

## АННОТАЦИЯ

диссертации на соискание степени «доктор философии» (PhD) по специальности 6D070200 – «Автоматизация и управление»

**ҚҰСАЙЫН-МҰРАТ ӘСЕЛ ТҮГЕЛБАЙҚЫЗЫ**

### **СИНТЕЗ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ РОБОТА-МАНИПУЛЯТОРА ДЛЯ ЗАДАЧ 3-СКАНИРОВАНИЯ ОБЪЕКТОВ СЛОЖНОЙ ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ ФОРМЫ**

**Основная идея данного исследования:** диссертационная работа посвящена синтезу системы автоматического управления движением робота-манипулятора для задач 3D-сканирования объектов сложной геометрической формы, на поверхность которых затем проводится плазменное напыление покрытий при помощи того же робота-манипулятора. Для управления роботом, выполняющим технологическую операцию плазменного напыления покрытий, нужно использование готовой или создание новой определенной модели траектории робота и задание ее в понятном для робота виде. В диссертационной работе предлагается предварительно провести роботизированное сканирование объекта при помощи закрепленных на роботе датчиков расстояния и по данным сканирования получить 3D-модель объекта, по которой затем будет перемещаться рука робота с закрепленным на ней плазмотроном. Планирование траектории перемещения рабочего инструмента робота-манипулятора, выполняющего последовательно процедуру сканирования объекта, а затем его обработку плазменной струей, а также обеспечение согласованного движения звеньев манипулятора в обоих этих процессах, что включает согласование скоростей и ускорений различных звеньев, являются основными задачами управления в данном исследовании. Эти задачи управления решаются на двух уровнях. На первом уровне управление реализуется путем синтеза системы управления звеньями робота с использованием методов теории автоматического управления. На втором уровне управление реализуется путем программирования контроллера робота, для чего разрабатываются алгоритмы управления роботом, выполняющим процедуру 3D-сканирования, с последующим планированием траектории и автоматической генерацией программы перемещения робота по построенной в результате сканирования 3D-модели.

**Ключевые слова:** синтез системы управления, 3D-сканирование, 3D-модели объектов, рабочий инструмент робота-манипулятора, бесконтактные датчики расстояния, планирование траектории, плазменное напыление покрытий.

**Актуальность.** Решению задачи управления движением робота-манипулятора и планирования его траектории за последнее время посвящено много исследований, одно из наиболее актуальных направлений - это

использование робота-манипулятора в качестве базового компонента системы 3D-сканирования, чтобы воссоздать модель обрабатываемого роботом изделия. 3D-сканеры на основе промышленных роботов применяются в системах контроля качества, в автоматических линиях упаковки, системах сборки и проч., область их применения с течением времени неуклонно расширяется. В настоящее время роботы-манипуляторы начали применять для операций плазменного напыления покрытий в условиях опытных производственных участков и лабораторий, но промышленное внедрение роботизированных технологий плазменного напыления затруднено из-за сложностей, связанных как со спецификой процесса напыления (например, применение технологий термического плазменного напыления для медицины – это инновационная задача, требующая обеспечения прецизионной точности процессов применительно к биосовместимым материалам), так и с вопросами управления роботами-манипуляторами.

Разработка и апробация нового метода синтеза системы автоматического управления движением робота-манипулятора для задач 3D-сканирования объектов сложной геометрической формы, в совокупности с применением новых алгоритмов воссоздания 3D-моделей отсканированных объектов и планирования траектории робота позволит создать роботизированную систему 3D-сканирования объектов сложной геометрической формы для последующего выполнения технологических операций плазменного напыления покрытий с перемещением плазматрона вдоль реконструированной 3D-модели объекта с прецизионным соблюдением таких ключевых параметров, как линейная скорость перемещения и дистанция до поверхности объекта, что даст преимущества по сравнению с существующими решениями.

