

РЕЦЕНЗИЯ

**официального рецензента на диссертационную работу
Кадыролдиной Альбины Талапжановны
«Интеллектуальная роботизированная система для плазменной
обработки изделий сложной формы», представленную на соискание
степени доктора философии (PhD) по специальности 6D070200 –
«Автоматизация и управление»**

1. Соответствие темы диссертации приоритетным направлениям развития науки и/или государственным программам, которые реализуются в Республике Казахстан

Тема диссертации Альбины Талапжановны Кадыролдиной соответствует приоритетным направлениям развития науки и государственным программам Республики Казахстан. В диссертации указано, что исследование выполнено в рамках проекта № AP05130525 «Интеллектуальная роботизированная система для плазменной обработки и резки крупногабаритных изделий сложной формы» с госбюджетным (грантовым) финансированием Комитета науки МОиН РК на 2018-2020 годы по приоритету «Информационные, телекоммуникационные и космические технологии, научные исследования в области естественных наук» (прикладное исследование). В статьях, опубликованных по теме диссертации, в разделе «Благодарность» указывается, что исследование выполнено при финансовой поддержке КН МОиН РК по проекту № AP05130525. Диссертационное исследование выполнено на актуальную тему разработки новых (интеллектуальных) алгоритмов управления и для повышения точности управления промышленным роботом-манипулятором, применяемым для плазменной резки и для плазменного напыления покрытий на изделия сложной формы и на крупногабаритные изделия. Актуальность исследования четко обоснована в диссертации и показывает соответствие тематики исследования приоритетным направлениям развития науки и государственным программам, которые реализуются в Республике Казахстан.

2. Соблюдение в диссертации принципа самостоятельности.

Диссертация написана Кадыролдиной А.К. самостоятельно и свидетельствует о личном вкладе автора диссертации в науку по направлению «Автоматизация и управление», в развитие техники и технологий. Кадыролдина А.К. хорошо раскрыла в диссертации важность проведенного ею исследования, обосновала актуальность диссертации, тщательно продумала структуру диссертационной работы,

самостоятельно получила ряд важных и новых результатов, обосновала и доказала научные положения, выносимые на защиту. В диссертации присутствует критический анализ, сравнивающий предложенные в работе решения с решениями других авторов и выражающий собственное мнение диссертанта.

3. Соблюдение в диссертации принципа внутреннего единства.

Диссертация Кадыролдиной Альбины Талапжановны обладает внутренним единством, все разделы и положения диссертации логически взаимосвязаны; научные положения, полученные результаты и рекомендации соответствуют поставленным в диссертации целям и задачам. Предложенные автором новые решения и методы аргументированы и оценены по сравнению с известными решениями.

На основании проведенного в первом разделе диссертации анализа работ в области создания систем и методов трехмерного сканирования, Кадыролдина А.Т. обосновала выбор типа бесконтактного датчика расстояния для проведения экспериментального исследования и аргументировала необходимость разработки алгоритма сегментации для восстановления 3D модели поверхности при сканировании изделий сложной формы. Автор отметила, что большинство известных решений по 3D сканированию предлагает представлять первичные данные сканирования в виде профилей сканируемой поверхности, тогда как представление первичных данных в виде «облака точек» дает определенные преимущества для реконструкции 3D модели. Данная модель позволит в дальнейшем автоматически планировать траекторию робота-манипулятора, если будет выполняться процедура сегментации, позволяющая воссоздавать поверхности с гранями и сочленениями. Исходя из актуальности исследования и анализа литературных источников, Альбина Талапжановна сформулировала цель и задачи исследования. В конце первого раздела диссертации приводятся сформулированные автором основные положения, выносимые на защиту, логически связанные с целью и задачами исследования.

