

**Письменный отзыв официального рецензента
по диссертационной работе Назеновой Гаухар Мырзабекқызы;
на тему: «Применение методов адаптивного управления роботом-манипулятором для аддитивного производства медицинских покрытий»
на соискание степени доктора философии (PhD)
по образовательной программе 8D07101 – «Автоматизация и управление»**

№п/п	Критерии	Соответствие критериям (подчеркнуть один из вариантов ответа)	Обоснование позиции официального рецензента (замечания выделить курсивом)
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:	Тематика диссертационной работы соответствует приоритетному направлению научного развития Республики Казахстан — «Информационные, коммуникационные и космические технологии». В рамках данного направления работа соответствует подприоритету «Интеллектуальные робототехнические системы», что подтверждает актуальность и значимость выбранной темы исследования.
		1) <u>Диссертация выполнена в рамках проекта или целевой программы, финансируемого (ой) из государственного бюджета</u> (указать название и номер проекта или программы) 2) Диссертация выполнена в рамках другой государственной программы (указать название программы) 3) Диссертация соответствует приоритетному направлению развития науки, утвержденному Высшей научно-технической комиссией при	Диссертационная работа подготовлена в рамках проектов, поддержанных государственным бюджетным (грантовым) финансированием Комитета науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан. Основные результаты получены по проекту № AP19679327 «Методы машинного обучения в задачах автоматического управления и инерциальной навигации мобильных роботов» (руководитель. Алонцева Д.Л.). Дополнительно часть исследований проведена в рамках проекта AP13068317 «Разработка новых алгоритмов управления роботом-манипулятором для технологий 3D-сканирования и аддитивного микроплазменного напыления покрытий» (руководитель Кадыролдина А.Т.). Указанная информация отражена в диссертации, где автор также выражает благодарность Комитету науки МННВО РК за поддержку

		Правительстве Республики Казахстан (указать направление)	проекта № AP19679327.
2.	Важность для науки	Работа <u>вносит</u> /не вносит существенный вклад в науку, а ее важность хорошо <u>раскрыта</u> /не раскрыта	Диссертационная работа вносит весомый вклад в развитие науки в области «Автоматизация и управление». В исследовании обоснована важность применения новых методов адаптивного управления для повышения точности и скорости выполнения технологических операций аддитивного производства медицинских покрытий. Автором предложены оригинальные подходы к управлению и автоматической генерации траекторий движения робота-манипулятора, осуществляющего плазменное напыление, что актуально и значимо научно и практически для современного этапа развития робототехники и технологий аддитивного производства. Научная новизна и практическая значимость работы подтверждаются публикациями в рецензируемых изданиях, патентом на полезную модель, а также актом внедрения результатов в образовательный процесс.
3.	Принцип самостоятельности	Уровень самостоятельности: 1) <u>Высокий</u> ; 2) Средний; 3) Низкий; 4) Самостоятельности нет	Уровень самостоятельности Назеновой Г.М. оценивается как высокий. Это подтверждается не только количеством публикаций и наличием внедрённых результатов, но и глубиной выполненных исследований. Достижения автора внедрены в учебный процесс ВКТУ им. Д. Серикбаева и защищены патентом на полезную модель, по роботизированному способу нанесения медицинских покрытий. По теме диссертации опубликовано 12 научных статей, включая одну — при ведущем авторстве Назеновой Г.М. и две — в изданиях, рекомендованных Комитетом, где

			она выступает автором для корреспонденции. Особое значение имеют публикации в международном журнале Sensors (Q2 по JCR, 88-й процентиль в Scopus), что свидетельствует о признании результатов на международном уровне. Автор представленной диссертации самостоятельно выполнила обзор современных подходов к адаптивному управлению манипуляторами, изучила особенности плазменного напыления покрытий и требования к траекториям движения рабочего инструмента. Ею проведено математическое моделирование разработанных алгоритмов, компьютерные эксперименты и их анализ, а также участие в практических испытаниях на производственном роботизированном участке. Все выносимые на защиту положения новые, сформулированы Назеновой Г.М. лично и подтверждены как текстом диссертации, так и публикациями.
4.	Принцип внутреннего единства	4.1 Обоснование актуальности диссертации: 1) <u>Обоснована;</u> 2) Частично обоснована; 3) Не обоснована.	В диссертационной работе Назеновой Г.М. обоснована актуальность разработки алгоритмов адаптивного управления для роботов-манипуляторов, применяемых в аддитивном производстве медицинских покрытий. Современные аддитивные технологии получения покрытий требуют высокой точности нанесения слоев. Автор диссертации показывает, что обеспечение высокой точности движения рабочего органа по заданной 3D-траектории является ключевым условием равномерности толщины и качества покрытия (от дистанции напыления и скорости перемещения источника плазмы роботом зависит пористость покрытий и его адгезия к имплантату, а также адгезия слоев аддитивного покрытия друг к другу). Также убедительно обоснована актуальность развития

