

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.1.075.01, СОЗДАННОГО
НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО
УЧРЕЖДЕНИЯ НАУКИ ИНСТИТУТА МАШИНОВЕДЕНИЯ
ИМ. А.А. БЛАГОНРАВОВА РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК (ИМАШ РАН),
ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № _____
решение диссертационного совета от 26.09.2023 № 9

О присуждении Гарину Олегу Анатольевичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Разработка и исследование механизмов с шестью степенями свободы, имеющих ортогонально расположенные пары двигателей с попарно параллельными осями» по научной специальности 2.5.2. Машиноведение (технические науки) принята к защите «11» июля 2023 года (протокол заседания № 5) диссертационным советом 24.1.075.01, созданным на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института машиноведения им. А.А. Благонравова Российской академии наук (ИМАШ РАН) Министерства науки и высшего образования Российской Федерации. Адрес организации: 101000, г. Москва, Малый Харитоньевский пер., д. 4. Совет утвержден приказом Минобрнауки России от 22.03.2022 г. № 264/нк.

Соискатель Гарин Олег Анатольевич, 28 января 1970 года рождения.

В 1993 году соискатель окончил Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана с отличием по специальности «Материаловедение в машиностроении» с присвоением квалификации инженер-механик.

В период с 2020 по 2023 год был прикреплен в качестве соискателя в ИМАШ РАН по направлению подготовки 15.06.01 «Машиностроение», по специальности 05.02.18 – Теория механизмов и машин (2.5.2. Машиноведение).

Справка о сдаче кандидатских экзаменов № 2304/11/01асп от 11.04.2023г. выдана Федеральным государственным бюджетным учреждением науки Институтом машиноведения им. А.А. Благонравова Российской академии наук.

Работает в ФГБОУ ВО «МГТУ им. Н.Э. Баумана» начальником управления научной и инновационной деятельности.

Диссертация выполнена в лаборатории теории механизмов и структуры машин ИМАШ РАН.

Научный руководитель – доктор технических наук, доцент Хейло Сергей Валерьевич, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный университет им. А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство)», г. Москва, заведующий кафедрой теоретической и прикладной механики.

Официальные оппоненты:

Подураев Юрий Викторович, доктор технических наук, профессор, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный технологический университет «СТАНКИН», кафедра робототехники и мехатроники;

Несмиянов Иван Алексеевич, доктор технических наук, доцент, проректор по учебной работе Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Волгоградский государственный аграрный университет».

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский Государственный университет Промышленных Технологий и Дизайна», в своем положительном отзыве, подписанном доктором технических наук, профессором, заведующим кафедрой «Машиноведение» Марковцом Алексеем Владимировичем, обсужденном на заседании кафедры «Машиноведение» (протокол № 7 от 01.09.2023) и утвержденном проректором по научной работе, доктором технических наук, профессором Макаровым А.Г., указала, что

диссертация полностью соответствует требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук, выполнена автором самостоятельно, обладает научной новизной и практической значимостью. Автореферат диссертации составлен по установленной форме и полностью отражает основное содержание диссертации. Основные результаты диссертации опубликованы в 11 научных работах, в том числе 4 статьях в журналах из перечня ВАК, 1 статье из базы Scopus, 2 патентах на полезную модель, 1 свидетельстве о регистрации программ для ЭВМ. Опубликованные работы достаточно полно отражают основное содержание диссертации и результаты проведенных исследований.

Диссертационная работа Гарина Олега Анатольевича на тему «Разработка и исследование механизмов с шестью степенями свободы, имеющих ортогонально расположенные пары двигателей с попарно параллельными осями» по актуальности, научной новизне и практической значимости соответствует требованиям п. 9-11 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. №842, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, так как является законченной научно-квалификационной работой, в которой изложены новые научно обоснованные технические решения в области анализа и синтеза механизмов параллельной структуры с шестью степенями свободы, обладающих свойствами изоморфности и кинематической развязки, что имеет существенное значение для совершенствования манипуляционных механизмов.