Во втором разделе диссертации описывается основное оборудование и методы исследования. Как один из методов исследования, описывается новый, разработанный автором алгоритм распознавания сканированных изображений и реализующая его компьютерная программа для интерактивного взаимодействия с оператором робота, которая позволяет оператору во время процесса 3D сканирования задавать, тестировать и сохранять параметры процесса распознавания для дальнейшего использования в процессе автоматической обработки данных 3D сканирования. Одним из назначений программы является предоставление оператору возможности выбрать опытным путем оптимальные для заданных условий сканирования параметры процедуры детектирования. По сравнению с другими, известными ранее решениями, отмечается повышение надежности детектирования лазерной полосы на цифровых изображениях

сканирования в совокупности с одновременным увеличением вероятности появления артефактов детектирования.

В третьем разделе диссертации представлена схема системы 3D-сканирования лазерным триангуляционным датчиком расстояния, укрепленным на роботе-манипуляторе и описан алгоритм сегментации с построением аналитической модели поверхности. Приведены результаты апробации разработанной схемы и алгоритма, подтверждающие первое выносимое на защиту положение. Отмечается, что в отличие от ранее предложенных решений, описанная в диссертации роботизированная система 3D сканирования является малочувствительной к ориентации датчиков относительно поверхности, что дает такое преимущество, как возможность использовать датчики положения с широким диапазоном измеряемых расстояний. Кроме того, благодаря быстройдействию триангуляционных датчиков, сканирование поверхности с получением облака точек проводится без остановок в узлах сетки сканирования, таким образом, эффективность сканирования повышается по сравнению с ранее предложенными решениями (другие типы датчиков, профильное сканирование и т.п.). Еще одно существенное отличие от предложенных ранее решений заключается в том, что в процессе обработки данных облака точек проводится процедура сегментации поверхности, необходимая для определения геометрически однородных регионов сканируемой поверхности и ее аппроксимации известными типами поверхностей. Разработанный в диссертации алгоритм сегментации, в отличие от ранее предложенных другими авторами методов аппроксимации поверхности, позволяет аппроксимировать не только гладкие, но и поверхности с резкими перегибами и изломами.

В четвертом разделе диссертации описаны алгоритмы автоматического планирования траектории рабочего инструмента и генерации программы движения робота-манипулятора по сформированной траектории, которые подтверждают второе положение, выносимое на защиту. Приведены результаты практического применения разработанных алгоритмов управления при отработке технологических решений на опытном производственном роботизированном участке и результаты производственных испытаний обработанных по новой технологии изделий. Показано, что по сравнению с ранее известными алгоритмами аппроксимации траектории гладкой кривой последовательностью отрезков и дуг окружности, новый, предложенный в данной работе для планирования траектории и генерации программы робота-манипулятора алгоритм аппроксимации обладает повышенной точностью, при сохранении малой вычислительной емкости, точности аппроксимации и легкости программной реализации. Отмечено, что разработанные алгоритмы автоматического планирования траектории и генерации программы робота обеспечивают плавное перемещение рабочего инструмента робота-манипулятора с постоянной по модулю скоростью вдоль гладкой кривой - 3D модели изделия, без риска

возникновения нежелательных больших значений центростремительного ускорения при маневрах манипулятора.

В выводах и заключении диссертации приводится перечень основных результатов и выводов диссертационного исследования, подтверждающих положения, выносимые на защиту, и дается оценка научной новизны и практической значимости исследования.

В приложениях приведены копии свидетельства интеллектуальной собственности Республики Казахстан о государственной регистрации программы для ЭВМ и копия акта производственных испытаний, подтверждающие практическую значимость и демонстрирующие прикладное значение диссертации.

4. Соблюдение в диссертации принципа научной новизны.

Научные результаты, положения, рекомендации и выводы диссертации являются новыми:

- разработана оригинальная схема 3D-сканирования лазерным триангуляционным датчиком расстояния, укрепленным на роботеманипуляторе. Схема включает промышленный робот-манипулятор Kawasaki с установленным на нем датчиком расстояния, контроллер робота-манипулятора, персональный компьютер, связанный с контроллером робота-манипулятора и датчиком расстояния через последовательный интерфейс RS232. Робот-манипулятор Kawasaki позволяет осуществлять высокоточное позирование рабочего инструмента, за счет чего данная схема позволяет реализовать относительно недорогую для достигнутых характеристик систему 3D-сканирования, обладающую высоким разрешением и точностью;

