

В диссертационный совет Д 002.059.05 при
Федеральном государственном бюджетном
учреждении науки Институт машиноведения
им. А.А. Благонравова Российской академии
наук (ИМАШ РАН)
101000, г. Москва, Малый Харитоньевский
переулок, д. 4

ОТЗЫВ

официального оппонента д.т.н., проф. Крюкова В.А. на диссертационную работу Саламандра Константина Борисовича «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

1. Актуальность темы диссертационной работы.

Известно, что структурная схема механизма определяет все его потенциальные функциональные возможности. В большинстве случаев при построении механизмов используется последовательное соединение кинематических цепей, что позволяет обеспечить требуемое преобразование движения, но, в то же время, ограничивает возможности передачи энергии. Хорошо известным методом повышения нагрузочной способности механизма является переход к разделению передаваемой энергии на несколько параллельных потоков. Такой подход также позволяет расширить кинематические возможности механизма: обеспечить несколько режимов преобразования движения, обеспечить сложное движение выходного звена и т.д. Реализующие принцип многопоточности системы (многопоточные системы) достаточно широко распространены. Тем не менее, большое число известных схем многопоточных механизмов не всегда позволяет эффективно решать стоящие перед конструктором задачи, а особенности таких схем требуют совершенствования имеющихся и разработки новых методов их анализа и синтеза. Поэтому тема диссертации, посвященная расширению класса многопоточных механизмов за счет создания новых схем и расширения применения принципа многопоточности в известных схемах, совершенствованию известных или разработке новых методов их анализа и синтеза является актуальной.

2. Общая оценка содержания и оформления работы.

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения и списка литературы из 202 наименований. Общий объем диссертации составляет 234 страницы.

Во *введении* (стр. 4-10) автором представлена общая характеристика работы, обоснована актуальность темы диссертации, поставлены цель и сформулированы задачи диссертации, отражены научная новизна, теоретическая и практическая значимость полученных результатов. Представлены сведения об апробации работы и публикациях.

В *первой главе* (стр. 11-56) на основе определения, предложенного профессором Крайневым А.Ф., описан объем понятия «многопоточные системы», и в качестве объектов исследования выбраны три класса многопоточных систем: многопоточные комбинированные передачи с изменяемым передаточным отношением одной из ветвей; многодвигательные приводы с неподвижным соединением выходных звеньев каждой из параллельных ветвей с общим выходным звеном; многопоточные многоподвижные манипулирующие механизмы.

Представлен подробный анализ известных структурных схем манипуляционных механизмов параллельной структуры, многопоточных коробок передач транспортных средств и рычажных механизмов технологических машин, использующих принцип многопоточности.

В результате анализа многопоточных механизмов, применяемых в технологическом оборудовании и системах управления, автор приходит к выводу, что до недавнего времени наибольшее распространение имели многопоточные механизмы с разветвленными кинематическими цепями, в которых к одному двигателю присоединяются одновременно или выборочно несколько выходных звеньев, воспроизводящих независимые перемещения. В настоящее время относительно невысокая стоимость электродвигателей позволяют создавать многодвигательные приводы, в которых энергия передается параллельными кинематическими цепями общему выходному звену.

Сравнительный анализ многопоточных коробок передач транспортных средств и работ, посвященных синтезу их структурных схем, позволил выявить их достоинства и недостатки и определить направления их дальнейшего совершенствования. На основе анализа схемных решений и работ по анализу и синтезу механизмов параллельной структуры автор определяет направление дальнейшего совершенствования таких механизмов на основе принципа многопоточности – не только использование нескольких параллельных кинематических цепей, но и использование многопоточности в каждой из этих цепей.

На основе выполненного анализа формулируется цель работы и задачи, которые необходимо решить для достижения поставленной цели.

Во *второй главе* (стр. 57-125) на основе принципа многопоточности проводится обоснование и синтез структурных схем двух- и трехпоточных коробок передач, на основе которых получены кинематические схемы коробок передач. Для расчета передаточных чисел зубчатых передач по задаваемому ряду передаточных отношений передач коробки автором предложен метод параметрического синтеза. Также во второй главе представлены две кинематические схемы трехпоточных коробок передач, в которых переключе-

чения передач между соседними ступенями осуществляется одной парой элементов управления.

Получена общая формула для подсчета числа ступеней многопоточной вально-планетарной коробки передач. Получены условия отсутствия циркуляции мощности для идеальных передач (без учета потерь мощности). Изложена методика кинематического синтеза, позволяющего построить коробку передач с заданным числом ступеней и их передаточными отношениями наиболее близко приближающимися к заданным.

Приведены примеры синтеза двух- и трехпоточных 8-ми, 12-ти, 14-ти и 20-ти ступенчатых коробок передач. Выполнена проверка отсутствия циркуляции мощности в синтезированных схемах.

