгоритмы формирования полных

бикватернионных управлений, включающих оптимальные программное и стабилизирующее управления;

- решения прямой задачи кинематики стэнфордского робота-манипулятора, построенные с использованием дуальных матриц направляющих косинусов и бикватернионов Клиффорда;

- алгоритмы решения обратной задачи кинематики роботов-манипуляторов с использованием бикватернионной теории кинематического управления для построенных законов управления движением выходного звена робота-манипулятора;

- результаты численного решения обратной задачи кинематики на примере стэнфордского робота-манипулятора, свойства и закономерности этого решения;

- программа на языке Java, позволяющая решать прямую задачу кинематики стэнфордского робота-манипулятора с использованием матриц дуальных направляющих косинусов и бикватернионов Клиффорда и обратную задачу кинематики с использованием бикватернионной теории кинематического управления для четырех построенных законов управления.

Наиболее значимые результаты диссертационной работы прошли апробацию на конференциях различного уровня и внедрены в ФГБУН «Институт проблем точной механика и управления РАН» (г. Саратов) в виде алгоритмов и программ численного решения обратных задач кинематики роботов-манипуляторов и задач оптимального управления пространственным движением космического аппарата, а также в виде разделов научных отчетов при выполнении научно-исследовательских работ лабораторией механики, навигации и управления движением ИПТМУ РАН.

Значительная часть результатов диссертационной работы отражена в десяти публикациях, в т.ч. в пяти статьях в журналах, входящих в перечень ВАК РФ для соискателей ученой степени.

По диссертационной работе имеются **замечания**:

1. На стр. 36 отмечено, что «... манипулятор был одним из первых, разработанных специально для управления компьютером...»

Не совсем ясно, в чем же заключалось это управление?

2. В диссертации соискателем используются одни и те же обозначения для описания различных переменных, что не совсем удобно для восприятия текста диссертации. Так, например, на стр. 103  $T$  – это время переходного процесса, на стр. 118  $T$  – это время решения задачи, на стр. 125  $T$  – это время программного управления и т.д.

3. На стр. 61 и стр. 109 утверждается, что «... Полученные результаты справедливы для любой кинематической схемы робота-манипулятора...». Чем это подтверждается, если в диссертации приводятся расчеты и моделирование только для стэнфордского манипулятора?

4. На стр. 62 указано, что «... требуемая точность решения равна  $10^{-6}$ ...».

Как следует из диссертации, начальное и конечное положение звеньев манипулятора задано пятью угловыми координатами в градусах и одной линейной координатой в метрах. Следовательно, если точность для линейной координаты составляет 1 микрон ( $10^{-6} \text{ м} = 1 \text{ мкм}$ ), то существует физическая возможность ее отработать и измерить, правда, как это осуществляется в стэнфордском манипуляторе не совсем ясно. Если для угловых координат точность равна  $10^{-6}$  градусов или 0,0036 дуговых секунд ( $10^{-6} \text{ }^\circ = 60 \cdot 60 \cdot 10^{-6} = 0,0036 \text{ дуг.сек}$ ), то каким двигателем ее можно отработать и каким датчиком угла измерить? Для чего, в принципе, требуется такая точность?

5. На стр. 176 в акте внедрения указано, что «... материалы кандидатской диссертации ... использовались в виде алгоритмов и программ численного решения ... задач оптимального управления пространственным движением твердого тела (космического аппарата) ...». Не совсем ясно, какого класса космический аппарат имеется в виду: пилотируемый, для исследования дальнего космоса, спутник связи, низкоорбитальный спутник зондирования Земли или какой-то другой? Зачем в космосе нужен аппарат бикватернионов, описывающих винтовое движение? Кроме того, почему в тексте диссертации о решении подобной задачи ничего не сказано?

Замечания носят уточняющий и рекомендательный характер.

На основании изложенного считаю, что диссертация «Развитие бикватернионной теории кинематического управления и ее приложение к решению обратной задачи кинематики роботов-манипуляторов» соответствует п. 9-14 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства РФ № 842 от 24.09.2013 г., а её автор, Нелаева Екатерина Игоревна, заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.13.01 – Системный анализ, управление и обработка информации (в технической отрасли).

Официальный оппонент  
ведущий инженер-программист филиала  
ФГУП «НПЦ АП» – «ПО «Корпус», к.т.н.  
Адрес (рабочий): 410019, г. Саратов,  
ул. Осипова, 1. Филиал ФГУП «НПЦАП  
им. акад. Н.А. Пилюгина» – «ПО «Корпус»  
Телефон (мобильный): 8-961-052-94-13  
E-mail: deputatova@bk.ru.

 Е.А. Депутатова

Подпись Е.А. Депутатовой заверяю  
Начальник управления кадров филиала  
ФГУП «НПЦ АП» – «ПО «Корпус»



 С.Ю. Моисеева