

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**

Важное значение при решении задач автоматизированного цифрового проектирования механизмов и гибридных систем с повышенными функциональными возможностями и характеристиками имеет повышение производительности при решении многих оптимизационных задач. Среди таких задач можно отметить анализ рабочего пространства, а также выбор и оптимизацию параметров механизма. Актуальным направлением исследований является разработка новых высокопроизводительных методов и алгоритмов решения оптимизационных задач. Одним из критериев в ходе проектирования является максимизация объёма рабочей области, которая определяется множеством всех возможных положений рабочего звена механизма с учётом пересечений звеньев и особых положений, в котором механизм теряет управляемость и могут возникать сбои в работе. При этом анализ рабочей области механизмов параллельной структуры сложнее аналогичного для механизмов последовательной структуры. В настоящее

время разработано большое число методов определения рабочих областей механизмов параллельной структуры. Геометрические методы дают точное описание, но применимы лишь к простейшим механизмам. К недостаткам можно также отнести трудность учёта всех ограничений, а полученный результат трудно применить при планировании траектории. Полученные с использованием дискретных методов результаты легко применить к планированию траектории, однако процесс вычисления трудоемок, а также имеется ряд недостатков. Точность границы зависит от шага дискретизации, который используется для создания сетки. Возникают трудности, если рабочая область имеет пустоты или же границы могут иметь большое количество узлов. Автор понимает это и формулирует соответствующие цели и задачи исследования. Актуальность темы диссертации не вызывает сомнений.

### **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 необходимость и актуальность выполненной автором работы. Обозначены цель работы и задачи для достижения поставленной цели, содержатся основные положения научной новизны, выносимые на защиту.

**Первая глава** посвящена аналитическому обзору в области механизмов параллельной структуры. Рассмотрены области применения и недостатки существующих механизмов, на основании анализа литературы по теме исследований. Выполнен анализ существующих методов определения рабочей области механизмов параллельной структуры. Выполнен анализ исследований в области детерминированных и эвристических методов глобальной оптимизации. Обоснована актуальность разработки новых универсальных и высокопроизводительных методов анализа рабочего пространства механизмов параллельной структуры, позволяющих учесть все ограничения с



заданной точностью аппроксимации, также методов и подходов решения оптимизационных задач.

**Во второй главе** рассмотрены разработанные методы и алгоритмы, связанные с повышением производительности детерминированных методов оптимизации, позволяющие в пределах заданной точности аппроксимации существенно снизить объём данных, требуемых для выполнения вычислительных процедур, тем самым повысить их быстродействие. Алгоритмы апробированы на плоских и пространственных механизмах параллельной структуры. В результате анализа автором сделан вывод, что на форму и размеры рабочей области МПС существенное влияние оказывают ограничения, связанные с наличием особых положений и пересечений звеньев.

**В третьей главе** автором рассмотрены вопросы оптимизации геометрических параметров гибридного механизма для реабилитации нижних конечностей с целью обеспечения требуемой рабочей области. Сложность решения задачи оптимизации параметров гибридного механизма связана с неоднородностью формы рабочей области активного механизма, и при незначительном изменении его параметров наблюдается увеличение областей пересечений звеньев, вследствие чего рабочая область пассивного механизма полностью не покрывается рабочей областью активного.

**В четвертой главе** рассмотрена имитационная модель гибридного механизма и приведены результаты экспериментальных исследований. Результаты математического и имитационного моделирования позволили выявить ряд неточностей на этапе проектирования и изготовлении экспериментального образца гибридного механизма, связанных с пересечением звеньев и взаимным расположением механизмов, что позволило автору своевременно внести изменения в соответствующие узлы крепления и шарниры.

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

Научные положения и результаты диссертационной работы Малышева Д.И. представляются достоверными, так как получены с использованием общепринятых методов теории механизмов и машин, теоретической механики, математического моделирования. Сформулированные автором выводы и рекомендации логичны и обоснованы, согласуются с результатами проведенных исследований.

