

**Письменный отзыв официального рецензента
на диссертационную работу Құсайын-Мұрат Әсел
«Синтез системы автоматического управления движением робота-манипулятора для задач 3D сканирования объектов сложной геометрической формы»,
представленную на соискание степени доктора философии (Ph.D.)
по специальности 6D070200 «Автоматизация и управление»**

№п /п	Критерии	Соответствие критериям (необходимо отметить один из вариантов ответа)	Обоснование позиции официального рецензента
1.	Тема диссертации (на дату ее утверждения) соответствует направлениям развития науки и /или государственным программам	1.1 Соответствие приоритетным направлениям развития науки или государственным программам:	Диссертация соответствует приоритетному направлению науки в области ИКТ согласно перечню приоритетных видов деятельности в области информационно-коммуникационных технологий (Приказ Министра цифрового развития, оборонной и аэрокосмической промышленности Республики Казахстан от 11 апреля 2019 года № 37/НК, Зарегистрирован в Министерстве юстиции Республики Казахстан 16 апреля 2019 года № 18523) и Государственной программе "Цифровой Казахстан".
		1) Диссертация выполнена в рамках проекта или целевой программы, финансируемого (ой) из государственного бюджета (указать название и номер проекта или программы) 2) Диссертация выполнена в рамках другой государственной программы (указать название программы) 3) Диссертация соответствует приоритетному направлению	Диссертация выполнена в рамках проекта № AP05130525 «Интеллектуальная роботизированная система для плазменной обработки и резки крупногабаритных изделий сложной формы» с грантовым финансированием Комитета науки МОиН РК на 2018-2020 годы, по приоритету «Информационные, телекоммуникационные и космические технологии, научные исследования в области естественных наук» (научный рук-ль проекта – проф. Алонцева Д.Л.). Следует отметить, что в статьях по теме исследования выражается благодарность за финансирование по данному проекту, с указанием источника финансирования и ИРН проекта.

		развития науки, утвержденному Высшей научно-технической комиссией при Правительстве Республики Казахстан (указать направление)	
2.	Важность для науки	Работа вносит /не вносит существенный вклад в науку, а ее важность хорошо раскрыта /не раскрыта	Работа вносит существенный вклад в науку по направлению «Автоматизация и управление». В диссертации полно исследованы тенденции развития и применения роботизированных систем сканирования, а также синтеза систем управления манипуляционными роботами. Важность работы хорошо раскрыта, показаны преимущества применения разработанных алгоритмов автоматизации для удешевления и повышения точности выполнения технологических процессов сканирования и микроплазменного напыления покрытий. В работе осуществлен синтез новых алгоритмов автоматизации и представлена совокупность результатов апробации системы автоматического управления движением робота-манипулятора на модельных и реальных объектах при выполнении задач 3D-сканирования объектов сложной геометрической формы с последующим плазменным напылением их поверхности.
3.	Принцип самостоятельности	Уровень самостоятельности: 1) Высокий ; 2) Средний; 3) Низкий; 4) Самостоятельности нет	Уровень самостоятельности соискателя Құсайын-Мұрат Ә.Т. является высоким, что подтверждается как качеством самой диссертации, так и количеством и качеством опубликованных Құсайын-Мұрат Ә.Т. работ. Всего по диссертации опубликовано 13 статей, и из них в 4-х статьях первым автором является соискатель , в том числе одна статья индексируется в Scopus : Kussaiyn-Murat A. T. , Krasavin A., Alontseva D., Kadyroldina A., Khozhanov A., Krak Iu., Muñoz de Escalona P., Dyomina I. Development of