			адаптивных методов управления для нелинейных многоканальных объектов, какими выступают роботизированные манипуляторы.
		4.2 Содержание диссертации отражает тему диссертации: 1) <u>Отражает;</u> 2) Частично отражает; 3) Не отражает	Содержание диссертации отражает заявленную тему и раскрывает ключевые предложения и решения поставленной научной задачи. Структура работы, представленная в оглавлении, выстроена логично и последовательно, что позволяет проследить развитие основной идеи исследования. Все разделы подчинены единой концепции и связаны общей логикой изложения.
		4.3. Цель и задачи соответствуют теме диссертации: 1) <u>соответствуют;</u> 2) частично соответствуют; 3) не соответствуют	Цель и задачи исследования полностью соответствуют теме диссертации и отражают её основные направления. Главная цель заключается в разработке алгоритмов адаптивного управления роботом-манипулятором, обеспечивающих высокую точность и скорость его движения по заданной траектории при аддитивном производстве медицинских покрытий. Поставленные задачи выстроены последовательно и направлены на достижение данной цели.
		4.4 Все разделы и положения диссертации логически взаимосвязаны: 1) <u>полностью взаимосвязаны;</u> 2) взаимосвязь частичная; 3) взаимосвязь отсутствует	Все разделы диссертации Назеновой Г.М. полностью взаимосвязаны и выстроены в единую логическую систему. Материал изложен последовательно и ясно, названия разделов соответствуют поставленным задачам и цели исследования. Введение содержит основную краткую информацию об исследовании и содержании диссертации. После анализа современного состояния проблемы в первом разделе диссертации сформулированы задачи, во втором разделе обоснован выбор методов и материалов исследования, следующие разделы каждый представляет последовательно три подхода к достижению цели диссертации: метод вычисляемых моментов, метод компенсации динамики и возмущений, а также

			метод дискретного внешнего исчисления. Каждый раздел завершается выводами и плавно переходит к следующему, а в заключении подведены основные итоги и показана научная новизна работы.
		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	Предложенные Назеновой Г.М. решения и методы аргументированы и сопоставлены с существующими подходами. В работе представлен системный обзор известных методов адаптивного управления, их достоинств и ограничений, после чего проведён критический анализ достоинства разработанных новых алгоритмов. Особое внимание уделено управлению роботами-манипуляторами, выполняющими аддитивное напыление медицинских покрытий. Таким образом, критический анализ есть , и он демонстрирует преимущества предложенных решений.
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 . Автором впервые предложен общий адаптивный метод траекторного управления плоскими системами, который обобщает метод вычисляемых моментов и может быть применён к широкому классу нелинейных объектов, включая различные типы манипуляторов. Также впервые реализовано применение метода компенсации динамики и возмущений к управлению двухзвенным плоским манипулятором, при этом обоснована адаптивная природа методов инверсного моделирования для многоканальных нелинейных систем. Кроме того, разработан новый метод автоматической генерации траектории робота-манипулятора по 3D-модели поверхности, предназначенной для нанесения аддитивных покрытий.
		5.2 Выводы диссертации являются новыми? 1) <u>полностью новые;</u>	Выводы, представленные в диссертации, являются полностью новыми . Основные результаты опубликованы в научных изданиях

		2) частично новые (новыми являются 25-75%); 3) не новые (новыми являются менее 25%)	(12 статей), доложены и обсуждены на шести международных конференциях. Имеются акт внедрения в учебный процесс и патент Республики Казахстан на полезную модель. Компьютерное моделирование и экспериментальные исследования подтвердили эффективность предложенных методов адаптивного управления, их преимущества по точности и скорости работы манипулятора по сравнению с существующими решениями.
		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, представленные в диссертации, являются полностью новыми и обоснованными. Разработаны и апробированы: адаптивный метод управления последовательным манипулятором с силовым управлением на основе метода вычисляемых крутящих моментов; метод инверсной динамики (компенсации динамики и возмущений) для задачи траекторного управления; а также метод автоматической генерации траектории манипулятора для аддитивного нанесения покрытий, основанный на численном подходе к построению векторных полей на поверхностях, заданных треугольными сетками. Достоверность полученных новых результатов подтверждена их апробацией как на модельных, так и на реальных объектах и отражена в публикациях в рецензируемых научных изданиях.
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)	Результаты и выводы, представленные в диссертации Назеновой Г.М., являются обоснованными и достоверными. Это подтверждается прочной научной базой исследования и корректным применением обоснованных и достоверных методов исследования. Все положения работы математически обоснованы в рамках теории автоматического управления и подтверждены компьютерным моделированием, а также экспериментами с промышленным