Автор диссертационной работы, Гарин Олег Анатольевич, заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.2. – Машиноведение (технические науки).

Наиболее значительные научные работы по теме диссертации:

1. Хейло С.В., Глазунов В.А., Палочкин С.В., Гарин О.А., Ключерев В.Н. Точность сферического механизма // Справочник. Инженерный журнал с приложением. 2019. № 1 (262). С.29–35.

2. Хейло С.В., Гарин О.А., Палочкин С.В., Дорофеев С.Д. Исследование свойств пространственных механизмов с шестью степенями свободы // Справочник. Инженерный журнал с приложением. 2021. №3. С. 28–33

3. Гарин О.А., Хейло С.В., Полетика А.К. Экспериментальное исследование механизма с шестью степенями свободы // Справочник. Инженерный журнал с приложением. 2022. № 7. С.27–31.

4. Хейло С.В., Гарин О.А., Терехова А.Н., Прохорович В.Е., Духов А.В. Решение задач динамики манипуляционного механизма с шестью степенями свободы // Проблемы машиностроения и надежности машин. 2022. №1. С. 39–46.

5. Kheylo, S.V., Tsarkov, A.V., Garin, O.A. (2020) Kinematic Analysis of Novel 6-DOF Robot In: Advances in Intelligent Systems and Computing, pp. 442–450.

6. Патент РФ №176040. Пространственный механизм с шестью степенями свободы. Хейло С.В., Глазунов В.А., Гарин О.А.

7. Патент РФ №182355. Пространственный механизм с шестью степенями свободы. Хейло С.В., Глазунов В.А., Гарин О.А., Царьков А.В., Разумеев К.Э.

8. Хейло С.В., Гарин О.А. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ RU 2021662355, 27.01.2021.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы:

1. От официального оппонента Подураева Юрия Викторовича, профессора кафедры ФГБОУ ВО «МГТУ» «СТАНКИН» доктора технических наук, профессора, г. Москва. **Замечания:** 1) В диссертационной работе автор предлагает новые механизмы параллельной структуры, которые при поступательных движениях обладают свойствами изоморфности, когда каждый привод управляет движением своей координаты выходного звена (см. п.1 научной новизны диссертации). Однако в работе не показано, как добиться в практических приложениях строгой перпендикулярности расположения осей

шарниров в пространстве; 2) В диссертации посчитана ошибка позиционирования углов поворота выходного звена. Из текста диссертации не ясна точность при линейном движении. Это не позволяет оценить в целом точность позиционирования рабочего органа для роботов с данной кинематикой; 3) В диссертационной работе полученные результаты экспериментальных исследований синтезированного механизма на действующей модели отнесены к научной новизне диссертации (п. 4). Считаю, что этот пункт следует перенести в раздел «Практическая значимость работы».

2. От официального оппонента Несмиянова Ивана Алексеевича, доктора технических наук, доцента, проректора по учебной работе ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный аграрный университет». **Замечания:** 1) Желательно было бы в научную новизну добавить, что новизна технических решений подтверждается патентами и свидетельством регистрации программ для ЭВМ Российской Федерации; 2) Методика структурного синтеза в главе 2 изложена понятно, но вот сам синтез механизма представлен как уже готовый результат, без подробного описания. К тому же ничего не сказано о критериях синтеза и ограничениях, если таковые были; 3) На схеме рис. 2.5 одноподвижные кинематические пары показаны как двухподвижные, что вводит в заблуждение при подсчете степени свободы; 4) В математической модели не учитывается трение в шарнирах, а соответственно и не учитываются углы давления в шарнирах, что может несколько изменить границы области особых положений; 5) В таблице 2.1 и далее в тексте углы указаны в градусах, хотя общепринято в механике использование меры – радиан. Ведь угловые скорости автор измеряет в c^{-1} , а значит, все равно приходится переводить углы из градусов в радианы; 6) В динамической модели (глава 3) автор учитывает массу выходного звена, но не учитывает массу звеньев. Возможно, это приведенная масса, но в тексте об этом не написано; 7) В четвертом разделе, к сожалению, не указаны приборы, датчики и используемые методы измерения угловых и линейных координат, что затрудняет оценку точности измерений.