- разработан новый алгоритм процедуры сегментации поверхности с построением аналитической модели поверхности, в котором впервые в качестве критерия однородной геометрической структуры двух локальных регионов поверхности используются численные величины Гауссовой и средней кривизны поверхности. Алгоритм основан на применении локальной параметрической модели и последующего объединения локальных участков поверхности, обладающих однородной геометрической структурой, что позволяет без априорных предположений о геометрическом строении поверхности строить аналитическую 3D модель поверхности со сложным строением;

- разработаны новые интеллектуальные алгоритмы управления роботом-манипулятором, при котором автоматическое планирование траектории и генерация программы движения робота – манипулятора производится по данным 3D-сканирования поверхности обрабатываемого роботом изделия, что позволяет производить эффективную и точную роботизированную плазменную обработку и резку изделий сложной формы. Алгоритмы автоматического планирования траектории и генерации программы робота-манипулятора Kawasaki с использованием языка AS являются совершенно новыми и

впервые применены для управления роботом-манипулятором при выполнении технологических операций плазменной резки и микроплазменного напыления покрытий;

- разработан новый алгоритм распознавания сканированных изображений, использующий процедуру детектирования лазерной полосы на цифровом изображении с визуализацией карты распределения величин Лапласиана изображения и модуля градиента изображения, на основе которого создана соответствующая компьютерная программа для интерактивного взаимодействия с оператором робота при сканировании.

Совокупность научных результатов, положений, рекомендаций и выводов диссертации позволила создать научные основы роботизированной технологии плазменной резки и обработки крупногабаритных изделий сложной формы. Основные результаты диссертационной работы были получены в ходе выполнения исследований по проекту № AP05130525 «Интеллектуальная роботизированная система для плазменной обработки и резки крупногабаритных изделий сложной формы» с грантовым финансированием Комитета науки МОН РК на 2018-2020 годы.

Новые алгоритмы управления промышленным роботом-манипулятором, представленные в диссертации, представляют интерес для широкого круга исследователей в области автоматизации и управления, в частности, в области интеллектуального управления роботами-манипуляторами.

Таким образом, диссертация содержит новые научно обоснованные теоретические и экспериментальные результаты, совокупность которых можно квалифицировать как имеющую важное значение для развития научного направления «Автоматизация и управление»

5. Соблюдение в диссертации принципа достоверности.

В диссертации Кадыролдиной А.К. соблюдается принцип достоверности, все результаты диссертационной работы получены с использованием современных методов научных исследований и методик обработки и интерпретации данных с применением компьютерных технологий.

Основными методами исследования в диссертации Кадыролдиной А.К. были математическое компьютерное моделирование, натурный эксперимент: тестирование методики сканирования на модельных объектах и реализация роботизированной плазменной обработки поверхности с перемещением руки робота-манипулятора по сгенерированной траектории с последующим исследованием структуры и свойств обработанных образцов и производственным испытанием промышленного изделия.

Каждое научное положение, каждая предложенная модель и все результаты подтверждены экспериментом: в диссертации приводятся результаты тестирования методики сканирования на модельных объектах,

представлены реконструированные 3 D модели поверхностей, представлено описание новой компьютерной программы, реализующей алгоритм выделения лазерных полос на цифровых изображениях объектов 3D сканирования, представлены результаты производственного испытания обработанного плазмой с применением интеллектуальной роботизированной системы изделия, приводятся подтверждения реализации плазменной резки и напыления покрытий в условиях роботизированного производственного участка, результаты экспериментального исследования структуры и свойств обработанных с использованием новой роботизированной технологии образцов опубликованы в рецензируемых научных журналах, в частности, в Johnson Matthey Technology Review.

Таким образом, все теоретические выводы диссертации и разработанные в диссертации модели были доказаны и подтверждены экспериментальным исследованием

6. Соблюдение в диссертации принципа практической ценности.