			роботом-манипулятором Kawasaki, выполнявшим плазменное напыление покрытий на медицинские имплантаты. Научные положения, выносимые на защиту, а также выводы и заключения соискателя полностью согласуются с поставленными целями и задачами и не вызывают сомнений.
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: Адаптивный метод управления последовательным манипулятором с силовым управлением, основанный на методе вычисляемых крутящих моментов, является новым и нетривиальным. Впервые разработан общий адаптивный метод траекторного управления плоскими системами, который обобщает классический метод вычисляемых моментов на широкий круг нелинейных объектов, включая различные типы манипуляторов. Также впервые предложен критерий устойчивости к возмущениям для линейного регулятора, входящего в схему такого управления. Положение доказано методами теории автоматического управления, подтверждено компьютерной симуляцией с анализом качества управления. Уровень применения широкий: методы могут использоваться как для манипуляторов, так и для колесных мобильных роботов. Результаты внедрены в учебный процесс ВКТУ им. Д. Серикбаева (дисциплина «Основы теории оптимального управления»), что подтверждено актом внедрения от 05.02.25. Положение подтверждено публикациями в 4-х статьях, включая материалы международных конференций и журналов (AIS 2024, ACDSA 2025, Вестник ВКТУ). Положение 2: Применение метода инверсной динамики (компенсации динамики и возмущений) к задаче траекторного управления последовательным манипулятором

		является новым и нетривиальным результатом. Впервые данный метод реализован для управления двухзвенным плоским манипулятором на основе уравнений Лагранжа в форме уравнений состояния, что позволило обосновать адаптивный характер методов инверсного моделирования применительно к управлению нелинейными многоканальными системами. Положение доказано средствами теории автоматического управления и подтверждено компьютерным моделированием. Уровень применения широкий, охватывает широкий класс нелинейных многоканальных объектов. Результаты опубликованы в журнале Sensors (Q2, Scopus – 88-й перцентиль) и в Вестнике ВКТУ (Список 2), что подтверждает их достоверность и признание. Положение 3: Разработан новый метод автоматической генерации траектории робота-манипулятора для аддитивного производства покрытий, основанный на численном построении векторных полей на поверхностях, заданных треугольными сетками. Метод является новым и нетривиальным: впервые предложено построение векторных полей с заданными свойствами на треугольных сетках, представляющих модель поверхности, и его применение к процедуре автоматического формирования траектории рабочего органа робота. Достоверность подтверждена численными расчетами и экспериментами на роботизированном комплексе Kawasaki RS010L в Центре компетенций «Smart Engineering» ВКТУ. Уровень применения широкий: метод может быть использован для повышения точности и производительности
--	--	--

			процессов роботизированного сканирования и напыления. Результаты опубликованы в журнале Sensors (2025, Q2, Scopus/WoS) и в Вестнике ВКТУ (Список 2), а также подтверждены патентом Республики Казахстан № 8714 от 15.12.2023 на полезную модель «Способ напыления многослойных покрытий на имплантаты из титановых сплавов».
8.	Принцип достоверности Достоверность источников и предоставляемой информации	8.1 Выбор методологии - обоснован или методология достаточно подробно описана 1) <u>да;</u> 2) нет	Теоретико-методологическая основа исследования выстроена на междисциплинарном подходе и опирается на труды отечественных и зарубежных учёных, посвящённые вопросам адаптивного управления роботами-манипуляторами в задачах аддитивного производства медицинских покрытий. Выбор методологии обоснован и подробно раскрыт в работе: применены методы теории автоматического управления, математическое и компьютерное моделирование с использованием симуляционных программ для оценки качества переходных процессов, а также проведены натурные эксперименты на роботизированном участке плазменной обработки поверхности с последующей оценкой качества конечного продукта.
		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 применением современных методов исследования и обработки данных с использованием новейших компьютерных технологий. Для построения математических моделей и анализа динамики движения робота-манипулятора применялись специализированные программные комплексы MATLAB/Simulink и VisSim, обеспечивающие моделирование, проверку устойчивости и качества управления, а также тестирование различных алгоритмов адаптивного регулирования. Анализ аддитивных медицинских