3. От ведущей организации – Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Санкт-Петербургский Государственный университет Промышленных Технологий и Дизайна». **Замечания:** 1) Во второй главе диссертации дано описание подхода к решению задач структурного синтеза механизмов, основанного на применении замкнутых групп винтов. Из текста данной главы не совсем понятно как указанный подход был использован при синтезе предлагаемых в работе структурных схем манипуляционных систем с шестью степенями свободы на базе выбранного в качестве прототипа механизма И. Бонева; 2) При решении задачи о положениях звеньев, определении рабочей зоны разработанных новых схем механизмов желательно было бы дать более подробное описание кинематической схемы механизма и ее постоянных и переменных параметров. Непонятны единицы измерения параметров как в тексте второй главы, так и на графиках рабочих зон (рис. 2.8–2.14); 3) В третьей главе автор анализирует особые положения звеньев новых механизмов, которые, как правило, являются границами способов сборки кинематических цепей. В тексте диссертации желательно было бы описать, как происходит выбор вариантов способов сборки при кинематическом анализе механизмов; 4) При решении задачи силового анализа предлагаемого нового механизма параллельной структуры с шестью степенями свободы желательно было бы дать более подробное описание расчетных схем, принятых допущений и обозначений; 5) В четвертой главе при описании результатов экспериментальных исследований с помощью разработанного стенда не приведены конкретные численные данные параметров об анализируемых границах рабочей зоны, диапазонах изменения параметров входного звена. Полезно было бы соотнести измеренные значения параметров на стенде с результатами численного моделирования по разработанным во второй и третьей главе математическим моделям.

4. От профессора кафедры 914 «Проектирование сложных технических систем», института № 9 «Общеинженерная подготовка», ФГБОУ ВО

«Московский авиационный институт (Национальный исследовательский университет)» доцента, д.т.н., Мироновой Любови Ивановны. **Замечание:** На стр. 12 Гарин О.А. приводит решение дифференцированного уравнения связей методом Анжелеса – Госслена, в ходе которого исследуются определители матриц А и В. В частности, сказано, что: «равенство нулю определителя матриц А или В указывает на наличие особых положений...». Однако, характеристики особого положения и какое влияние они оказывают на работу механизма в автореферате автор не поясняет.

5. От профессора кафедры общепромышленных дисциплин, д.т.н., доцента ФГБОУ ВО «Казанский государственный аграрный университет» Яхина Сергея Мирбатовича. **Замечания:** 1) В автореферате желательно было бы привести соотношение силовых винтов, действующих на выходное звено со стороны кинематических цепей и моментов силовых винтов относительно главных центральных осей выходного звена; 2) Желательно было бы описать преимущества подвижной управляемой тележки – робота для обработки сельскохозяйственных культур (рисунок 8) перед существующими конструкциями.

6. От профессора кафедры теории механизмов и машин, деталей машин и проектирования технологических машин ФГБОУ ВО «Костромской государственный университет», д.т.н., профессора Рудовского Павла Николаевича. **Замечание:** Как недостаток автореферата следует отметить отсутствие количественной оценки параметров физической модели предложенного механизма и их сравнения с расчетными.

7. От директора ООО «СтимПро», к.т.н. Рахилина Константина Валентиновича. **Замечание:** В работе была исследована зависимость точности позиционирования нового механизма только от неточности изготовления звеньев, иные факторы в работе не рассматривались.

8. От доцента кафедры робототехники и технической механики ФГАОУ ВО «РГУ нефти и газа (НИУ) им. И.М. Губкина» к.т.н., Диденко Елены Владимировны. **Замечания:** 1) Не рассмотрены вопросы, связанные с

оптимизацией параметров звеньев механизма с точки зрения многокритериального подхода; 2) на рис. 1 некорректно изображены кинематические пары 5-го класса, что затрудняет оценку расчета числа степеней свободы механизма.