Тема диссертации соответствует приоритетному направлению науки в области ИКТ и Государственной программе "Цифровой Казахстан". Диссертационная работа выполнена в рамках проекта № AP05130525 «Интеллектуальная роботизированная система для плазменной обработки и резки крупногабаритных изделий сложной формы» с грантовым финансированием Комитета науки МОН РК на 2018-2020 годы, по приоритету «Информационные, телекоммуникационные и космические технологии, научные исследования в области естественных наук», руководитель проекта д. ф.-м. н., профессор Алонцева Д.Л.

**Объектом исследования** диссертационной работы является система автоматического управления движением промышленного робота-манипулятора, выполняющего последовательно операции 3D-сканирования и плазменного напыления покрытий на поверхность отсканированных объектов.

**Предметом исследования** является синтез системы автоматического управления движением робота-манипулятора для задач 3D-сканирования объектов сложной геометрической формы и алгоритмы управления промышленным роботом-манипулятором, выполняющим последовательно

операции 3D-сканирования и плазменного напыления покрытий на поверхность отсканированных объектов.

**Цель исследования:** синтез системы 3D-сканирования на базе робота-манипулятора и установленных на работе бесконтактных датчиков расстояния и апробация роботизированной системы 3D-сканирования на модельных и реальных объектах.

**Задачи исследования:**

1) Анализ современного состояния проблем разработки и использования роботизированных систем сканирования и синтеза систем управления ими на основе обзора открытых литературных источников, с учетом специфики процессов плазменной обработки промышленных изделий, которым предшествует 3D-сканирование.

2) Разработка методики синтеза системы автоматического управления роботом-манипулятором на основе алгоритма компенсации динамики объекта и возмущений и разработка программного обеспечения, предназначенного для управления роботом в соответствии с выбранными параметрами системы автоматического управления.

3) Разработка алгоритмов управления роботом-манипулятором, выполняющим процедуру 3D-сканирования поверхности промышленного изделия.

4) Апробация разработанной системы 3D-сканирования на базе робота-манипулятора и установленных на работе бесконтактных датчиков расстояния на модельных и реальных объектах.

**Основные методы исследования:** методы теории автоматического управления и линейной алгебры, математическое компьютерное моделирование, тестирование алгоритмов управления в программном симуляторе и методики сканирования на модельных объектах, натурный эксперимент: 3D-сканирование и плазменная обработка реальных объектов сканирования на опытном производственном участке с оценкой результата с точки зрения требований к конечному продукту (покрытию).

**Научные положения, выносимые на защиту:**

1) синтез системы автоматического управления движением в данном направлении инструмента и звена робота-манипулятора на основе алгоритма компенсации динамики объекта и возмущений;

2) результаты разработки и тестирования на модельных и реальных объектах новой системы 3D-сканирования на базе робота-манипулятора и установленных на работе бесконтактных датчиков расстояния.

**Научная новизна работы** заключается в том, что впервые:

1) выполнен синтез системы автоматического управления движением в данном направлении инструмента и звена робота-манипулятора на основе алгоритма компенсации динамики объекта и возмущений;

2) разработан алгоритм управления, обеспечивающий генерацию программы перемещения промышленного робота-манипулятора Kawasaki, выполняющего процедуру 3D-сканирования бесконтактным лазерным

датчиком расстояния с заданными параметрами процесса сканирования (шаг, скорость, точность прохождения траектории);

3) получена совокупность результатов апробации на модельных и реальных объектах системы автоматического управления движением роботоманипулятора, выполняющего задачи 3D-сканирования объектов сложной геометрической формы с последующим плазменным напылением их поверхности, обладающая преимуществами в точности выполнения технологических процессов по сравнению с существующими решениями

**Публикации.** Всего по теме диссертационной работы опубликовано **14** работ, из их: **4** в изданиях, рекомендуемых Комитетом по контролю в сфере образования и науки МОиН РК; **4** в международных рецензируемых журналах, индексируемых в базе в Scopus и имеющих процентиль по CiteScore и (или) индексируемых в данных информационной компании Web of Science Core Collection, Clarivate Analytics и (или) имеющих ненулевой импакт-фактор, **5** в трудах международных конференций и **1** свидетельство о государственной регистрации на объект авторского права.