Третья глава (стр. 126-168) посвящена совершенствованию структурных схем многопоточных многоподвижных манипулирующих механизмов за счет распространения принципа многопоточности на отдельные параллельные кинематические цепи. Приведены варианты структурных схем механизма с шестью степенями свободы и тремя параллельными кинематическими цепями. Причем каждая кинематическая цепь также выполнена в виде многопоточной структуры. Показано, что при использовании для этого карданных валов число таких валов должно быть не менее трех. Для механизма с тремя параллельными кинематическими цепями построены рабочие зоны поступательного и вращательного перемещений выходного звена. На основе принципа Даламбера-Лагранжа получены уравнения движения, отличающиеся учетом масс промежуточных звеньев. Для конкретных значений параметров механизма проведен численный эксперимент, позволивший оценить ошибку при отработке заданного закона движения выходного звена.

В **четвертой главе** (стр. 169-209) рассматривается возможность и особенности применения принципа многопоточности для повышения энергоэффективности механизмов силовых станций автоматических линий. Приведены перспективные схемы двухпоточных механизмов с двумя двигателями. В развитие этого направления совершенствования приводов автором предложена обобщенная структурная схема группового пневмогидравлического привода силовых станций с числом параллельных потоков более двух. Эти схемы реализованы в силовых станциях автоматических линий блистерной упаковки АЛБ 210, АЛБ 165 (фирма «Рекупер», опытный образец). Линии АЛБ 165 с предложенными механизмами силовых станций внедрены более чем в 60-ти организациях и предприятиях России, Белоруссии, Украины, Узбекистана. Для сравнения энергоэффективности различных силовых станций автором предложено использовать критерий удельного усилия, представляющий собой отношение развиваемого технологического усилия к потребляемому объему воздуха одной силовой станцией за цикл. Показано, что переход к групповому пневмогидравлическому приводу позволяет значительно увеличить удельное усилие.

Каждая глава диссертации заканчивается параграфом, озаглавленным «Результаты и выводы», которые отражают основное содержание конкретной главы.

Приведенные в *заключении* (стр. 210-214) итоги выполненных работ и перспективы дальнейшей разработки темы разделены по объектам исследования и соответствуют тексту содержательной части диссертации.

Текст диссертации и автореферата написан технически грамотным языком, стиль изложения – научный и корректный, хотя по оформлению работы имеется ряд замечаний (см. ниже).

Содержание автореферата соответствует тексту диссертации и в пределах нормируемого объема автореферата достаточно полно его отражает.

Результаты работы опубликованы в 64 научных работах, достаточно полно отражающих результаты исследований: 14 публикаций в научных изданиях, входящих в перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук ВАК РФ; 14 статей в журналах, входящих в международные индексы цитирования Scopus и Web of Science; 14 патентов на изобретения России и США; 22 статьи в других изданиях. Число публикаций соответствует требованиям п. 13 «Положения о присуждении ученых степеней».

Результаты работы в период с 2010 года по 2019 год регулярно докладывались на Международных конференциях, симпозиумах и съездах в России, Белоруссии, Румынии, Корее и Латвии, что свидетельствует о широкой апробации результатов работы.

3. Обоснованность научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, их достоверность.

Обоснованность научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, обеспечивается представительным объемом анализируемой информации по различным аспектам рассматриваемой проблемы, использованием классических положений механики и математического аппарата, внедрением приводов, разработанных на основе исследований автора, в промышленность, подтверждением их работоспособности, сравнением энергоэффективности предлагаемых схем с энергоэффективностью существующих схем, многочисленными патентами в России и США.

4. Новизна научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации.

Научная новизна работы заключается в создании на основе принципа многопоточности новых механизмов и совершенствовании известных, разработке новых и совершенствовании известных методов анализа и синтеза этих механизмов с учетом особенностей, обусловленных многопоточной передачей энергии и изменением структуры механизмов во время работы.

5. Теоретическая значимость работы заключается в научном обосновании возможности расширенного применения принципа многопоточности для создания новых и совершенствования известных механизмов с улучшенными функциональными свойствами.

6. Практическая значимость работы заключается в разработке на основе проведенных исследований:

- ряда многопоточных вально-планетарных коробок передач, с увеличенными нагрузочной способностью и диапазоном передаточных отношений;

- нового механизма параллельной структуры, отличающегося от прототипа использованием принципа многопоточности в каждой из существующих параллельных кинематических цепей;

- механизмов силовых станций автоматических линий, реализующих принцип многопоточности, что обеспечивает повышение энергоэффективности и развиваемого технологического усилия.

Практическая значимость работы подтверждается полученными патентами на изобретения и широким внедрением в промышленности.

7. Основные замечания по диссертации и автореферату.

