

Отзыв официального оппонента

доктора технических наук Сухорукова Андрея Львовича
на диссертацию Рыжкова Александра Игоревича на тему «Моделирование динамики целенаправленного движения объектов с упругими элементами», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.18 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ

Актуальность избранной темы исследования

На сегодняшний день роботизированные технические системы, использующие манипуляторы, активно применяются для решения широкого круга задач. При этом совершенствование систем управления такими комплексами является одним из важных направлений исследований. Для большинства операций точность позиционирования манипулятора и отсутствие колебаний в процессе работы являются критически важными факторами, от которых зависит решение поставленной задачи.

Диссертационная работа Рыжкова А.И. «Моделирование динамики целенаправленного движения объектов с упругими элементами» посвящена разработке математических моделей целенаправленного движения объектов с элементами конечной жесткости. Данные модели могут быть использованы при моделировании широкого класса устройств, к которым, помимо манипуляторов, относятся башенные краны, 3D-принтеры, транспортеры.

Проблемы управления роботами-манипуляторами достаточно давно привлекают внимание исследователей. Здесь можно выделить книгу П.Д. Крутько «Обратные задачи динамики управляемых систем», в которой на основе концепции обратных задач динамики с использованием принципа управления по ускорению рассматриваются алгоритмы управления приводных систем. Задачи стабилизации движения робота-манипулятора с n звеньями рассмотрены в книге В.Н. Афанасьева, В.Б. Колмановского, В.Р. Носова «Математическая теория конструирования систем управления». Однако в этих работах конструктивные элементы привода предполагаются абсолютно твердыми, что несколько ограничивает область применения приведенных в данных работах подходов. Отличительной положительной особенностью рассматриваемой диссертационной работы А.И. Рыжкова является учет упругих деформаций элементов приводов при построении соответствующих алгоритмов управления.



Таким образом, можно отметить, что тема диссертационного исследования Рыжкова А.И. является **актуальной**.

Структура и содержание диссертационной работы

Диссертационная работа Рыжкова А.И. состоит из введения, основной части из пяти глав, заключения, списка источников из 126 наименований и приложений.

Соискатель проводит подробный анализ современного состояния вопросов моделирования динамики объектов с элементами конечной жесткости, рассматривает основные работы в области теории колебаний и теории автоматического управления. Описаны основные принципы реализации управления движением манипулятора со звеньями конечной жесткости, а также способы подавления колебаний.

Рыжков А.И. рассматривает управляемое движение упругой системы с одной степенью свободы и сравнивает энергетические затраты для достижения цели движения при использовании классического квадратичного критерия оптимальности и восстановленного функционала-критерия. Показано, что второй тип управления позволяет снизить энергетические затраты приблизительно на 30%. В этом случае моментные соотношения в относительном движении представляют собой систему трансцендентных уравнений, один из общих корней которой является минимально возможным временем, необходимым для реализации движения.

На основе разработанного алгоритма конструирования целенаправленных движений автором решается задача по управлению технической системы на примере 3D-принтера. При этом общая задача разбивается на подзадачи управления отдельными функциональными элементами, предложены алгоритмы синтеза оптимальных ускорений для элементов систем при поступательных и вращательных движениях.

Сильной стороной работы, по мнению оппонента, является экспериментальная проверка моделируемого динамического поведения упругого консольного стержня. Анализ результатов эксперимента подтверждает достоверность разработанных математических моделей и эффективность алгоритмов синтеза целенаправленного движения объекта.

В заключении автор приводит основные выводы по результатам диссертационной работы и демонстрирует их соответствие цели исследования.

Степень обоснованности и достоверности научных положений, выводов и рекомендаций

Обоснованность и достоверность научных положений обеспечивается применением апробированных методов исследования. Соискатель корректно использует известные методы механики деформируемого твердого тела, теории автоматического управления, аналитические и численные методы вычислительной математики. Научные выводы строго сформулированы и аргументированы. Ряд результатов внедрен в действующее оборудование и проверен на практике.

Достоверность полученных научных результатов подтверждается хорошим согласованием с данными вычислительных и физических экспериментов.

