

## ОТЗЫВ

официального оппонента доктора технических наук Колюбина Сергея Алексеевича на диссертационную работу Горностаева Игоря Вячеславовича «Разработка методов синтеза систем высокоскоростного управления манипуляционными роботами с учетом особенностей их конструкций», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.4 – Роботы, мехатроника и робототехнические системы (технические науки)

### 1. Краткая характеристика содержания

Диссертационная работа общим объемом 128 страниц состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы на 145 наименований, приложений.

**Во введении** показана актуальность выполненных исследований, изложены цель и задачи исследования, дано общее содержание диссертационной работы.

**В первой главе** приведен анализ особенностей, преимуществ и недостатков известных подходов и методов для создания систем управления манипуляционными роботами. А именно, рассмотрены методы формирования программных скоростей движения рабочих органов манипуляционных роботов, а также методы формирования программных сигналов управления для всех степеней подвижности кинематически избыточных манипуляторов. В конце первой главы дана постановка задачи.

**Во второй главе** представлен метод синтеза систем автоматического управления движениями манипуляторов, обеспечивающих точное выполнение технологических операций на предельно высоких скоростях с учетом ограничений по входным напряжениям электроприводов при дискретных изменениях параметров нагрузки этих электроприводов. Разработка этого метода рассмотрена для робототехнического комплекса, в состав которого входит одностепенной манипулятор, выполняющий операции с объектами, перемещаемыми в его рабочей области с помощью конвейера. Представлены результаты численного моделирования, подтверждающие работоспособность и эффективность разработанного метода.

**В третьей главе** представлен метод синтеза систем автоматического формирования предельно высоких программных скоростей движения рабочих органов многостепенных манипуляторов по пространственным траекториям, заданными параметрическими сплайнами, с учетом реальных ограничений на входные напряжения их электроприводов и взаимовлияний между всеми степенями подвижности. Этот метод может быть применен для различных многостепенных манипуляторов с разомкнутыми кинематическими схемами. Особенность этого метода состоит в том, что предельно высокую программную скорость движения рабочего органа манипулятора, при которой будет сохраняться заданная динамическая точность управления, предлагается рассчитывать с использованием полученных нелинейных уравнений, учитывающих кинематику и динамику этого манипулятора. В результате работы синтезированной системы программная скорость движения рабочего органа непрерывно автоматически настраивается, обеспечивая работу по крайней мере одного из электроприводов манипулятора вблизи зоны насыщения, но без входа в нее, что позволяет сохранять высокую точность движений. Приведены результаты численного моделирования синтезированной системы.

**В четвертой главе** представлен метод синтеза систем автоматического формирования программных сигналов для электроприводов всех степеней подвижности кинематически избыточных манипуляторов. Эти системы за счет управления избыточными степенями подвижности и обеспечиваемого ими перемещения всего манипулятора вблизи объекта работ позволяют автоматически исключать вход многозвенных манипуляторов во все нежелательные конфигурации, в которых плавное и

точное выполнение работ может нарушаться. Приведены результаты численного моделирования разработанной системы, а также проведен натурный эксперимент с использованием лабораторного робототехнического стенда, включающего шестистепенной манипулятор и конвейер. Всё это подтверждает, что применение предложенного метода позволяет полностью сохранить высокую точность управления многостепенным манипулятором и расширить его рабочую область.

**В заключении** сделаны основные выводы по диссертационной работе и определены дальнейшие направления разработки темы исследования.

**В приложениях** представлены два акта внедрения результатов диссертационной работы в ПАО “Дальприбор” и ДВФУ.

Диссертация написана логично и ясно. Автореферат соответствует содержанию диссертации. Основные результаты работы и выносимые на защиту положения достаточно полно отражены в автореферате.

## **2. Актуальность темы исследования**

Диссертация Горностаева Игоря Вячеславовича посвящена решению задачи создания новых систем управления манипуляционными роботами с целью повышения их производительности в процессе выполнения технологических без снижения заданной динамической точности, а также без входа механизмов этих роботов в ограничения и особые положения с одновременным увеличением их рабочих областей. Решение представленных в диссертационном исследовании задач позволяет, во-первых, существенно повысить производительность робототехнического оборудования, и, во-вторых, расширить возможную область применения манипуляционных роботов за счет обеспечения автоматического обхода этими манипуляторами критических положений, в которых может нарушаться точное выполнение технологических операций. С учетом этого тема диссертационной работы Горностаева Игоря Вячеславовича на сегодняшний день, несомненно, является важной и актуальной.

