

В диссертационный совет Д.002.059.05  
на базе ФГБУН «Институт машиноведения  
им. А.А. Благонравова РАН»  
101000, г. Москва, Малый Харитоньевский  
пер., д.4

## ОТЗЫВ

официального оппонента

на диссертацию Малышева Дмитрия Ивановича «Развитие методов оптимизации в решении задач анализа рабочего пространства и геометрических параметров механизмов параллельной структуры», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.02.18 - Теория механизмов и машин

### **Актуальность выбранной темы**

В настоящее время механизмы параллельной структуры находят широкое применение, и при решении задач автоматизированного цифрового проектирования таких механизмов и гибридных систем необходимо уделить внимание повышению производительности при решении оптимизационных задач. Эти задачи включают в себя анализ рабочего пространства, а также выбор и оптимизацию параметров механизма. Возникает необходимость разработки новых высокопроизводительных методов для решения вычислительных задач, возникающих в процессе проектирования механизмов. В ходе проектирования важно обеспечить максимальный объём рабочей области, которая определяется множеством всех возможных положений рабочего звена механизма с учётом пересечений звеньев и особых положений, при которых могут возникнуть ошибки в управляемости механизма и сбой в работе. Анализ рабочей области механизмов параллельной структуры сложнее по сравнению с аналогичным анализом механизмов последовательной структуры. На текущий момент существует большое число методов определения рабочих областей механизмов параллельной структуры. Однако, следует отметить, что геометрические методы дают точное описание, но применимы лишь к простейшим механизмам. Недостатком таких методов также является трудность учёта всех ограничений и применения полученного результата при планировании траектории. При использовании дискретных методов полученные результаты легко применить к планированию траектории, но при этом процесс вычисления трудоёмок. Также к недостаткам этих методов можно отнести зависимость точности границы от шага дискретизации, который используется для создания сетки. В соответствии с этим, автор формулирует соответствующие цели и задачи исследования. Таким образом, тема диссертационной работы Малышева Д.И. представляется актуальной.



## **Структура и оформление диссертации**

Диссертация изложена на 173 страницах и включает в себя введение, четыре главы, заключение, список литературы (164 наименования) и 1 приложение.

**Во введении** обосновывается актуальность темы диссертационной работы. Обозначены цель работы и задачи для достижения поставленной цели, указана практическая значимость и содержатся основные положения научной новизны, выносимые на защиту.

**В первой главе** проводится аналитический обзор механизмов параллельной структуры. Рассмотрены преимущества и недостатки существующих механизмов, на основании анализа литературы по теме исследований. Проанализированы существующие методы определения рабочей области механизмов параллельной структуры. Обоснована актуальность создания новых высокопроизводительных методов и подходов решения оптимизационных задач с заданной точностью аппроксимации.

**Во второй главе** предложены методы и алгоритмы, направленные на повышение производительности детерминированных методов оптимизации, которые позволяют существенно снизить объём данных в пределах заданной точности аппроксимации. Алгоритмы апробированы на плоских и пространственных механизмах параллельной структуры для решения задачи анализа рабочей области. По результатам анализа автором был сделан вывод о том, что ограничения, связанные с наличием особых положений и пересечений звеньев, существенно влияют на форму и размеры рабочей области механизмов параллельной структуры.

**В третьей главе** были рассмотрены вопросы оптимизации геометрических параметров гибридного механизма для реабилитации нижних конечностей с целью обеспечения требуемой рабочей области. Неоднородность формы рабочей области активного механизма усложняет решение задачи оптимизации параметров гибридного механизма. При незначительном изменении параметров активного механизма наблюдается увеличение областей пересечений звеньев, вследствие чего рабочая область пассивного механизма полностью не покрывается рабочей областью активного.

**В четвертой главе** приведены результаты экспериментальных исследований и рассмотрена имитационная модель гибридного механизма. По результатам математического и имитационного моделирования был выявлен ряд неточностей при проектировании и изготовлении экспериментального образца гибридного механизма, что связано с пересечением звеньев и взаимным расположением механизмов. Автором были своевременно внесены изменения в соответствующие узлы крепления и шарниры.