## **Научная новизна проведенных исследований**

1. Предложен метод математического моделирования механизмов параллельной структуры и алгоритм для решения задачи определения рабочей области механизмов различных конфигураций. Они основаны на аппроксимации как систем нелинейных неравенств, так и уравнений, описывающих кинематические зависимости с использованием разработанного подхода к преобразованию покрывающих множеств с целью сокращения объём вычислений при обеспечении заданной точности аппроксимации.
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, с ограничением на множество допустимых значений параметров активного механизма параллельной структуры, учитывающий условие обеспечения требуемого рабочего пространства пассивного механизма последовательной структуры и исключения столкновений звеньев с учётом взаимного расположения модулей.



4. Разработан универсальный многофункциональный программный комплекс с применением параллельных вычислений, ориентированный на выполнение на современных высокопроизводительных вычислительных системах для реализации разработанных алгоритмов определения рабочей области с использованием преобразования покрывающих множеств и алгоритма оптимизации геометрических параметров гибридного механизма.

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

Значимость диссертационной работы для науки и практики заключается в развитии методов синтеза и анализа механизмов параллельной структуры (в том числе гибридных) с использованием оптимизационных алгоритмов повышенной производительности, позволяющих рационально выбирать геометрические параметры механизмов.

### **Замечания по работе**

1. На стр. 20 и 21 автором отмечены преимущества механизмов параллельной структуры над механизмами последовательной структуры, но ничего не сказано об их недостатках.
2. Автору следовало бы подробно разъяснить, в чем заключается отличие алгоритмов, указанных в п. 2.1 и п. 2.2, от алгоритма интервального анализа, описанного, в книге J.-P. Merlet (позиция 125 списка литературы), поскольку из текста диссертации можно сделать вывод, что данные алгоритмы предложены автором.
3. При анализе рабочей зоны механизмов  $\underline{RRRRR}$  и  $3\text{-RPR}$  особые положения никак не учитываются, хотя в дальнейшем при анализе пространственных механизмов «трипод» и «дельта» особые положения рассматриваются. Автор нигде не поясняет причину такого решения.
4. Исследование только объема и формы рабочей зоны, равно как и выделение конкретных точек особых положений, не всегда достаточно для проектирования реальных устройств. Изменение передаточного отношения и

жесткости механизма по рабочей зоне способно существенно снижать эксплуатационные характеристики механизма, что особенно сильно проявляется при приближении к особым положениям. Автору следовало бы упомянуть о подобных явлениях и обосновать отсутствие необходимости их учета в данной конкретной работе.

5. Автор не указывает каким именно образом проверялось условие знакопостоянства определителя матрицы  $J_A$  (стр. 69).

6. Имеется ряд замечаний, касающихся оформления работы и используемой терминологии:

- рисунок 1.12 следовало бы представить в виде простого списка;
- на стр. 39 и далее говорится о «диаметре параллелепипеда», что представляется некорректным;
- в блок-схемах на рис. 2.1, 2.3 используется английский язык;
- не совсем корректно называть матрицу  $J_A$  в формуле (2.4) матрицей Якоби механизма;
- строго говоря, рис. 3.6 не является блок-схемой, как это указано на стр. 110 при ссылке на него;
- на стр. 126 указано, что «Расчётное максимальное поперечное напряжение, которое необходимо преодолевать серводвигателю составляет 0.38 кН», при этом кН не является единицей измерения напряжения.

## **Заключение**

Диссертационная работа Малышева Дмитрия Ивановича представляет собой законченную научно-квалификационную работу, выполненную на высоком научно-методическом уровне. Диссертация посвящена решению задач анализа рабочего пространства и геометрических параметров механизмов параллельной структуры. Материалы автореферата полностью соответствует содержанию диссертации. Отмеченные замечания 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,

Ларюшкин Павел Андреевич

кандидат технических наук (05.02.13 – Машины, агрегаты и процессы (легкая промышленность)),  
доцент (05.02.02 – Машиноведение, системы приводов и детали машин)

доцент кафедры РКЗ («Основы конструирования машин»)

15.03.2022

*П. А. Ларюшкин*

Б Е Р Н О



ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана (национальный исследовательский институт)»

Адрес: 105000, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1, ауд. 312

Телефон: +7(499) 263-63-51, +7(499)263-63-37

e-mail: pav.and.lar@bmstu.ru