## **3. Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, подтверждаются**

1) корректным применением методов теории автоматического управления, дифференциальных уравнений, теоретической механики, методов аналитического решения обратной задачи кинематики для манипуляционных роботов, методов численного моделирования разработанных систем управления.

2) корректной организацией натурных экспериментов;

3) результатами численных экспериментов, согласующихся с теоретическими положениями.

Представленные в диссертационном исследовании результаты и положения являются обоснованными и достоверными.

## **4. Новизна исследований и полученных результатов**

Новизну диссертации составляют разработанные методы синтеза систем управления манипуляционными роботами, с использованием которых возможно поднять производительность робототехнического оборудования за счет

1) специальным образом формируемых входных сигналов на исполнительные электроприводы манипуляторов при их работе в позиционном режиме управления;

2) автоматической настройки программной скорости движения рабочего органа многостепенного манипулятора, при которой обеспечивается непрерывная работа одного

из его электроприводов вблизи зоны насыщения, но без входа в нее;

3) автоматического управления избыточными степенями подвижности многостепенного манипулятора, что позволяет исключить его вход во все нежелательные конфигурации, в которых может происходить резкое падение динамической точности или нарушаться ход выполнения технологической операции.

## **5. Практическая значимость работы**

Практическая значимость диссертационной работы Горностаева И.В. заключается в том, что с использованием представленных в работе методов могут быть созданы новые высокоточные системы управления, позволяющие существенно повысить скорость выполнения технологических операций, связанных с перемещением рабочих органов манипуляционных роботов по различным траекториям. Предложенные автором технические решения планируется использовать в ПАО “Дальприбор” (г. Владивосток) при управлении промышленным роботом “Kuka”.

## **6. Публикация основных результатов диссертации**

Основные полученные в диссертации результаты достаточно полно представлены в 39 публикациях, в том числе 5 из них опубликованы в российских рецензируемых научных журналах, рекомендуемых ВАК РФ, 5 патентов на изобретения, 16 свидетельств о государственной регистрации программ для ЭВМ. Основные положения диссертационной работы апробировались и обсуждались на девяти международных (6 из них проиндексированы в базах Scopus и 2 – в WoS) и на четырех Всероссийских конференциях.

## **7. Замечания по диссертационной работе**

1) Глава 2. Не рассмотрен случай, когда параметры нагрузки электроприводов в процессе работы меняются не дискретно, а непрерывно.

2) Глава 3. Работоспособность метода формирования скорости движения рабочего органа многостепенного манипулятора подтверждается только результатами численного моделирования, но не натурных экспериментов. Кроме того, в качестве объекта управления рассматривается манипулятор только с двигателями постоянного тока, а не, например, синхронными двигателями переменного тока.

3) Глава 4. Не определены точные условия, при которых одной избыточной степени подвижности не будет достаточно для обхода всех нежелательных положений манипулятора и поддержания его непрерывной безаварийной работы.

## **8. Общая оценка работы**

Указанные замечания не носят принципиального характера и не снижают научной и практической значимости работы. В целом диссертационная работа Горностаева Игоря Вячеславовича является законченной научно-исследовательской работой, в которой на основании выполненных соискателем теоретических и численно-аналитических исследований решена актуальная задача, имеющая прикладной характер и позволяющая создавать новые высокопроизводительные системы управления манипуляционными роботами

Считаю, что представленная диссертационная работа по уровню научной новизны, практической ценности, а также по объему и содержанию научных исследований соответствует требованиям, изложенным в п. 9–14 “Положения о присуждении ученых степеней” (утв. Приказом Минобрнауки России от 24 сентября 2013 г. №842) и

предъявляемым к кандидатским диссертациям, а автор диссертации, Горностаев Игорь Вячеславович, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.4 – Роботы, мехатроника и робототехнические системы (технические науки).

Против включения персональных данных, содержащихся в отзыве, в документы, связанные с защитой указанной диссертации, и их дальнейшей обработки не возражаю.

Официальный оппонент, доктор технических наук по специальности: 05.13.01 (новый шифр 2.3.1) – Системный анализ, управление и обработка информации (технические системы), доцент, профессор факультета систем управления и робототехники, федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский университет ИТМО»

Колюбин Сергей Алексеевич

  
P.D. 2023

Почтовый адрес: 197101, Россия,  
г. Санкт-Петербург, Кронверкский пр., д. 49,  
каб. 1424.

Телефон: +7 (812) 595-41-28

Электронная почта: s.kolyubin@itmo.ru

Подпись  
удостоверяю  
Менеджер ОПС  
Виноградова А.Д.

Колюбин С.А.