9. От заведующего кафедрой теоретической механики и компьютерного моделирования ФГАОУ ВО «Московский политехнический университет», к.т.н., доцента Бровкиной Юлии Игоревны. **Замечания:** 1) Силовой расчет выполнен без учета сил трения, но данные силы могут оказывать существенное влияние, и при расчете механизмов повышенной точности необходимо их учесть; 2) В представленном макете механизма существует вероятность заклинивания вертикально расположенных звеньев, связанных вращательными кинематическими парами.

10. От руководителя научного направления «механизация животноводства» ФГБНУ ФНАЦ «ВИМ» к.т.н., старшего научного сотрудника Павкина Дмитрия Юрьевича. **Замечание:** при определении рабочей зоны накладывались геометрические ограничения – длины звеньев, однако из текста не ясно – как влияют другие ограничения, например, ограничения в углах поворота вращательных кинематических пар, и возможно ли их учесть в предложенной программе.

11. От профессора кафедры «Автоматизация и робототехника» ФГАОУ ВО «Омский государственный технический университет» д.т.н., профессора Хомченко Василия Герасимовича. **Замечания:** 1) Не обосновано применение левой системы координат (рис 1, 2), что требовало бы более подробного пояснения вида матриц поворота A_1 , A_2 и A_3 (стр.9); 2) Непонятно, что понимается под «обратной задачей о положении». Обычно под обратной задачей понимается расчет обобщенных координат по заданному положению выходного звена, а не наоборот, как утверждается в диссертации (второй абзац на стр. 9).

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается их высокой компетентностью и научными разработками в области теории

механизмов и машин, машиноведения, а также значительным числом научных трудов, в том числе по рассматриваемым в диссертации проблемам.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

разработаны новые механизмы параллельной структуры с шестью степенями свободы, имеющие ортогонально расположенные пары двигателей с попарно параллельными осями, обладающие свойствами кинематической развязки и изоморфности;

предложены методики структурного синтеза, кинематического и силового анализа синтезированного механизма, оценки кинематической точности механизма;

доказана теоретически на экспериментальной модели возможность передачи поступательного и вращательного движения выходному звену механизмом с шестью кинематическими цепями, с расположенными попарно параллельными приводами на основании;

введены новые интерпретации методов исследования кинематической точности для механизмов с шестью степенями свободы, связанные с неточностью изготовления промежуточных звеньев.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

доказана работоспособность разработанных схем механизмов на экспериментальной модели разработанного механизма с шестью степенями свободы с попарно параллельными осями приводов, возможность передачи раздельно вращательного и поступательного движений;

применительно к проблематике диссертации результативно использованы инструменты аппарата винтового исчисления, методы теоретической механики, дифференциального и матричного исчисления, компьютерного моделирования;

изложены комплексные исследования пространственных механизмов с шестью степенями свободы с расположением приводов на основании с попарно параллельными осями, реализующих вращательные и поступательные

движения; при поступательных движениях каждая пара двигателей управляет своей координатой выходного звена с постоянным передаточным отношением;

раскрыты свойства кинематической развязки и изоморфности у группы механизмов параллельной структуры, имеющих ортогонально расположенные пары приводов с попарно параллельными осями, и пары приводов, управляющих одной координатой с обеспечением постоянства передаточного отношения;

изучены рабочая зона синтезированного механизма и влияние отношений размеров звеньев на ее форму и размеры; влияние неточности изготовления звеньев на точность позиционирования выходного звена;

проведена модернизация существующей схемы механизма типа «Гексаптерон» с целью упрощения исходной схемы, повышения функциональных возможностей данного типа механизмов.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:

