

## ОТЗЫВ

### официального оппонента

на диссертацию Саламандра Константина Борисовича на тему «Анализ и синтез механизмов робототехнических систем, автоматических линий и коробок передач на основе принципа многопоточности», представленную на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.02.18 – Теория механизмов и машин

**Актуальность работы.** Передача энергии от двигателя к исполнительному звену являются базовыми задачами конструирования механизмов и машин. Использование нескольких параллельных кинематических цепей в механизмах позволяет существенно увеличить жесткость, распределить нагрузки и таким образом повысить эффективность механизма. Анализ и синтезу схем механизмов параллельного многопоточного соединения ведущих и ведомых звеньев в различных механических системах машин посвящена диссертация Саламандра К.Б. Повышение эффективности, ресурсосбережение и увеличение функциональности механизмов машин имеет важное хозяйственное значение, является лейтмотивом всей диссертационной работы и определяет актуальность темы диссертации.

Диссертация направлена на разработку методов и средств анализа и синтеза новых схем многопоточных энергоэффективных механизмов, отличающихся широкой функциональностью и использованием маломощных приводов, создание новых многопоточных механизмов и проведение их испытаний.

Объектами исследования являются механизмы параллельной структуры, силовые станции автоматических линий упаковки и коробки передач транспортных средств. Несмотря на различное функциональное назначение этих механизмов, все они имеют общее свойство, заключающееся в том, что эти механизмы содержат параллельные кинематические цепи, которые всегда образуют замкнутые контуры. Применяя принцип многопоточности передачи механической энергии, заключающийся в использовании двух и более параллельных кинематических цепей, связывающих источник мощности и выходное звено, автор проводит анализ механизмов, классификацию и разрабатывает методы синтеза новых многопоточных механизмов для различных применений.

**Характеристика работы.** Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения и списка литературы. Введение содержит общую характеристику работы, обоснование актуальности темы исследования, положения, выносимые на защиту, сведения об апробации. В первой главе приведен обзор, формулируется цель и задачи работы.

Вторая глава посвящена теоретическим исследованиям многопоточных вально-планетарных коробок передач, разработке методов синтеза структурных и кинематических схем, классификации коробок и методу параметрического синтеза. В главе показана зависимость между числом параллельных потоков передачи мощности в коробке передач и числом реализуемых коробкой ступеней изменения скорости выходного вала. На основе использования принципа многопоточности разработана методика и синтезирован ряд новых кинематических схем двух- и трехпоточных вально-планетарных коробок передач с увеличенной нагрузочной способностью и диапазоном регулирования. Разработана методика решения нелинейной задачи поиска передаточных чисел внутренних механизмов коробки передач для получения ряда выходных передаточных отношений коробки, наиболее близкого к заданному. Предложен подход к синтезу коробок передач, в последовательности переключений ступеней которых задействована только одна пара элементов управления.

В третьей главе на основе развития принципа многопоточности в каждой кинематической цепи синтезирован новый механизм параллельной структуры. Приводится кинематический анализ и построение рабочих зон для поступательной и сферической частей макета механизма параллельной структуры с учетом длин промежуточных звеньев и пределов изменения обобщенных координат. Выполнен динамический анализ механизма параллельной структуры с учетом масс промежуточных звеньев и закона управления.

Четвертая глава диссертации имеет научно-практический характер и на примере реальных механизмов, используемых в современных машинах-автоматах, призвана показать зависимость между числом параллельных потоков передачи движения и энергоэффективностью. В главе рассмотрены используемые в автоматических упаковочных линиях рычажные и пневмогидравлические механизмы силовых станций. Автор приводит оригинальные схемы и конструкции четырех рычажных и двух

пневмогидравлических механизмов силовых станций в порядке увеличения технологического усилия. Выявлены свойства механизмов, в которых многопоточность передачи механической энергии достигается как одним приводом за счет разделения движений в замкнутом контуре, так и двумя приводами, каждый из которых осуществляет движение по соответствующей степени подвижности механизма. Для оценки энергоэффективности созданных механизмов автором введен критерий удельного усилия, показывающий величину реализуемого созданным механизмом технологического усилия, приходящегося на единицу затрачиваемой энергии. С помощью этого критерия на примерах разработанных механизмов продемонстрировано, что с увеличением числа потоков параллельной передачи механической энергии снижаются энергозатраты и повышается эффективность механизма.

**Научная новизна диссертационного исследования** заключается в существенном расширении класса многопоточных механизмов для автоматических линий, коробок передач и робототехнических систем, в повышении функциональных возможностей этих механизмов и создании методологии синтеза схем новых многопоточных механизмов.

**Установлены следующие новые закономерности:**

– многопоточные механические системы могут иметь регулируемое передаточное отношение не только в одной из параллельных ветвей, но и в нескольких;

– многопоточность в коробках передач позволяет уменьшить число элементов управления и расширить функциональные возможности коробок: увеличить нагрузочную способность и диапазон регулирования;

– многопоточность в каждой кинематической цепи механизма параллельной структуры обеспечивает новые свойства и функции механизма (кинематическая развязка, увеличение рабочей зоны, быстроедействие и пр.);

– для выполнения последовательных движений с разным усилием механизм должен иметь особое положение, при выходе в которое исключается одна из двух степеней подвижности механизма;

– наличие замкнутого контура позволяет разделить движение по двум степеням подвижности механизма и реализовать перемещение выходного звена с помощью одного привода с различным усилием;

– использование принципа многопоточности передачи механической энергии позволяет увеличить технологическое усилие и повысить производительность оборудования.