Новизна научных результатов

В результате выполнения диссертационной работы автором разработаны **новые** численные методы и математические модели для решения задачи моделирования динамики целенаправленного движения объектов с упругими элементами.

Разработан **новый** метод конструирования и моделирования целенаправленных переносных поступательных и вращательных ускорений упругих объектов и систем при перемещении на заданное расстояние или угол за время, определяемое из моментных соотношений в относительном движении. Созданы **новые** алгоритмы реверсивного конструирования и оценки энергоемкости целенаправленных переносных ускорений типа «разгон – торможение». **Впервые** выполнено экспериментальное исследование динамики быстрого вращения консольного элемента конечной жесткости.

Теоретическая и практическая значимость научных результатов диссертации

Теоретическая значимость результатов диссертационной работы заключается в разработанных универсальных аналитических зависимостях, описывающих динамику целенаправленного движения технических объектов. Найдены новые типы ускорений (управлений) переносного поступательного и вращательного целенаправленного движения объектов с элементами конечной жесткости. Указанные результаты имеют существенное значение для развития методов теории автоматического управления.

Практическая значимость полученных научных результатов заключается в разработке алгоритмов конструирования целенаправленных движений объектов с упругими элементами, что позволит повысить эффективность управления подобными конструкциями. Результаты работы внедрены в производственный процесс ООО «Группа компаний «ЗАИН», г. Москва. Приведенные в диссертации модели и методы могут найти применение при разработке роботов-манипуляторов глубоководных подводных аппаратов.

Соответствие диссертации и автореферата требованиям ВАК РФ

Ознакомившись с диссертацией, авторефератом и публикациями автора считаю, что тема диссертационной работы Рыжкова А.И. и ее содержание соответствуют специальности 05.13.18 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ.

Все научные результаты, полученные Рыжковым А.И. в рамках диссертационной работы, достаточно подробно опубликованы в 26 научных работах, 8 из которых опубликованы в изданиях, рекомендованных ВАК, 3 – в иностранном журнале, входящем в Scopus/Web of Science. Получены 1 свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ и 1 патент на изобретение. Результаты диссертации прошли апробацию на представительных всероссийских и международных конференциях.

Личный вклад автора

Соискатель принимал непосредственное участие в решении задач диссертационного исследования. Стоит отметить, что Рыжков А.И. самостоятельно выполнил экспериментальную проверку моделируемого динамического поведения упругого консольного стержня.

Общая оценка диссертационной работы

Диссертационная работа выполнена на высоком научном уровне, характеризуется логичной структурой, исследования обладают внутренним единством. Диссертация и автореферат качественно оформлены, содержание автореферата корректно отражает основные идеи и результаты диссертационного исследования.

Замечания по диссертационной работе

Следует отметить следующие замечания к диссертационной работе:

1. При моделировании целенаправленного вращательного движения консольного объекта конечной жесткости в диссертации учитывается лишь первая мода изгибных колебаний упругого стержня, автору следовало бы оценить степень влияния на решение более высоких мод.
2. В разделе 4.3 диссертации при проектировании упругого объекта для исследования оптимального переносного вращательного движения вокруг неподвижной оси автор отмечает, что линейно-вязкое сопротивление в относительном движении несущественно влияет на достижение абсолютного покоя в конце движения. Из текста диссертации неясно, из каких соображений назначен коэффициент линейно-вязкого сопротивления. Кроме того, автору следовало бы рассмотреть и другие модели внутреннего трения в материале стержня (гипотезы Фойгта, Сорокина и др.).
3. В тексте диссертации (например, в таблице 2.6) при записи моментных соотношений автор использует полиномы, коэффициенты которых содержат более 20 значащих цифр. Автору следовало бы представить данные коэффициенты в более наглядной форме.
4. При синтезе оптимального управления вращением вокруг неподвижной оси объекта конечной жесткости автор минимизирует перемещение этого упругого объекта в конечной фазе движения в плоскости вращения объекта. Вместе с тем, в реальном упругом объекте за счет геометрических нелинейностей возможно возникновение и других форм колебаний вследствие перераспределения энергии колебаний из плоскости вращения, например, в перпендикулярную ей плоскость. Автору следовало бы оценить возможность возникновения данного вида колебаний для рассматриваемых объектов конечной жесткости.