**Обоснованность и достоверность научных, положений, выводов и рекомендаций**



Научные положения и результаты диссертационной работы Малышева Д.И. содержат общепринятые методы теории механизмов и машин, теоретической механики, математического моделирования, а также экспериментальные результаты исследований. Представленные выводы и рекомендации логичны и обоснованы, подтверждаются результатами экспериментов. Достоверность полученных результатов не вызывает сомнения.

### **Научная новизна проведенных исследований**

1. Предложен метод математического моделирования механизмов параллельной структуры и алгоритм для решения задачи определения рабочей области механизмов различных конфигураций.
2. Предложен метод кинематического анализа особых положений и геометрический метод определения пересечений звеньев, позволяющие эффективно определить зоны рабочей области, свободные от сингулярностей и пересечений.
3. Разработан метод многокритериальной оптимизации параметров гибридного механизма для реабилитации, состоящего из двух модулей параллельной и последовательной структуры.
4. Разработан универсальный многофункциональный программный комплекс с применением параллельных вычислений, ориентированный на выполнение на современных высокопроизводительных вычислительных системах.

### **Теоретическая и практическая значимость результатов исследований**

Диссертационная работа Малышева Д.И. имеет значимость для науки и практики, заключающуюся в разработке высокопроизводительных методов и алгоритмов определения рабочего пространства и определении параметров плоских и пространственных механизмов параллельной структуры с различным числом степеней свободы. Синтезирован новый гибридный механизм, выполненный на базе активного 3-PRRR механизма и пассивного RRRR механизма, который может быть использован в медицине для реабилитации нижних конечностей пациентов с нарушениями опорно-двигательного аппарата.

### **Замечания по работе**

1. В диссертационной работе автор для решения поставленных научных проблем использует метод математического моделирования механизмов параллельной структуры и алгоритм, основанный на основе преобразования покрывающих множеств. Все составные части данного алгоритма приведены в отдельных разделах главы 2, однако единого алгоритма со всеми возможными его разветвлениями автор в тексте диссертации не привел.



2. Автором в раздел «Научная новизна» включен универсальный программный комплекс с применением параллельных вычислений. На мой взгляд, это практический результат диссертационной работы, полученный на основе разработанных методов, алгоритмов и математических моделей.

### Заключение

Диссертационная работа Малышева Дмитрия Ивановича на тему «Развитие методов оптимизации в решении задач анализа рабочего пространства и геометрических параметров механизмов параллельной структуры» представляет собой законченную научно-квалификационную работу, в которой на основании выполненных автором исследований изложены новые научно-обоснованные технические решения. Диссертация посвящена решению задач анализа рабочего пространства и геометрических параметров механизмов параллельной структуры. Автореферат соответствует содержанию диссертации. В целом диссертация выполнена на высоком научном уровне, а отмеченные замечания, в основном, носят рекомендательный характер и не снижают общего положительного впечатления о работе.

Результаты исследований по диссертации отражены в 25 публикациях, в числе которых 2 издания из перечня ВАК, 20 статей, индексируемых Scopus и Web of Science. Апробация работы включает выступления на международных научных конференциях.

Диссертация полностью соответствует требованиям пунктов 9, 10, 11, 13, 14 «Положения о порядке присуждения ученых степеней» ВАК РФ, предъявляемым к диссертациям, представляемым на соискание ученой степени кандидата наук, а ее автор, Малышев Дмитрий Иванович, заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.02.18 - Теория механизмов и машин.

Официальный оппонент,  
Подураев Юрий Викторович  
доктор технических наук (05.02.05 – Роботы, мехатроника и  
робототехнические системы),  
заведующий кафедрой «Робототехника и мехатроника»



ФГБОУ ВО «Московский государственный технологический университет «СТАНКИН»  
Адрес: 127 055, г. Москва, Вадковский пер., д. 1  
Телефон: +7 (495) 972-9436  
e-mail: poduraev@mail.ru

Подпись руки *Подураев Ю.В.* удостоверяю  
УД ФГБОУ ВО «МГТУ «СТАНКИН»  
*Голушицкий С.И.*