			an Intelligent Robotic System for Plasma Processing of Industrial Products with Complex Shape. 11th IEEE International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications (IDAACS), 2021 pp. 572-579, doi: 10.1109/IDAACS53288.2021.9660960 ругая статья <i>опубликована в журнале, рекомендованном КОКСОН</i> Кұсайын-Мұрат Ә. Т., Алонцева Д. Л. Анализ методов микроплазменного нанесения биосовместимых покрытий и требований к медицинским имплантатам. Вестник ВКГТУ им. Д.Серикбаева - Усть-Каменогорск - №4 (78), 2017. – С.62-67. Также имеется <i>акт внедрения результатов работы в учебный процесс</i> ВКТУ им. Д. Серикбаева от 30.11.21 и <i>свидетельство интеллектуальной собственности о государственной регистрации на объект авторского права № 5803</i> от 15 октября 2019 г. Вид объекта: программа для ЭВМ. Название объекта: «Расчет коэффициентов алгоритма управления однозвенным роботом-манипулятором» Авторы: Алонцева Д.Л., Шадрин Г.К., Кұсайын-Мұрат Ә.Т.
4.	Принцип внутреннего единства	4.1 Обоснование актуальности диссертации: 1) Обоснована; 2) Частично обоснована; 3) Не обоснована.	Актуальность диссертации обосновывается потребностями практики и научным интересом к проблеме синтеза системы автоматического управления движением робота-манипулятора для задач 3D-сканирования объектов сложной геометрической формы. Создание роботизированной системы 3D-сканирования объектов сложной геометрической формы для последующего выполнения технологических операций плазменного напыления покрытий с перемещением плазматрона вдоль реконструированной 3D-модели может обеспечить преимущества по сравнению с существующими решениями: повысится точность, производительность, безопасность

			данных технологических процессов. Таким образом, Құсайын-Мұрат Ә.Т.убедительно обосновывала актуальность научной проблемы синтеза системы автоматического управления движением робота-манипулятора для задач 3D сканирования объектов сложной геометрической формы.
		4.2 Содержание диссертации отражает тему диссертации: 1) Отражает; 2) Частично отражает; 3) Не отражает	Содержание диссертации отражает тему диссертации. Содержание структурных единиц диссертации, согласно оглавлению, раскрывает тему диссертации.
		4.3. Цель и задачи соответствуют теме диссертации: 1) <u>соответствуют;</u> 2) частично соответствуют; 3) не соответствуют	Цель и задачи полностью соответствуют теме диссертации. Цель исследования: синтез системы 3D-сканирования на базе робота-манипулятора и установленных на роботе 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 роботе бесконтактных датчиков расстояния на модельных и реальных объектах.
		4.4 Все разделы и положения диссертации логически взаимосвязаны: 1) полностью взаимосвязаны; 2) взаимосвязь частичная; 3) взаимосвязь отсутствует	Все разделы и положения диссертации полностью логически взаимосвязаны. Названия разделов диссертации соответствуют поставленным задачам, сформулированным согласно цели исследования. В конце каждого раздела диссертации приводятся выводы и делается логичный переход к следующему разделу. Положения диссертации логически обоснованы, четко сформулированы и доказаны в соответствующих разделах диссертации.
		4.5 Предложенные автором новые решения (принципы, методы) аргументированы и оценены по сравнению с известными решениями: 1) <u>критический анализ есть;</u> 2) анализ частичный; 3) анализ представляет собой не собственные мнения, а цитаты других авторов	Решения и методы, предложенные автором диссертации, аргументированы и оценены по сравнению с известными решениями. Есть критический анализ, представляющий собственное мнение автора. Выполнено сравнение основных характеристик технологий сканирования (см. Таблицу 1.1) для обоснования решения по разработке технологии сканирования, чтобы ориентироваться на совокупность решающих характеристик, таких как точность, время сканирования и стоимость оборудования. Обоснован выбор метода компенсации динамики объекта и возмущений для задачи роботизированного 3D сканирования объектов, которые впоследствии будут обрабатываться плазмой. Отмечена пригодность метода для нелинейных нестационарных объектов, физическая наглядность задания исходных данных, получение многоканального алгоритма управления алгебраическими методами в аналитической форме, обеспечивающего автоматическое движение объекта с точностью до заданного фильтра-эталона.