**Достоверность полученных результатов** диссертации подтверждается применением фундаментальных положений механики, современными средствами математического анализа и численного моделирования, использованием достоверных источников, сопоставлением результатов моделирования с экспериментом.

**Обоснованность научных положений** подтверждается публикациями в рецензируемых научных изданиях, и полученными патентами на изобретения. Количество публикаций соответствует требованиям к докторским диссертациям, установленным в п. 13 Положения о присуждении ученых степеней.

Научные положения, выводы и рекомендации прошли **апробацию** на международных и всероссийских научных конференциях и семинарах. Ряд результатов диссертации получен автором при выполнении научных исследований по договору с корпорацией General Motors (США), в ходе работ по программе фундаментальных научных исследований государственных академий наук, а также гранту Российского научного фонда.

**Практическая ценность** работы заключается в разработанных принципиально новых кинематических схемах многопоточных механизмов, отличающихся широкой функциональностью и высокой энергоэффективностью. Исследованные в работе рычажные механизмы силовых станций внедрены в автоматических линиях блистерной упаковки АЛБ 165, серийно производимых ООО фирмой «Рекупер» в России. В диссертации приведен список предприятий и организаций, эксплуатирующих автоматические линии АЛБ 165 в настоящее время, насчитывающий 61 позицию и показывающий широкую географию поставок на отечественный и зарубежный рынки. Практическую ценность работы также подтверждает 14 патентов на новые кинематические схемы многопоточных коробок передач, из которых 11 принадлежат компании General Motors.

Содержание автореферата соответствует диссертации, ее структуре и удовлетворяет пунктам Положения о присуждении ученых степеней. В автореферате изложены основные идеи и выводы диссертации, степень



новизны и практическая значимость результатов, отражен вклад автора в проведенное исследование.

По диссертации и автореферату имеются следующие **замечания**:

1. Автор для всех трех рассматриваемых в диссертации объектов исследования ограничился анализом структурных и кинематических схем механизмов, в которых не более чем три параллельных кинематических цепи. При этом в диссертации не оценивается степень усложнения механизма при увеличении числа потоков параллельной передачи механической энергии до четырех и более. Будут ли применимы разработанные автором методы и подходы для анализа замкнутых механизмов с более, чем тремя параллельными кинематическими цепями?

2. При анализе вально-планетарных коробок передач в диссертации основной упор делается на расчет передаточных чисел внутренних механизмов коробок и анализ крутящих моментов, действующих на муфты управления. При этом в диссертации не приведена оценка КПД синтезированных коробок, которая является одной из важнейших характеристик коробок передач.

3. В результате синтеза в работе получен новый механизм параллельной структуры, в каждой кинематической цепи которого имеются три параллельных карданных вала. Кроме тезиса о том, что в полученном механизме все три связи в каждой кинематической цепи одинаковые по структуре и функциональности в работе отсутствуют какие-либо качественные и количественные сравнительные оценки синтезированного механизма и известных манипуляционных механизмов параллельной структуры.

4. Автор в третьей главе анализирует динамику механизма параллельной структуры с тремя кинематическими цепями с учетом масс промежуточных звеньев. К сожалению, из текста диссертации не совсем понятна динамическая модель анализируемого механизма, принятые автором допущения и обозначения.

5. На рис. 15, а) автореферата представлена схема механизма силовой станции в исходном (раскрытом) положении и показано, что ход инструмента равен  $H = X + T$ . При этом в тексте отсутствуют пояснения величин  $X$  и  $T$ .

6. В автореферате диссертации предложение «Развитие и совершенствование многопоточных механических систем обусловлено

современными возможностями конструирования механизмов, позволяющими создавать сложные роботизированные машины или агрегаты, имеющие мехатронную структуру и содержащие один или несколько приводов, объединенных общей системой управления», приведенное на странице 3, повторяется на странице 4.


Приведенные замечания не носят принципиального характера и не снижают значимости представленной диссертации.

На основании ознакомления с содержанием диссертации, автореферата и опубликованных автором работ можно сделать следующее **заключение**: представленная диссертация представляет собой законченную научно-квалификационную работу, обладает внутренним единством, содержит новые результаты и положения, выдвигаемые для публичной защиты, и свидетельствует о личном вкладе автора в науку. В диссертации Саламандра Константина Борисовича решена научная проблема, имеющая важное хозяйственное значение.

Диссертация удовлетворяет всем требованиям Положения о присуждении ученых степеней (п. 9 – 14), которые предъявляются к диссертациям на соискание ученой степени доктора наук, а ее автор, Саламандра Константин Борисович, заслуживает присуждения ему ученой степени доктора технических наук по специальности 05.02.18 – Теория механизмов и машин.

Официальный оппонент

Директор института информационных технологий и автоматизации, заведующий кафедрой машиноведения ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна», доктор технических наук, профессор

 Марковец Алексей Владимирович  
«25» 02 2021 г.

Адрес: 191186, г. Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, д. 18

Тел.: +7 (812) 315-12-77

E-mail: [iita.dekanat@mail.ru](mailto:iita.dekanat@mail.ru)