В диссертации Кадыролдиной А.К., имеющей существенное практическое (прикладное) значение, приводятся сведения о практическом использовании полученных автором научных результатов, подтвержденные свидетельством интеллектуальной собственности (Свидетельство о государственной регистрации № 5870 от 17 октября 2019 на объект авторского права (программа для ЭВМ) под названием «Программа выделения лазерных полос на цифровых изображениях объектов 3D сканирования») и актом производственных испытаний (Акт производственных испытаний «ИП Абакумов С.А.», № 1 от 01.10.2020).

Результаты диссертации перспективны для внедрения в производство, получен акт производственных испытаний обработанного по новой технологии промышленного изделия (Акт производственных испытаний «ИП Абакумов С.А.», № 1 от 01.10.2020), где подтверждено, что ресурс работы подвижной плиты щековой дробилки восстановленной путем роботизированного плазменного напыления износостойких защитных покрытий на разрушенные участки плиты, был повышен на 15% по сравнению с плитами, не подвергавшимися восстановлению

Для внедрения в практику предлагается зарегистрированная программа для ЭВМ «Программа выделения лазерных полос на цифровых изображениях объектов 3D сканирования» № 5870 от 17 октября 2019, позволяющая реализовать интерактивное взаимодействие с человеком - оператором робота во время выполнения процесса 3D-сканирования, а также распознавать и анализировать изображения, полученные в результате сканирования.

Разработанные в диссертации новые алгоритмы управления, сегментации и схема роботизированного сканирования представляют интерес для широкого круга исследователей в области автоматизации и

управления, в частности, в области интеллектуального управления роботами-манипуляторами.

Результаты диссертации перспективны для создания наукоемкого производства, внедрение в производство интеллектуальной роботизированной системы позволит оптимизировать технологию плазменной резки и обработки изделий, улучшить эксплуатационные характеристики обрабатываемых изделий, экономически эффективно производить роботизированное плазменное напыление покрытий на детали или изделия сложной формы, а также плазменную резку крупногабаритных мелкосерийных и штучных изделий.

7. Соблюдение в диссертации принципа академической честности

В диссертации соблюдается принцип академической честности, в ней нет заимствованного материала без ссылки на автора и источник заимствования.

Автор диссертации Кадыролдина А.К. соблюдает права и законные интересы других авторов, в ее диссертации приводятся все ссылки на цитируемых авторов и источник, например, при использовании поясняющих рисунков, а также она приводит ссылки на ее собственные работы, когда ссылается на уже опубликованные ею результаты. В диссертации приводится список использованных источников из 99 наименований, включающий в основном современные работы, статьи в журналах, монографии, патенты, в том числе и публикации автора диссертации, и на каждый источник последовательно, при первом упоминании в тексте диссертации дается ссылка. Ссылка на каждый источник дается с четким указанием, что именно было важным в указанном источнике для данного диссертационного исследования: для анализа, для сравнения результатов, для пояснения принятых методик или обозначений и т.д.

8. Полнота публикаций основных научных результатов и положений диссертации

Основные научные результаты диссертации Кадыролдиной А.К. на соискание степени доктора философии (PhD) были опубликованы (до защиты диссертации) в научных изданиях, включенных в Перечень научных изданий, рекомендуемых ККСОН РК для публикации основных результатов научной деятельности и в международных рецензируемых научных журналах, а также в трудах международных конференций. Оценка соответствия полноты публикаций требованиям показывает, что по теме диссертации опубликовано:

всего научных трудов **16**;

в том числе: в изданиях, рекомендуемых Комитетом 4, включая 3 журнальных статьи и 1 свидетельство интеллектуальной собственности РК:

1) Алонцева Д.Л., Русакова А.В., Красавин А.Л., Прохоренкова Н.В., Кадыролдина А.Т. Разработка технологии микроплазменного нанесения биосовместимых покрытий для изготовления медицинской продукции // Вестник ВКГТУ им. Д. Серикбаева, №3 (77), 2017. – С.65-71. Импакт-фактор журнала за 2017 год по Казахстанской базе цитирования (КазБЦ) 0.058.