разработаны и внедрены результаты исследований в учебную дисциплину «Новые механизмы в современной робототехнике» в Институте Мехатроники и Робототехники ФГБОУ ВО «РГУ им. А.Н. Косыгина»; предложенные методики могут быть применены для исследования других механизмов параллельной структуры;

определены перспективы практического использования разработанных механизмов в технологическом оборудовании различного назначения в измерительных устройствах, в научных и исследовательских задачах, что обусловлено их высокой точностью и грузоподъемностью;

создана методика синтеза, кинематического и силового анализа механизмов параллельной структуры с приводами, расположенными на неподвижном основании, обладающих свойствами кинематической развязки и постоянства передаточного отношения при поступательных движениях;

представлены методические рекомендации по проектированию механизмов параллельной структуры и определению характеристик этих

механизмов; для расчета параметров рабочего пространства механизмов; составлена программа для ЭВМ «Определение рабочей зоны механизма с шестью степенями свободы», позволяющая определить формы и размеры рабочей зоны.

Оценка достоверности результатов исследования выявила, что:

теория обусловлена строгостью математических выкладок при использовании корректных допущений, основанных на фундаментальных законах теоретической механики и теории механизмов и машин, а также сопоставлением теоретических и практических результатов;

идея базируется на использовании знаний, накопленных в области синтеза, исследования, проектировании и эксплуатации пространственных механизмов параллельной структуры, а также обобщении опыта проектирования объектов робототехники;

использованы авторские экспериментальные данные, полученные на действующей модели механизма и подтверждающие возможность раздельной реализации поступательных и вращательных движений;

установлено непротиворечие полученных авторских результатов результатам независимых источников по данной тематике;

использованы современные методы обработки информации, математическое и компьютерное моделирование, построение натурной модели, сравнение численного и натурального экспериментов.

Личный вклад соискателя состоит в:

синтезе новых механизмов с шестью степенями свободы с ортогонально расположенными парами двигателей с попарно параллельными осями;
разработке методик кинематического и силового анализа;
решении задач о положении, скоростях, особых положениях;
проведении исследования рабочей зоны синтезированного механизма;
разработке натурной модели, подтверждающей работоспособность нового механизма.

В ходе защиты диссертации были высказаны следующие критические замечания:

Д.т.н. Саламандра Константин Борисович: В автореферате подробно не рассмотрена методика структурного синтеза. В чем заключается синтез?

Соискатель Гарин О.А. ответил на задаваемые ему в ходе заседания вопросы и привел собственную аргументацию: синтез заключается в выборе кинематических пар, звеньев по заданным параметрам и свойствам механизма. Были проанализированы механизмы с тремя степенями свободы поступательные и сферические, описываемые трехчленной группой винтов, затем составлен механизм с шестью степенями свободы, описываемый шестичленной группой винтов.

На заседании 26 сентября 2023 года диссертационный совет принял решение присудить Гарину О.А. ученую степень кандидата технических наук по специальности 2.5.2. Машиноведение (технические науки) за решение научно-технической задачи разработки и исследования новых механизмов с шестью степенями свободы, имеющих ортогонально расположенные пары двигателей с попарно параллельными осями, имеющей значение для исследования новых пространственных механизмов, обладающих повышенными функциональными возможностями.

Диссертация охватывает основные вопросы решения поставленных научных задач и соответствует критерию внутреннего единства, что подтверждается структурой содержания работы, полученными результатами исследований и выводами.

Диссертация отвечает требованиям, установленным пп. 9-11, 13, 14 «Положения о присуждении ученых степеней» (утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842 (ред. от 18.03.2023)).

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 14 человек, из них 14 докторов наук по научной специальности

рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 17 человек, входящих в состав совета, дополнительно введены на разовую защиту – 0 человек, проголосовали: за 13, против 1, недействительных бюллетеней 0.

Председатель

диссертационного совета,

д.т.н., профессор



Глазунов Виктор Аркадьевич

Ученый секретарь

диссертационного совета,

д.т.н.

Рашоян Гагик Володяевич

Дата оформления заключения «28» сентября 2023 года