

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования  
«Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики «Университет  
ИТМО»  
197101, Россия, Санкт-Петербург, Кронверкский пр., дом 49; Телефон: (7812) 232-97-04; Факс: (7812) 232-23-07;  
E-mail: [od@mail.ifmo.ru](mailto:od@mail.ifmo.ru); Интернет-сайт: [www.ifmo.ru](http://www.ifmo.ru)

**УТВЕРЖДАЮ:**  
Проректор по научной работе ГБАОУ ВО  
«Санкт - Петербургский национальный  
исследовательский университет  
информационных технологий,  
механики и оптики»

Д. Т. Н., профессор

В.О. Никифоров

"11" апреля 2016 г.



### **Отзыв ведущей организации**

на диссертационную работу Варкова Артема Александровича на тему «Разработка и исследование системы управления манипуляционным промышленным роботом на базе контроллера движения», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.09.03 – Электротехнические комплексы и системы.

#### **Актуальность темы**

Необходимость замены импортного и устаревшего оборудования и интеграции существующих технологических систем в производственные комплексы является важным вопросом в отечественной промышленности. Поиск решения по данной проблеме требует разносторонних исследований. Одним из наиболее важных направлений является расширение области внедрения манипуляционных роботов в производство.

Управление сложными мехатронными объектами требует учета влияния множества внешних и внутренних факторов, которые проявляются в процессе перемещения рабочего органа. При этом дополнительные сложности создает необходимость использования манипуляционных роботов совместно с другими технологическими объектами в составе гибких производственных систем.

Таким образом, создание системы управления манипуляционными роботами на основании предлагаемых автором подходов, пригодной для использования в промышленности, является важной научной и практической задачей, что обуславливает актуальность диссертации.

### **Цель работы**

Целью представленной соискателем диссертации является разработка и исследование системы управления манипуляционным промышленным роботом на базе контроллера движения, обеспечивающей высокое качество управления в условиях изменения динамических параметров с возможностью интеграции в состав гибкой производственной системы.

Для ее достижения им предлагается решение следующих задач:

- 1) анализ общих подходов и определение требований к управлению МР;
- 2) исследование особенностей кинематики и динамики манипулятора и формирование его математической модели;
- 3) разработка и исследование системы управления манипуляционным роботом с регуляторами различного типа;
- 4) разработка аппаратно-программных средств СУ МР;
- 5) экспериментальное исследование разработанной СУ МР.

### **Основные результаты**

В диссертации рассматривается одно из возможных направлений, заключающееся в создании системы управления промышленными манипуляторами, основанной на использовании современных принципов и подходов. Автор предлагает использовать обобщенную математическую модель, описывающую манипулятор для реализации алгоритмов управления, позволяющих добиться высокого качества управления за счет компенсации возмущений. В качестве аппаратной базы для решения имеющейся задачи автором предлагается использование контроллера движения.

Автором были проведены исследования методов управления манипуляционными роботами и разработан опытный образец системы управления позволяющей учитывать влияние возмущений, возникающих при перемещении манипулятора. Этапы исследований и результаты рассмотрены в диссертации в логичной и обоснованной форме.

К основным результатам работы можно отнести следующие:

- 1) принципы построения аппаратной и программной архитектуры, позволяющие разработать СУ МР, соответствующую требованиям, предъявляемым современной промышленностью, а также управлять не только манипуляционными роботами, но и близкими категориями оборудования, что позволяет использовать различные виды МР, станков и других устройств для создания гибких производственных систем;
- 2) обобщённую математическую модель манипулятора, которая даёт возможность осуществлять формирование траектории перемещения рабочего органа манипулятора с учетом рассчитанных моментов, действующих на него, что в итоге позволяет повысить точность перемещения;
- 3) варианты реализации регуляторов положения, позволяющие осуществлять контурно-позиционное управление звеньями манипулятора при существенных изменениях сил, действующих на них, для которых разработана методика настройки параметров для использования в различных режимах работы с применением двухкритериального подхода, основанного на оценке качества управления при различных задающих воздействиях;
- 4) опытный образец, построенный на основании предложенных принципов, результаты испытаний которого подтвердили соответствие разработанной СУ МР существующим технологическим требованиям.

### **Рекомендации по использованию результатов**

Полученные результаты могут быть использованы для решения задач управления манипуляционными роботами как независимо, так и в составе производственных комплексов. При дальнейших исследованиях полученные математические модели могут являться базой для создания более сложных теоретических моделей, позволяющих учесть факторы, не рассмотренные в диссертации, а также в учебном процессе для исследования принципов управления манипуляционными роботами.