*Вклад в подготовку каждой публикации* состоял в анализе данных открытых литературных источников по теме исследования, в разработке и апробации моделей, в получении и описании экспериментальных результатов, в подготовке и обсуждении выводов, а также в представлении и обсуждении научных результатов на семинарах и конференциях.

**Основные результаты диссертационной работы доложены и обсуждены на 5-ти международных конференциях:**

1) 11th IEEE International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications (IDAACS), 22 - 24 сентября 2021 г., г. Краков, Польша (онлайн);

2) 14th International Symposium on Applied Informatics and Related Areas, 14 ноября 2019 г., г. Секешфехервар, Венгрия;

3) VII Международная научно-техническая конференция студентов, магистрантов и молодых ученых «Творчество молодых инновационному развитию Казахстана», 8, 9 апреля 2021 г., г. Усть-Каменогорск, Казахстан;

4) Communications in Computer and Information Science (CITech-2018), 12 -13 сентября 2018 г., г. Усть-Каменогорск, Казахстан;

5) Global Science and Innovations 2018: Central Asia», 7 декабря 2018 г. Астана, Казахстан.

**Основные научные результаты, доказанные в диссертации, а также в статьях по теме исследования, включают:**

1. Универсальный алгоритм синтеза системы управления объектом управления методом компенсации динамики объекта и возмущений, применимый для одно- и многомерных объектов управления, в которых количество регулируемых переменных равно количеству управляющих воздействий. Метод, лежащий в основе алгоритма, основывается на компенсации всех внешних аддитивных воздействий и динамики объекта управления с точностью до фильтров-эталонов посредством обратной математической модели этого объекта. Анализ последовательных шагов

алгоритма позволяет выявить динамические свойства полученной системы и качество компенсации сигналов в идеальном случае, когда структура и параметры объекта равны их расчетным значениям.

2) Алгоритм управления, обеспечивающий генерацию программы перемещения промышленного робота-манипулятора Kawasaki для выполнения процедуры 3D-сканирования, отличающийся от существующих тем, что генерация программы перемещения рабочего инструмента робота (бесконтактного датчика расстояния) обеспечивает перемещение рабочего инструмента манипулятора (лазерного датчика расстояния) по заданной криволинейной траектории в плоскости с заданными параметрами процесса сканирования (шаг, скорость, точность прохождения траектории);

3) Совокупность результатов апробации на модельных и реальных объектах системы автоматического управления движением робота-манипулятора, выполняющего задачи 3D-сканирования объектов сложной геометрической формы с последующим плазменным напылением их поверхности, обладающая преимуществами в точности выполнения технологических процессов по сравнению с существующими решениями.

**Диссертация имеет практическое значение:**

- результаты диссертации внедрены в учебный процесс ВКТУ им. Д. Серикбаева в образовательную программу «Автоматизация и управление», используются для преподавания дисциплин: «Нелинейные системы автоматического регулирования» и «Экспериментально-статистические методы построения математических моделей» (АКТ от 30.11.21 о внедрении НИР в учебный процесс);

- в «ИП Абакумов С.А.» проведены производственные испытания промышленного изделия (дробилки щековой), на поверхность которого наносилось покрытие с использованием робота-манипулятора, перемещающегося по 3D-модели изделия, полученной в результате предварительного 3D-сканирования, подтверждающие увеличение срока службы плиты щековой дробилки с плазменным покрытием изношенной поверхности (Акт производственных испытаний «ИП Абакумов С.А.», № 1 от 01.10.2020).

**Для внедрения в практику предлагается:** свидетельство о государственной регистрации на объект авторского права № 5803 от 15 октября 2019 г. Вид объекта: программа для ЭВМ. Название объекта: «Расчет коэффициентов алгоритма управления однозвенным роботом-манипулятором» Авторы: Д.Л. Алонцева, Г.К. Шадрин, **Құсайын-Мұрат Ә. Т.**

**Структура и объём диссертации.** Диссертация состоит из введения, 4-х разделов, выводов, заключения, списка использованных источников из 171 наименования, диссертация изложена на 119 страницах компьютерного текста, включает 44 рисунка, 3 таблицы и 4 приложения.