

ОТЗЫВ

**официального оппонента на диссертационную работу
Кругловой Татьяны Николаевны «МЕТОДОЛОГИЯ ОЦЕНКИ
ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ СИСТЕМ ПРИВОДОВ МАШИН И
МЕХАНИЗМОВ ПАРАЛЛЕЛЬНОЙ КИНЕМАТИЧЕСКОЙ
СТРУКТУРЫ», представленную на соискание ученой степени доктора
технических наук по специальности 2.5.2 – Машиноведение (технические
науки)**

Диссертационная работа посвящена исследованию систем приводов машин и механизмов с несколькими одновременно работающими кинематически связанными приводами и разработке методов оценки их технического состояния с возможностью коррекции режимов работы приводов при возникновении неисправностей в отдельных приводах.

Актуальность темы диссертационной работы. Применение механизмов параллельной структуры в последнее время стало увеличиваться в различных отраслях машиностроения, промышленности, сельском хозяйстве, медицине и манипуляционных системах различного назначения. Востребованность механизмов с таким структурным строением существует в различных отраслях экономики, особенно такие механизмы эффективны в испытательных и измерительных системах, сложных тренажерах, механизмах позиционирования. Наряду с достоинствами, такими как повышенная жесткость конструкции, высокая точность позиционирования, высокие динамические характеристики, в механизмах параллельной структуры существует кинематическая взаимосвязь исполнительных приводов, что частично усложняет системы управления вследствие необходимости обеспечения одновременного движения нескольких приводов. В случае выхода из строя одного из приводов, такие механизмы теряют возможность перемещения выходного звена по нескольким степеням свободы, либо вообще обездвиживаются. Поэтому актуальными остаются вопросы прогнозирования технического состояния исполнительных приводов механизмов параллельной структуры и механизмов с несколькими одновременно работающими приводами. Причем, наиболее важным является не только оценить техническое состояние приводов механизмов и машин, но и скорректировать режимы

работы исполнительных приводов при появлении неисправностей в них. На решение этой актуальной проблемы и направлена диссертация Кругловой Т.Н.

Научная новизна исследования и научных результатов заключается на мой взгляд в следующем:

- Сформулирован принцип выбора режима эксплуатации механизмов с несколькими одновременно работающими приводами, учитывающий техническое состояние и нагруженность исполнительных приводов;
- Разработана киберфизическая система оценки технического состояния приводов механизмов параллельной структуры в режиме реального времени;
- Установлена закономерная взаимосвязь коэффициентов вейвлет-преобразования сигналов тока и/или вибрации различных исполнительных приводов с их техническим состоянием, на основе которой предложен метод оценки технического состояния, реализующий поиск прогнозирования отказа системы приводов;
- Разработан метод синтеза отказоустойчивых систем приводов, отличающийся определением текущей и дополнительной нагрузок на исполнительные приводы и выбором режима их дальнейшей эксплуатации с учетом критериев оптимизации с применением методов искусственного интеллекта;
- Усовершенствован метод программного управления приводами механизмов в зависимости от нагрузки на них и их технического состояния;
- Разработаны принципы структурирования киберфизических систем оценки технического состояния исполнительных приводов с возможностью принятия решения по выбору режима эксплуатации механизмов для реализации заданного технологического процесса в зависимости от фактического и прогнозного состояния систем исполнительных приводов.

Новизна технических решений подтверждается четырьмя патентами на изобретения и полезную модель РФ.

Теоретическая значимость полученных результатов заключается в разработке методологии оценки технического состояния систем приводов механизмов параллельной структуры как совокупности методов, основанных на киберфизических подходах, обеспечивающих выбор режима эксплуатации с учетом технического состояния, текущей и дополнительной нагрузки на приводы системы, позволяющий скорректировать режим работы механизма и выполнить заданный закон управления при частичном отказе системы приводов.

Практическая значимость полученных результатов состоит в повышении эффективности функционирования систем приводов кинематически избыточных механизмов в процессе эксплуатации без применения сложных громоздких вычислительных средств в режиме реального времени, повышения коэффициента технического использования оборудования на основе механизмов параллельной структуры на 16 %, исключения аварийных остановок технологического процесса.

Степень обоснованности и достоверности научных положений, выводов.

Достоверность и обоснованность полученных результатов обеспечивалась обоснованными допущениями, использованием апробированных методик исследований, а также подтверждена достаточной сходимостью результатов теоретического и экспериментального исследований.