### **Научная новизна**

Научная новизна работы определяется разработкой и реализацией новых подходов к решению проблемы управления промышленным манипуляционным роботом и заключается в следующем:

1) предложены структура и принципы построения СУ МР, основанной на двухпроцессорной архитектуре с применением контроллера движения и промышленного компьютера, позволяющая эффективно распределять и решать задачи расчёта траектории, логического контроля и управления электроприводами;

2) разработана обобщённая математическая модель МР, включающая модель для расчёта прямой и обратной задач кинематики, динамическую модель, позволяющую вести расчёт моментов, действующих на звенья, и электромеханическую модель;

3) разработана методика оптимизации расчётов динамической модели, использующей метод Лагранжа-Эйлера, основанный на минимизации времени вычислений при сохранении желаемого качества управления;

4) предложены варианты построения регуляторов положения и получены интегральные оценки качества СУ МР, которые определяют границы их рационального использования для различных режимов работы.

### **Обоснованность и достоверность результатов**

Проведенное исследование можно охарактеризовать как научно обоснованное и завершённое, обеспечивающее базу для дальнейшего развития. Обоснованность подтверждается использованием существующих методов исследования в области теории автоматического управления, электрических машин, численных методов решения систем уравнений, векторно-матричного и операционного исчисления, а также применения математического моделирования. Автором проведены эксперименты на опытном образце, результаты которых подтверждают выводы теоретических исследований.

### **Практическая ценность**

Практическую ценность имеют следующие результаты работы:

1) аппаратная реализация, алгоритмы и программное обеспечение СУ МР с использованием контроллера движения и промышленного компьютера;

2) структура программных средств СУ МР, реализуемых в составе двухпроцессорной архитектуры, и способы распределения вычислительных ресурсов между задачами системного и прикладного уровней;

3) методика настройки СУ МР с использованием двухкритериального подхода на основе применения различных форм тестовых сигналов и формирования заданных показателей точности и быстродействия при контурно-позиционных перемещениях;

4) формат и реализация языка программирования, основанного на структурированном представлении данных и позволяющем эффективно описывать сложные управляющие алгоритмы.

### **Замечания по диссертационной работе**

1) исследования, проведенные в работе, основываются на использовании известных параметров манипулятора, при этом не рассматриваются вопросы, связанные с их оценкой в случае, если точные данные отсутствуют или недостаточно документированы;

2) при создании динамической модели не рассмотрено насколько велико влияние отдельных факторов на манипулятор, а также не приведена оценка влияния таких факторов как трение и упругость в механических передачах;

3) при создании алгоритмов управления в диссертации рассматривается только контур положения, при этом в работе не указывается структура построения контуров тока и скорости;

4) при выборе между полиномиальным и ПИД-регулятором предлагается оценить вычислительные затраты на расчет математической модели с различной точностью вычислений, на наш взгляд было бы целесообразно привести численные оценки для рассмотренных случаев;

5) при описании структуры программных средств не указаны временные соотношения между процессами, а также требования по производительности, предъявляемые к контроллеру движения.

### **Заключение**

Несмотря на высказанные замечания, диссертационная работа Варкова А.А. на тему «Разработка и исследование системы управления манипуляционным промышленным роботом на базе контроллера движения» на соискание ученой степени кандидата технических наук представляет собой научно-квалификационную работу, в которой на основании выполненных автором исследований решены задачи, имеющие важное значение для развития

промышленности, прежде всего для обновления и замены существующего оборудования.

Основные положения подкреплены теоретическими и экспериментальными исследованиями, отраженными в виде графиков и рисунков. Каждая глава и диссертация в целом содержат выводы по достигнутым результатам. Основные этапы, выводы и результаты приведены в автореферате.

Основные материалы работы полностью отражены в научных публикациях, представленных соискателем ученой степени.

Автореферат соответствует содержанию диссертации.

Диссертация соответствует требованиям, предъявляемым ВАК России к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук, в том числе пункту 9 «Положения о присуждении учёных степеней», утвержденного постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 г. № 842, а её автор Варков Артем Александрович, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.09.03 «Электротехнические комплексы и системы».

Отзыв рассмотрен и одобрен на заседании кафедры «Электротехники и прецизионных электромеханических систем» ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики», протокол № 4 от «06» апреля 2016 года.

Заведующий кафедрой  
«Электротехники и прецизионных  
электромеханических систем»  
ФГАОУ ВО «Санкт - Петербургский  
национальный исследовательский  
университет информационных  
технологий,

механики и оптики» к.т.н., доцент,

Кронверкский проспект, д.49

г. Санкт-Петербург, 197001

+7(812)233-83-36

tomasov@ets.ifmo.ru

Подпись  
удостоверяю  
Специалист О  
Университета



Томасов Валентин Сергеевич

Томасов В.С.

Томасов В.С.