			покрытий, полученных роботизированным методом, выполнен на современном оборудовании по апробированным методикам, соответствующим международным стандартам, с проведением статистической обработки репрезентативного массива экспериментальных данных.
		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 и выявленные закономерности нашли подтверждение как в симуляционных исследованиях, так и в практических экспериментах. Разработанные методы управления были апробированы на опытном роботизированном участке, что подтвердило их эффективность. Дополнительно результаты закреплены получением патента на полезную модель, связанного со способом напыления покрытий на медицинские имплантаты.
		8.4 Важные утверждения <u>подтверждены</u> /частично подтверждены/не подтверждены ссылками на актуальную и достоверную научную литературу	Все ключевые утверждения диссертационной работы подтверждены ссылками на актуальные и достоверные научные источники. Это отражено в тексте при анализе результатов, представленных в первоисточниках по тематике исследования, а также при сопоставлении собственных выводов автора с данными других исследователей.
		8.5 Использованные источники литературы <u>достаточны</u> /не достаточны для литературного обзора	Назенова Г.М. выполнила обширный литературный обзор по теме исследования, охватив преимущественно современные статьи из рецензируемых журналов, включая работы как зарубежных, так и казахстанских учёных. Список использованных источников насчитывает 163 наименования, что является достаточной базой для всестороннего анализа и обзора литературы.

9	Принцип практической ценности	9.1 Диссертация имеет теоретическое значение: 1) <u>да;</u> 2) нет	Теоретические выводы и рекомендации автора дополняют и развивают теоретико-методологические основы теории автоматического управления, что позволяет применять их при решении задач управления мобильными роботами.
		9.2 Диссертация имеет практическое значение и существует высокая вероятность применения полученных результатов на практике: 1) <u>да;</u> 2) нет	Диссертация обладает практической значимостью: её результаты внедрены в учебный процесс ВКТУ им. Д. Серикбаева по образовательной программе «Автоматизация и управление» и используются при преподавании дисциплины «Основы теории оптимального управления» (акт внедрения от 05.02.2025). Существует высокая вероятность применения разработок на практике, что подтверждается патентом Республики Казахстан № 8714 от 15.12.2023 на полезную модель «Способ напыления многослойных покрытий на имплантаты из титановых сплавов».
		9.3 Предложения для практики являются новыми? 1) <u>полностью новые;</u> 2) частично новые (новыми являются 25-75%); 3) не новые (новыми являются менее 25%)	Предложения и практические рекомендации, сформулированные Назеновой Г.М., являются полностью новыми и отражают оригинальный подход автора к решению поставленных задач.
10.	Качество написания и оформления	Качество академического письма: 1) <u>высокое;</u> 2) среднее; 3) ниже среднего; низкое.	Качество академического письма оценивается как высокое. Работа отличается ясным научным стилем, логической последовательностью изложения и доступностью для профессионального восприятия. Цели и задачи исследования сформулированы на основе анализа современного состояния проблемы и выявленного пробела в существующих знаниях, который восполняется результатами диссертации. Все разделы и подразделы связаны между собой и завершаются выводами.

11	Замечания к диссертации	Существенных замечаний, а также замечаний по оформлению работы, стилистике, грамматике письма, то есть замечаний, требующих доработки диссертации, нет.
12	Научный уровень статей докторанта по теме исследования (в случае защиты диссертации в форме серии статей официальные рецензенты комментируют научный уровень каждой статьи докторанта по теме исследования)	Все результаты, представленные в исследовательских статьях по теме диссертации, имеют надежное научное обоснование, подтверждены компьютерным моделированием и экспериментами на опытном роботизированном участке, что свидетельствует о достоверности предлагаемых решений. Часть статей опубликована в рецензируемых изданиях, индексируемых в Scopus и Web of Science (Q2, процентиль выше 50%), что подтверждает их высокое качество и международное признание. Публикации в журналах из перечня Списка 2 также соответствуют высоким требованиям к научным исследованиям. В обзорных статьях проведён сравнительный анализ различных подходов к адаптивному управлению, а также рассмотрены особенности и вызовы аддитивного производства и применения покрытий для медицинских имплантатов. С учётом междисциплинарного характера темы одна обзорная работа опубликована в журнале по направлению «покрытия». В целом, статьи с соавторством Назеновой Г.М. отличаются актуальностью, новизной и теоретико-практической значимостью, полностью соответствуют требованиям к публикациям для защиты диссертации.
13	Решение официального рецензента (Согласно пункту 28 настоящего Типового положения)	Считаю, что диссертационная работа Назеновой Гаухар Мырзабекқызы полностью соответствует требованиям, предъявляемым к докторским диссертациям. В связи с этим рекомендую ходатайствовать перед Комитетом по обеспечению качества в сфере науки и высшего образования МНВО РК о присуждении соискателю степени доктора философии (PhD) по образовательной программе 8D07101 – «Автоматизация и управление».

Официальный рецензент

доктор философии (PhD),
ассоциированный профессор кафедры
«Автоматики и информационных
технологии», НАО «Шәкәрім
университет» (г. Семей, Казахстан)



Оспанов Ербол Амангазович

_____ қолын растаймын

„ 17 ” 10 20 25 ж.