			Проанализированы 2 альтернативные стратегии сканирования (с остановкой и без остановки в узлах сканирования), которые предполагают существенно разные подходы к решению задачи синхронизации данных о пространственном положении датчика расстояния (рабочего инструмента манипулятора) и измеренном датчиком расстоянии. Проанализированы разные скорости сканирования от 10 см/с до 1 м/с.
5.	Принцип научной новизны	5.1 Научные результаты и положения являются новыми? 1) <u>полностью новые;</u> 2) частично новые (новыми являются 25-75%); 3) не новые (новыми являются менее 25%)	Научные результаты и положения диссертации являются полностью новыми. Основные положения и результаты диссертации были опубликованы в рецензируемых журналах и апробированы на 5-ти международных конференциях, подтверждены свидетельством интеллектуальной собственности на программу для ЭВМ, актом производственных испытаний и актом внедрения в учебный процесс.
		5.2 Выводы диссертации являются новыми? 1) <u>полностью новые;</u> 2) частично новые (новыми являются 25-75%); 3) не новые (новыми являются менее 25%)	Выводы, полученные и сформулированные автором в диссертации, являются полностью новыми. Результаты тестирования разработанных алгоритмов управления на модельных и реальных объектах демонстрируют эффективность новых алгоритмов управления.
		5.3 Технические, технологические, экономические или управленческие решения являются новыми и обоснованными: 1) <u>полностью новые;</u> 2) частично новые (новыми являются 25-75%); 3) не новые (новыми являются менее 25%)	Технические и технологические, решения являются полностью новыми и обоснованными. По результатам исследования был выполнен синтез системы автоматического управления на основе алгоритма компенсации динамики объекта и возмущений; был разработан алгоритм управления, была получена совокупность результатов апробации на модельных и реальных объектах.

6.	Обоснованность основных выводов	Все основные выводы основаны/не основаны на весомых с научной точки зрения доказательствах либо достаточно хорошо обоснованы (для qualitative research и направлений подготовки по искусству и гуманитарным наукам)	Все основные выводы диссертации основаны на весомых с научной точки зрения доказательствах Вывод 1 - полностью новый: впервые выполнен синтез системы автоматического управления движением в данном направлении инструмента и звена робота-манипулятора на основе алгоритма компенсации динамики объекта и возмущений. Результат доказан тестированием на модельных объектах с оценкой качества управления. Вывод 2 - полностью новый: 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). Результат доказан тестированием на реальных объектах с заданными параметрами процесса сканирования: шаг сканирования 30 мм, скорость перемещения 100 мм/с, расстояние до объекта 70 мм, скорость опроса датчика 30 с⁻¹, конечное время сканирования 2 минуты для рабочей площади сканирования 600 см², точность прохождения траектории 0.06 мм. Вывод 3 - полностью новый, сообщающий о полученной совокупности 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.
----	---------------------------------	--	--

7.	Основные положения, выносимые на защиту	Необходимо ответить на следующие вопросы по каждому положению в отдельности: 7.1 Доказано ли положение? 1) <u>доказано;</u> 2) скорее доказано; 3) скорее не доказано; 4) не доказано 7.2 Является ли тривиальным? 1) да; 2) <u>нет</u> 7.3 Является ли новым? 1) <u>да;</u> 2) нет 7.4 Уровень для применения: 1) узкий; 2) средний; 3) <u>широкий</u> 7.5 Доказано ли в статье? 1) <u>да;</u> 2) нет	Положение 1) синтез системы автоматического управления движением в данном направлении инструмента и звена робота-манипулятора, в основе которого заключен алгоритм компенсации динамики объекта и возмущений <i>Доказано</i> тестированием на модельных объектах, является <i>нетривиальными</i> и <i>новым</i> (есть свидетельство интеллектуальной собственности на соответствующую программу для ЭВМ), с <i>широким уровнем применения</i> для управления роботами – манипуляторами, а также и для преподавания дисциплин автоматизации и управления в высшей школе (есть акт внедрения в учебный процесс). <u>Положение 1 доказано в журнальных статьях:</u> Application of Compensation Algorithms to Control the Movement of a Robot Manipulator//Acta Polytechnica Hungarica, 2020, 17(1), стр. 191–214 Web of Science: квартиль Q3, Impact Factor (2020): 1.806 категория JCR: Engineering, Multidisciplinary. Scopus: CiteScore (2020): 4.4, процентиль 83-й Engineering. Синтез алгоритма управления движением инструмента робота методом коррекции его динамики и компенсации возмущений//Мехатроника, автоматизация, управление, 2019, 20(8), стр. 472–481 (Scopus) Development of Control System for Robotic Surface Tracking//International Journal of Mechanical Engineering and Robotics Research, 2020, 9(2), стр. 280–286. Scopus: (2020): процентиль 26% Mechanical Engineering Положение 2 - результаты разработки и тестирования на модельных и реальных объектах новой системы 3D сканирования на базе робота-манипулятора и установленных на роботе бесконтактных датчиков расстояния. <i>Положение 2 доказано</i> в диссертации и подтверждено актом производственных испытаний, <i>не является тривиальным, новое, с широким уровнем применения</i> для
----	--	--	--