1. В качестве одной из целей работы автор ставит «развитие классификации многопоточных систем». «Классификация является разновидностью деления понятия, представляет собой вид последовательного деления и образует развернутую систему, в которой каждый её член (вид) делится на подвиды и т.д.» [Философия математики и технических наук / Под общ. ред проф. С.А. Лебедева М.: Академический проект, 2006. – 779 с.]. При этом связи между понятиями рекомендуется представлять либо в виде пронумерованного и структурированного перечня, либо графического изображения [ГОСТ Р ИСО 704-2010]. Такое представление в диссертации в законченном виде отсутствует. Новые члены деления понятия «многопоточные системы» разбросаны по отдельным главам диссертации, что значительно затрудняет представление о всей системе классификации. На мой взгляд, в данном случае правильнее вести речь не о классификации, а о расширении класса «многопоточных систем» за счет создания их новых подвидов (новых механизмов).

2. Не совпадает формулировка цели на стр. 5 и стр. 55 диссертации.

3. При решении задачи динамического анализа механизма параллельной структуры (стр. 150) отсутствует четкая постановка задачи: нет расчетной схемы, не приведены используемые допущения, часть обозначений в уравнениях не расшифрована.

4. Формулы, приведенные на стр. 144 справедливы, только если $OP=1$. Указание на это в диссертации отсутствует.

5. Отсутствует обоснование уравнений на стр. 164. Не объяснен выбор значений коэффициентов k_1, k_2 .

6. На стр. 69 автор утверждает, что зависимость, представленная в справочнике профессоров Кудрявцева В.Н. и Кирдяшева Ю.Н., является идеальной и не всегда выполняется на практике. Непонятно, какой смысл автор вкладывает в понятие «идеальная зависимость» и не проанализированы причины невыполнения этой зависимости.

7. Не указано, каким методом решалась задача оптимизации – стр. 79-80, уравнения (2.4.1), (2.4.2).

8. Вывод 2.6 на стр. 212 является тривиальным и не обоснованным. Представленную соискателем задачу можно также эффективно решать с помощью других принципов и уравнений аналитической механики. Заслуга соискателя в данном случае заключается в уточнении решения уравнений динамики механизма параллельной структуры за счет учета масс промежуточных звеньев.

9. Имеется ряд редакторских замечаний:

- в списке литературы имеются отступления от действующих стандартов;

- имеются отступления от требований действующих стандартов при изображении структурных схем;

- неудачно представлены схемы на рис. 2.1.1 (не указана часть элементов управления);

- нестандартная нумерация формул на стр. 85. Автор использует как арабские, так и римские цифры, что затрудняет чтение диссертации;

- на ряде схем отсутствуют обозначения позиций, например, на рис. 2.4.1, 2.5.1, 2.6.1, 3.1.1 и др.

- на стр. 131 автор использует термин «гипотетическая кинематическая пара», не объясняя его;

- на стр. 141 автор говорит о решении обратной задачи кинематики манипуляторов. В действительности здесь решается прямая задача;

- на стр. 145 автор использует обозначение функции тангенс, принятое в англоязычной литературе – \tan , в отличие от общепринятого – tg ;

- в названии работы, первой главе и выводах автор использует термины «робототехнические системы», «манипуляционные робототехнические системы параллельной структуры», а в третьей главе используется термин «механизмы параллельной структуры». Данные термины обозначают разные объекты.

Приведенные замечания и высказанные соображения не влияют на общую положительную оценку диссертационной работы и могут быть учтены автором при проведении дальнейших исследований.

8. Заключение.

Диссертация Саламандра К.Б. «Анализ и синтез механизмов робототехнических систем, автоматических линий и коробок передач на основе принципа многопоточности», представленная на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.02.18 – Теория механизмов и

машин, является законченной научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором исследований изложены новые научно обоснованные технические решения, внедрение которых вносит значительный вклад в развитие страны.

Диссертация соответствует паспорту специальности: п. 2 «Синтез (в том числе автоматизированное проектирование) структурных и кинематических схем механизмов и обобщенных структурных схем машин, оптимизация параметров» и требованиям Положения о порядке присуждения ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842 (ред. от 02.08.2016): п. 9-11, 13-14.

Принимая во внимание вышеизложенное, достоинства и отмеченные недостатки диссертации, считаю, что представленная диссертация соответствует требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени доктора технических наук, а её автор, Саламандра Константин Борисович, заслуживает присуждения ему ученой степени доктора технических наук по специальности 05.02.18 – Теория механизмов и машин.

Официальный оппонент,
доктор технических наук,
профессор, профессор кафедры
«Проектирование механизмов и деталей машин»
ФГБОУ ВО «Тульский государственный университет»

В.А. Крюков

15.02.2021 г.



Крюков Владимир Алексеевич, профессор кафедры «Проектирование механизмов и деталей машин» ФГБОУ ВО «Тульский государственный университет», доктор технических наук (специальности 05.02.09 – Технологии и машины обработки давлением; 05.02.18 – Теория механизмов и машин), профессор по кафедре проектирования механизмов и деталей машин.

Адрес: 300012, г. Тула, пр. Ленина, 92.

Телефон: 8-(4872)-25-46-39.

Электронная почта: pmdm@tsu.tula.ru