2) Алонцева Д.Л., Красавин А.Л., Шадрин Г.К., Кадыролдина А.Т., Құсайын-Мұрат Ә.Т. Разработка системы управления промышленным роботом-манипулятором для трехмерного сканирования поверхностей // Вестник ВКГТУ им. Д.Серикбаева, № 1, 2019. - С. 81-87.

3) Кадыролдина А.Т., Құсайын-Мұрат Ә.Т., Красавин А.Л., Прохоренкова Н.В. Күрделі формадағы бұйымдарға плазмалық өңдеуді жүргізетін робот-манипулятор үшін ақпараттық жүйені әзірлеу (Разработка информационной системы для робота – манипулятора, производящего плазменную обработку изделий сложной формы)// Вестник ВКГТУ им. Д.Серикбаева, №3 (89), 2020. – С.95-98.

4) Красавин А.Л., Алонцева Д. Л., Кадыролдина А.Т. Программа выделения лазерных полос на цифровых изображениях объектов 3D сканирования // Свидетельство о государственной регистрации на объект авторского права программа для ЭВМ № 5870 от 17 октября 2019

в международных рецензируемых журналах, имеющих ненулевой импакт-фактор или индексируемых в базе данных информационной компании Clarivate Analytics (Кларивэйт Аналитикс) (Web of Science Core Collection, Clarivate Analytics (Вэб оф Сайнс Кор Коллекшн, Кларивэйт Аналитикс) – **2 статьи** в периодических выпусках журналов Acta Polytechnica Hungarica и Johnson Matthey Technology Review, индексируемых также и в Scopus с квартилями Q2 и Q1 по Web of Science и с процентилями по CiteScore в базе Scopus 75% и 80% соответственно;

входящих в базу данных Scopus (Скопус) – **7 статей**, в том числе 1 статья в журнале International Journal of Mechanical Engineering and Robotics Research с процентилем по CiteScore 26% (2020 г) а также, как было отмечено выше, 1 статья в Acta Polytechnica Hungarica - 75% (2020 г) и 1 статья в Johnson Matthey Technology Review -80% (2020 г)

Надо отметить, что Кадыролдина А.К. имеет Индекс Хирша 3 по базе Scopus Kadyroldina, Albina T., h-index Scopus=3 <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57202922020>

Привожу результаты проверки публикаций Кадыролдиной А.К. по базе Scopus с указанием процентилей CiteScore и тематик журналов

1) Alontseva D. L., Ghassemieh E., Krasavin A. L., Shadrin G. K., Kussaiyn-Murat A. T., Kadyroldina A. T. Development of Control System for Robotic Surface Tracking//International Journal of Mechanical Engineering

and Robotics Research, Vol. 9, No. 2, February 2020. – P. 280-286. DOI: 10.18178/ijmerr.9.2.280-286. **Процентиль CiteScore2020 в Scopus 26%** (Mechanical Engineering) <https://www.scopus.com/sourceid/21100788860>

2) Shadrin G. K., Alontseva D. L., Kussaiyn-Murat A. T., Kadyroldina A. T., Ospanov O.B., Haidegger T. Application of Compensation Algorithms to Control the Movement of a Robot Manipulator// Acta Polytechnica Hungarica Vol. 17, No. 1, 2020, P. 191-214. DOI: 10.12700/APH.17.1.2020.1.1 **Процентиль CiteScore 2020 в Scopus 75%** (General Engineering) <https://www.scopus.com/sourceid/19700173166>

3) Alontseva D., Ghassemieh E., Voinarovych S., Kyslytsia O., Polovetskyi Y., Prokhorenkova N., Kadyroldina A. Manufacturing and characterisation of robot assisted microplasma multilayer coating of titanium implants: Biocompatible coatings for medical implants with improved density and crystallinity// Johnson Matthey Technology Review, Vol. 64, No 2, 2020. - P. 180-191. DOI: <https://doi.org/10.1595/205651320X15737283268284> **Процентиль CiteScore 2020 в Scopus 80%** (Materials Science: Metals and Alloys) <https://www.scopus.com/sourceid/21100443320>