			повышения точности и производительности производственных процессов роботизированного сканирования и напыления; <u>Положение 2 доказано в журнальных статьях:</u> Разработка системы 3D-сканирования для интеллектуальной роботизированной системы плазменной обработки и резки крупногабаритных изделий сложной формы//Вестник ВКГТУ им. Д.Серикбаева - Усть-Каменогорск - № 1, 2018. – С. 7-19 (КОКСОН). Күрделі формадағы бұйымдарға плазмалық өңдеуді жүргізетін робот-манипулятор үшін ақпараттық жүйені әзірлеу //Вестник ВКТУ им. Д.Серикбаева. – Усть-Каменогорск. – №3 (89), 2020.– С. 95-98 (КОКСОН). Разработка системы управления промышленным роботом-манипулятором для трехмерного сканирования поверхностей//Вестник ВКГТУ им. Д.Серикбаева– Усть-Каменогорск – №1, 2019.– С. 81-87 (КОКСОН) Software development for a new robotic technology of microplasma spraying of powder coatings //Przegląd Elektrotechniczny, 2018, 94(7), стр. 26–29 <i>Web of Science</i>: квартиль Q4, <i>Impact Factor</i> (2018): 0.398
8.	Принцип достоверности Достоверность источников и предоставляемой информации	8.1 Выбор методологии - обоснован или методология достаточно подробно описана 1) <u>да;</u> 2) нет	Выбор методологии обоснован и методология достаточно подробно описана. Выбор методологии базируется на критическом анализе существующих подходов к синтезу системы управления и технологий 3D сканирования, в диссертации применяются методы теории автоматического управления и компьютерная симуляция для оценки качества управления, а также натурный эксперимент: 3D-сканирование промышленных изделий с последующей их плазменной обработкой и оценкой результата с точки зрения требований к конечному продукту (плазменному покрытию).

		8.2 Результаты диссертационной работы получены с использованием современных методов научных исследований и методик обработки и интерпретации данных с применением компьютерных технологий: 1) <u>да</u>; 2) нет	Результаты диссертационной работы получены с использованием современных методов научных исследований и интерпретации данных с применением новых компьютерных технологий. Синтез алгоритма управления проведен методами теории автоматического управления, с использованием визуальных средства структурного моделирования и компьютерной симуляции в программе VisSim. Применены статистические методы обработки и интерпретации данных сканирования с применением компьютерных технологий. Разработано и применено программное обеспечение для 3D сканирования, включающее модуль генерации программы робота-манипулятора на языке AS и модуль сбора данных, осуществляющий считывание данных с триангуляционного датчика расстояния, укрепленного на роботе манипулятора и данных о текущем положении датчика с контроллера робота.
		8.3 Теоретические выводы, модели, выявленные взаимосвязи и закономерности доказаны и подтверждены экспериментальным исследованием (для направлений подготовки по педагогическим наукам результаты доказаны на основе педагогического эксперимента): 1) <u>да</u>; 2) нет	Теоретические выводы, модели, выявленные взаимосвязи и закономерности доказаны и подтверждены экспериментальным исследованием. Модели апробированы тестированием алгоритмов управления в программ-симуляторе VisSim. На опытном производственном участке выполнено экспериментальное подтверждение работоспособности разработанной методики 3D-сканирования на реальных объектах с последующим плазменным напылением покрытий на поверхность объектов. Проведено успешное производственное испытание плиты с покрытием, поверхность которой подвергалась сканированию и плазменному напылению покрытия.