Приведенные замечания не носят принципиального характера, общая оценка работы положительная, а результаты имеют значительную ценность для науки и практики.


Заключение

Диссертация Рыжкова Александра Игоревича «Моделирование динамики целенаправленного движения объектов с упругими элементами» является законченной научно-квалификационной работой, в которой содержится решение научной задачи, направленной на разработку и развитие математических моделей и методов, позволяющих моделировать управляемое движение конструкций с элементами конечной жесткости и имеющей

существенное значение для развития эффективных алгоритмов управления объектами с упругими элементами. Полученные научные результаты обладают новизной, теоретической и практической значимостью, а содержание диссертации соответствует специальности 05.13.18 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ. Основываясь на вышесказанном, можно сделать вывод, что диссертационная работа «Моделирование динамики целенаправленного движения объектов с упругими элементами» отвечает требованиям ВАК Минобрнауки РФ, предъявляемым к кандидатским диссертациям (пункт 9 Положения о порядке присуждения ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 № 842), а ее автор Рыжков Александр Игоревич достоин присуждения ученой степени кандидата технических наук.

Согласен на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета и их дальнейшую обработку.

Официальный оппонент,
заместитель начальника проектного
отдела АО «ЦКБ МТ «Рубин»,
доктор технических наук

 Сухоруков
Андрей Львович

 «15» августа 2022г.

Подпись А.Л. Сухорукова заверяю:

Начальник отдела кадров
АО «ЦКБ МТ «Рубин»

 В.В. Сковородкин

Сухоруков Андрей Львович

Заместитель начальника проектного отдела АО «Центральное конструкторское бюро морской техники «Рубин», д.т.н.

Адрес: 191119, СПб, ул. Марата, 90. Тел. (812)494-19-40.
Эл. почта: su_andr@yahoo.com

С отзывом откомплес 22.08.2022

П.А.И. Рыжков

Сведения об официальном оппоненте
по диссертационной работе **Рыжкова Александра Игоревича**
на тему **«Моделирование динамики целенаправленного движения объектов с упругими элементами»**

представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук
по специальности 05.13.18 — Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ

Фамилия Имя Отчество оппонента	Сухоруков Андрей Львович
Шифр и наименование специальностей, по которым защищена диссертация	01.02.04 Механика деформируемого твердого тела
Ученая степень и отрасль науки	Доктор технических наук, кандидат физико-математических наук
Ученое звание	
Полное наименование организации, являющейся основным местом работы оппонента	АО «Центральное конструкторское бюро морской техники «Рубин»
Сокращенное наименование организации в соответствии с уставом	АО «ЦКБ МТ «Рубин»
Ведомственная принадлежность организации	Объединенная судостроительная корпорация
Структурное подразделение	Проектный отдел
Почтовый индекс, адрес	191119, Санкт-Петербург, ул. Марата, 90
Веб-сайт	www.ckb-rubin.ru
Телефон	+7(812)494-19-40
Адрес электронной почты	su_andr@yahoo.com
Список основных публикаций в рецензируемых научных изданиях, монографии за последние 5 лет по теме диссертации (не более 15 публикаций)	1. Сухоруков А.Л., Коваль К.А. Исследование устойчивости движения и вынужденных колебаний составного плавникового движителя / <i>Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии</i> . 2021. № 4 (348). С. 59-65. 2. Сухоруков А.Л. Использование рифленых поверхностей для улучшения гидродинамических, кавитационных и акустических характеристик крыльев и лопастных систем движителей (обзор) / <i>Фундаментальные и прикладные проблемы</i>

техники и технологии. 2021. № 2 (346). С. 3-17.

3. Сухоруков А.Л., Коваль К.А. Оценка эффективности гидродинамического гасителя вибраций выдвижных устройств / *Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии*. 2020. № 4 (342). С. 126-133.