4) Alontseva D. L., Ghassemieh E., Krasavin A. L., Kadyroldina A. T. Development of 3D Scanning System for Robotic Plasma Processing of Medical Products with Complex Geometries // Journal of Electronic Science and Technology. – 2020. – vol. 18(3). – pp. 212-222. DOI: 10.1016/j.jnlest.2020.100057 **Процентиль в Scopus 11%** (Engineering), <https://www.scopus.com/sourceid/21100432792?origin=recordpage>

5) Alontseva, D., Borisov Y., Voinarovych S., Kyslytsia O., Kolesnikova T., Prokhorenkova N., Kadyroldina A. Development of technology of microplasma spraying for the application of biocompatible coatings in the manufacture of medical implants// Przegląd Elektrotechniczny, Vol 94, No 7, 2018. -P.94-97 doi:10.15199/48.2018.07.23. **Процентиль в Scopus 21%** (Electrical and Electronic Engineering), <https://www.scopus.com/sourceid/18700>

6) Darya L. Alontseva, Alexander L. Krasavin, Alyona V. Russakova, and Albina T. Kadyroldina Automation of Industrial Sites with Mechatronic Systems //International Journal of Electrical and Electronic Engineering & Telecommunications, Vol. 7, No. 4, pp. 146-151, October 2018. DOI: 10.18178/ijeetc.7.4.146-151 **Процентиль в Scopus 11%** (Engineering), <https://www.scopus.com/sourceid/21100838789>

7) Alontseva D., Krasavin A., Kadyroldina A., Kussaiyn-Murat A. Segmentation Algorithm for Surface Reconstruction According to Data Provided by Laser-Based Scan Point // Communications in Computer and Information Science, vol 998, 2019. - pp, 1-10. https://doi.org/10.1007/978-3-030-12203-4_1. Индексируется Scopus, **Процентиль в Scopus 31 %** (General Mathematics), <https://www.scopus.com/sourceid/17700155007> (Conference paper)

другие публикации - 5 статей в сборниках трудов международных конференций.

Таким образом, публикации по диссертации Кадыролдиной А.К. соответствуют пункту 6 Правил присуждения степеней в редакции приказа Министра образования и науки РК от 28.09.2018 № 512

Замечания по содержанию и оформлению диссертации

В ходе рецензирования диссертации принципиальных замечаний не возникло. Имеет место небольшое количество опечаток в тексте диссертации, не влияющих на содержание работы. К непринципиальному замечанию относится следующее: автор указывает, что основными методами исследования выбраны, в числе прочих, методы теории автоматического управления (ТАУ) и, действительно, приводит во втором разделе диссертации на рис. 2.2 структурную схему системы управления роботом-манипулятором, однако дальнейшего подробного развития в диссертации анализ методами ТАУ входных и выходных воздействий, указанных на этой схеме не получает, поэтому данная схема носит, скорее, иллюстративный характер. Сделанное замечание не снижает общего положительного впечатления от диссертации.

Заключение: диссертация Кадыролдиной А.Т. выполнена на актуальную тему, с соблюдением принципов самостоятельности, внутреннего единства, научной новизны, достоверности и практической ценности, академической честности, полноты публикаций основных научных результатов и положений диссертации и полностью соответствует требованиям Комитета по обеспечению качества в сфере образования и науки МОН РК, предъявляемым к диссертациям на соискание степени доктора философии (Ph.D.) по специальности 6D070200 – «Автоматизация и управление». Автор диссертации Кадыролдина Альбина Талапжановна достойна присуждения степени доктора философии (Ph.D.) по специальности 6D070200 – «Автоматизация и управление».

Официальный рецензент:
ассоциированный профессор кафедры
робототехники и мехатроники,
и.о. заведующего кафедрой электрической и
компьютерной инженерии,
Школа инженерии и цифровых наук,
АОО "Назарбаев Университет",
г. Нур-Султан, Республика Казахстан
PhD in Electrical Engineering and Electronics
(University of Liverpool, Великобритания)
К.Т.Н.

06.04.2021 г.



А. Шинтемиров

Подпись заверено
Старший ИК Менеджер
Механова Д.Д.
Д. М.