

**Отзыв на автореферат диссертации Анны Васильевны Нелюбовой
«Управление движением манипулятора параллельно-последовательной структуры
на основе трипода с дополнительной геометрической связью»,
представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук
по специальности 2.5.4. Роботы, мехатроника и робототехнические системы**

Диссертация А.В. Нелюбовой посвящена исследованию манипулятора последовательно-параллельной структуры, состоящего из подвижного жесткого основания треугольной формы и расположенного на нем трипода, в точке соединения осей призматических шарниров которого расположен объект манипулирования, моделируемый материальной точкой. Основание может вращаться относительно одной из сторон треугольника, неподвижной в инерциальном пространстве. Подвижная вершина треугольника соединена с неподвижным основанием призматическим шарниром. Длины всех четырех призматических приводов могут изменяться, чем осуществляется управление движением объекта манипулирования. Особенностью конструкции манипулятора, рассматриваемого в диссертации, является наличие дополнительного жесткого стержня, который соединен сферическим шарниром с объектом манипулирования и может перемещаться вдоль прямолинейной направляющей, закрепленной на неподвижном основании с помощью сферического шарнира. Цель введения стержня в конструкцию – повысить ее жесткость, повысив тем самым точность исполнения операций по манипулированию объектом, закрепленным в схвате (концевой точке) трипода. Описанная механическая система имеет четыре степени свободы и является кинематически избыточной по отношению к трем степеням свободы объекта манипулирования. Из-за этой избыточности длины призматических шарниров определяются положением точечного объекта манипулирования неоднозначно, что дает свободу в управлении движением объекта по заданной траектории и возможность оптимизации режима управления.

В диссертации получены следующие результаты.

1. Решена обратная задача кинематики манипулятора, получены аналитические выражения для длин исполнительных звеньев (призматических шарниров) через координаты объекта манипулирования и угол поворота треугольника основания трипода вокруг неподвижной стороны. Получены также выражения для сферических координат объекта манипулирования относительно полюса, совпадающего с центром сферического шарнира, с помощью которого направляющая дополнительного стержня закреплена на неподвижном основании.
2. Поставлена задача позиционирования манипулятора в конечном положении как задача выбора значения угла поворота основания трипода, минимизирующего квадратичную функцию от изменения длин приводных звеньев при переходе из начальной конфигурации манипулятора в конечную. После определения этого угла однозначно рассчитываются длины звеньев в конечной конфигурации.
3. Проведен анализ манипуляционной системы на наличие особых конфигураций, в которых на систему налагаются дополнительные связи, уменьшающие число степеней свободы и ограничивающие возможные направления смещения объекта манипулирования.
4. Предложена процедура «кинематического» синтеза закона управления манипулятором при перемещении объекта манипулирования вдоль заданной траектории. В результате рассчитываются зависимости от времени для длин исполнительных звеньев. Процедура кинематического синтеза включает оптимизацию с учетом кинематической избыточности конструкции манипулятора. Проведен иллюстративный расчет для некоторых простых траекторий движения объекта манипулирования.
5. Выведены динамические уравнения движения рассматриваемой манипуляционной системы, с помощью которых рассчитываются управляющие обобщенные силы,

реализующие режим движения, ранее рассчитанный на основе кинематической модели.

6. Проведены экспериментальные исследования манипуляционной системы, представляющей объект исследования диссертации А.В. Нелюбовой, на полномасштабной физической модели, созданной в Волгоградском государственном техническом университете, где выполнены исследования по теме диссертации.

Судя по автореферату, диссертация А.В. Нелюбовой представляет законченную научно-квалификационную работу, выполненную на высоком научном уровне и свидетельствующую о высокой квалификации ее автора в области теоретической и прикладной механики, прикладной теории управления и робототехники. Сильной стороной диссертации представляется сочетание теоретических исследований с полномасштабным экспериментом. Результаты диссертации являются новыми и достоверными. Тема диссертации актуальна в связи с возрастающим интересом пользователей манипуляционных роботов в различных отраслях к манипуляторам параллельно-последовательной структуры и нерешенностью ряда научных задач, относящихся к системам этого типа; последнее мешает непосредственному внедрению манипуляторов параллельно-последовательной структуры в практику. Некоторые из таких задач решены в диссертации А.В. Нелюбовой. Результаты диссертации в достаточной степени опубликованы в рецензируемых научных журналах и известны научной общественности.

Автореферат написан хорошо и, по-видимому, правильно и достаточно полно отражает содержание диссертации.

По содержанию автореферата у меня имеются замечания.


1. Название диссертации представляется неудачным из-за терминологии. В названии упоминается «дополнительная геометрическая связь», реализуемая технически (как я понял из текста автореферата) жестким стержнем, соединяющим объект манипулирования (материальную точку) с некоторой неподвижной точкой на неподвижном основании, причем длина «активного участка» стержня может изменяться (теоретически) в неограниченных пределах. Введение в конструкцию такого стержня не налагает никаких дополнительных связей на систему, все звенья компоненты которой (без дополнительного стержня) суть абсолютно твердые тела. Геометрическая связь обязательно сужает множество возможных конфигураций системы. В рассматриваемом в диссертации случае это не так. Длина активной части стержня и его ориентация однозначно определяются положением объекта манипулирования, стержень не уменьшает число степеней свободы системы, что имело бы место при наложении геометрической связи. Введение совокупности обобщенных координат q , в число которых входят сферические координаты объекта манипулирования относительно фиксированного в неподвижном пространстве полюса и угол поворота треугольного основания трипода, можно ввести безо всякого стержня. Я понимаю, что с технической точки зрения введение жесткого стержня в конструкцию целесообразно для увеличения ее жесткости. Жесткий стержень «запретит» некоторые смещения объекта, которые обусловлены упругой податливостью активных (приводных) звеньев манипулятора. Однако в рассматриваемой диссертантом модели упругая податливость не учитывается. Если бы автор учитывал упругую податливость, увеличив тем самым число степеней свободы системы, жесткий стержень действительно реализовывал бы дополнительную геометрическую связь.

2. Квадратичная функция в правой части выражения (7) названа обобщенной энергией. Этот термин мне непонятен. Я не вижу какой бы то ни было связи функции (7) с энергией.

Сделанные замечания не снижают высокой оценки диссертации А.В. Нелюбовой как научно-квалификационной работы.

Я считаю, что диссертация А.В. Нелюбовой удовлетворяет всем требованиям, предъявляемым ВАК РФ к кандидатским диссертациям по специальности 2.5.4. Роботы, мехатроника и робототехнические системы, а ее автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по этой специальности.

Главный научный сотрудник,
доктор физико-математических наук по специальности
01.02.01. Теоретическая механика,
член-корреспондент РАН
Тел. (495)434-35-01, +7(916)263-63-89
e-mail: bolotnik@ipmnet.ru



Болотник Николай Николаевич

5 июня 2026 г.

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт проблем механики им. А.Ю. Ишлинского Российской академии наук
Адрес: 119526, г. Москва, пр-т Вернадского, д. 101, корп. 1
Тел.: +7-495-434-32-38, e-mail: ipm@ipmnet.ru, сайт: <https://ipmnet.ru>

Подпись Болотника Николая Николаевича
заверяю:
зав. канцелярией
ИПМех им. А.Ю. Ишлинского РАН



Сафронова Ирина Анатольевна

« 03 » ЛИСТОВ	Вх. № 05-65-62 « 15 » 06 2026г.
------------------	------------------------------------

С отзывом ознакомлена
15.06.2026 