4. Сухоруков А.Л., Слуцкий Р.В. Результаты верификации численного метода расчета взаимодействия подводного объекта с ледовым покровом / *Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии*. 2020. № 1 (339). С. 17-25.

5. Сухоруков А.Л., Чернышев И.А. Определение характеристик водометного движителя и параметров гидродинамического следа за подводным объектом на основе методов вычислительной гидродинамики / *Фундаментальная и прикладная гидрофизика*. 2020. Т. 13. № 1. С. 56-72.

6. Сухоруков А.Л., Чернышев И.А. Расчет нестационарных гидродинамических воздействий на конструктивные элементы водометного движителя при маневрировании подводного объекта / В сборнике: *Материалы XIII Международной конференции по прикладной математике и механике в аэрокосмической отрасли (АММАИ2020)*. Москва, 2020. С. 584-586.

7. Сухоруков А.Л., Веретенников Д.О., Мурашов М.А. Имитационное моделирование работы электронного угломерного прибора в процессе кренования подводных объектов / *Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии*. 2019. № 1 (333). С. 111-121.

8. Sukhorukov A.L., Titov M.A. On the stability of underwater glider at balancing motions modes / В сборнике: *NAV International Conference on Ship and Shipping Research*. 19th. 2018. С. 561-568.

9. Сухоруков А.Л., Коваль К.А. Верификация численного метода расчета гидроупругих колебаний конструкций в потоке жидкости /

	<p>Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. 2018. № 4-2 (330). С. 24-37.</p> <p>10. Сухоруков А.Л., Чернышев И.А. Численное моделирование системы гидродинамического удаления льда из докового комплекса / Информационные и математические технологии в науке и управлении. 2018. № 2 (10). С. 136-145.</p> <p>11. Сухоруков А.Л., Коваль К.А. Об использовании формализма Виттенбурга в задаче расчета динамики составного плавникового движителя / Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. 2017. № 4-2 (324). С. 18-24.</p> <p>12. Сухоруков А.Л., Коваль К.А. Программа для выполнения расчетов гидроупругих и вибропрочностных характеристик подъемно-мачтовых устройств с учетом волнения моря / Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ 2022616663, 15.04.2022.</p> <p>13. Сухоруков А.Л., Коваль К.А. Программа для выполнения расчетов гидроупругих характеристик подъемно-мачтовых устройств с учетом податливости промежуточной опоры / Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ 2020663201, 23.10.2020.</p> <p>14. Сухоруков А.Л. Теория подводных тросовых систем и ее инженерные приложения / М.: Физматлит, 2017.</p>
<p>Являетесь ли Вы работником ФБГНУ “Институт природно-технических систем” или ФГАОУ ВО “Севастопольский государственный университет” (в том числе по совместительству)?</p>	<p>Не являюсь</p>
<p>Являетесь ли Вы работником (в том числе по совместительству) организации, где работает соискатель ученой степени или его научный руководитель?</p>	<p>Не являюсь</p>
<p>Являетесь ли Вы работником (в том числе по совместительству) организаций, где ведутся научно-</p>	<p>Не являюсь</p>

исследовательские работы, по которым соискатель ученой степени является руководителем или работником организации-заказчика или исполнителем (соисполнителем)?	
Являетесь ли Вы членом Высшей аттестационной комиссией при Министерстве образования науки Российской Федерации?	Не являюсь
Являетесь ли Вы членом экспертных советов Высшей аттестационной комиссией при Министерстве образования науки Российской Федерации?	Не являюсь
Являетесь ли Вы членом диссертационного совета, принявшего диссертацию к защите?	Не являюсь
Являетесь ли Вы соавтором соискателя степени по опубликованным работам по теме диссертационного исследования?	Не являюсь

Заместитель начальника проектного
отдела АО «ЦКБ МТ «Рубин», д.т.н.



Сухоруков А.Л.

Верно

Начальник отдела кадров
АО «ЦКБ МТ «Рубин»



Сковородкин В.В.

«23» июня 2022 г.