		8.4 Важные утверждения <u>подтверждены</u> /частично подтверждены/не подтверждены ссылками на актуальную и достоверную научную литературу	Важные утверждения диссертации подтверждены ссылками на актуальную и достоверную научную литературу, список использованных источников включает 171 наименование.
		8.5 Используемые источники литературы <u>достаточны</u> /не достаточны для литературного обзора	Используемые источники литературы достаточны для литературного обзора, обзор литературы по теме исследования включает современные статьи в рецензируемых журналах и трудах конференций, монографии зарубежных и казахстанских ученых, патенты.
9	Принцип практической ценности	9.1 Диссертация имеет теоретическое значение: 1) <u>да</u> ; 2) нет	Теоретические выводы диссертации расширяют теоретико-методологические положения теории автоматического управления в области синтеза САУ с применением методов компенсации возмущений.
		9.2 Диссертация имеет практическое значение и существует высокая вероятность применения полученных результатов на практике: 1) <u>да</u> ; 2) нет	Диссертация имеет практическое значение, что подтверждается: 1) Актом производственных испытаний («ИП Абакумов С.А.», № 1 от 01.10.2020). Производственные испытания щековой дробилки, на которую наносилось покрытие с использованием робота-манипулятора, перемещающегося по 3D-модели изделия, полученной в результате предварительного 3D-сканирования, подтвердили увеличение срока службы плиты. 2) Актом внедрения в учебный процесс (АКТ № от 30.11.21 о внедрении НИР в учебный процесс ВКТУ им. Д. Серикбаева). Результаты исследования внедрены в образовательную программу «Автоматизация и управление» для преподавания дисциплин: «Нелинейные системы автоматического регулирования» и «Экспериментально-статистические методы построения математических моделей». <u>Существует высокая вероятность применения полученных результатов на практике, а именно: для внедрения в практику предлагается</u>

			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, Кұсайын-Мұрат Ә. Т.
		9.3 Предложения для практики являются новыми? 1) полностью новые; 2) частично новые (новыми являются 25-75%); 3) не новые (новыми являются менее 25%)	Предложения для практики являются новыми, новизна предложений подтверждается наличием свидетельства интеллектуальной собственности, а именно свидетельства о государственной регистрации на объект авторского права (программы для ЭВМ) № 5803 от 15 октября 2019 г.
10.	Качество написания и оформления	Качество академического письма: 1) высокое; 2) среднее; 3) ниже среднего; низкое.	Качество академического письма — высокое, работа связная, логически последовательная, изложена ясным научным языком, хорошо оформленная. Качество иллюстраций высокое, рисунки и графики четкие, с ясными подписями.

Замечания. В ходе рецензирования диссертации принципиальных замечаний не возникло. К непринципиальному замечанию относится следующее: в работе очень подробно, с обилием деталей описывается технологический процесс плазменного напыления покрытий, можно было бы ограничиться только основными моментами, существенными для пояснения требований к задачам собственно 3D сканирования и управления роботом манипулятором. Однако, это не снижает общей положительной оценки работы.

Решение официального рецензента. Диссертация Құсайын-Мұрат Әсел Түгелбайқызы на тему «Синтез системы автоматического управления движением робота-манипулятора для задач 3D сканирования объектов сложной геометрической формы» по научной новизне, объему, значимости полученных результатов соответствует требованиям главы 2 «Правил присуждения ученых степеней» Комитета по обеспечению качества в сфере образования и науки МОиН РК, предъявляемым к работам, представленным на соискание степени доктора философии (Ph.D.). Автор диссертации заслуживает присуждения искомой 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"
Ph.D., к.т.н.



А. Шинтемиров