Поставленные в диссертационной работе задачи позволили достичь заявленную цель. Все поставленные задачи последовательно решены в главах диссертации,

Полученные результаты и выводы не противоречат основным положениям аналитической геометрии, теоретической механики, теории механизмов и машин, математической статистики, теории надежности машин. При решении поставленных задач использовались современные научные достижения кинематического и динамического анализа механизмов, методы исследования и оценки технического состояния объектов машиностроения,

методы создания машин и механизмов на основе киберфизических принципов, а также методы математического анализа, математического моделирования и экспериментальных исследований.

Автором работы применялись современные методы объектно-ориентированного программирования на языке C, на базе программных комплексов Matlab, использовались современные методы нейросетевого программирования на основе нечеткой логики. Экспериментальные исследования, регистрация и обработка данных выполнены на аттестованном испытательном, контрольно-измерительном и информационно-технологическом оборудовании с использованием лицензированных аппаратно-программных комплексов.

Работа прошла достаточно широкую **апробацию**, результаты исследований обсуждались на научных конференциях различного уровня, как в нашей стране, так и за рубежом.

Анализ содержания диссертации

Диссертационная работа содержит введение, семь глав основного материала и заключение общим объемом 254 страницы и список литературы на 42 страницах. В конце диссертации приведены приложения.

Во введении представлены аргументы, обосновывающие актуальность темы работы, заявлена цель и перечислены задачи и методы исследования, определен объект исследования. Представлена степень разработанности исследуемого научного направления и отмечен вклад в исследования механизмов параллельной структуры отечественных и иностранных учёных в части кинематики, динами, программного управления приводами, а также методов оценки технического состояния приводов. Сформулированы положения научной новизны, положения, выносимые на защиту, и информация, касающаяся апробации работы.

В первой главе «Области применения и существующие методы оценки технического состояния систем приводов механизмов параллельной кинематической структуры» рассмотрены основные сферы применения

механизмов параллельной структуры и механизмы с несколькими одновременно работающими приводами, выполнен анализ существующих методов оценки технического состояния систем электромеханических и гидравлических приводов.

В главе представлен анализ научных работ российских и зарубежных ученых по теме диссертационной работы. В конце главы сформулирована цель и задачи исследования.

Вторая глава «Динамический анализ и принципы выбора режима эксплуатации механизмов параллельной кинематической структуры при частичном отказе их исполнительных приводов» посвящена теоретическому исследованию и построению динамических моделей двух различных структурных схем механизмов параллельной структуры на примере нескольких частных случаев движения выходного звена – платформы для подъема груза. Уравнения динамики построены на основе уравнений Лагранжа 2 рода.

Также в данной главе сформулированы принципы выбора режима эксплуатации механизмов параллельной структуры при частичном отказе систем приводов. Обосновано введение интегрального коэффициента, корректирующего статическую составляющую управляющей силы.

Глава 3 «Принципы построения систем оценки технического состояния приводов машин и механизмов параллельной кинематической структуры» посвящена обоснованию и разработке киберфизических систем оценки технического состояния исполнительных приводов механизмов параллельной структуры. Сформулированы требования, предъявляемые к таким системам, в разделе 3.2. показаны принципы построения киберфизической системы оценки технического состояния, а в разделе 3.3 – принципы оценки технического состояния исполнительных приводов машин на основе механизмов параллельной структуры. В главе рассмотрен синтез отказоустойчивых систем приводов механизмов, а также предложена структура информационной части систем оценки технического состояния приводов машин на основе анализа сигналов тока и вибрации на основе программных средств с применением

эвристических подходов, реализуемых с помощью алгоритмов на базе искусственного интеллекта.

Глава 4 «Метод оценки технического состояния приводов механизмов параллельной кинематической структуры» - одна из обширных глав, в которой рассмотрены принципы моделирования технического состояния приводов механизмов параллельной структуры, предложен метод оценки текущего технического состояния приводов механизмов на основе сигналов токов и вибрации исследованием вейвлет-коэффициентов, связанных с конкретными неисправностями приводов. В главе представлено описание экспериментальной установки для исследования электрических приводов при различной нагрузке по параметру тока, представлены результаты экспериментальных исследований. В главе проведены исследования исполнительных приводов с искусственно создаваемой неисправностью и исследования вибрации приводов. В главе 4 приведен значительный графический материал по результатам экспериментальных исследований. Также представлены результаты экспериментальных исследований гидравлических приводов по вибрации. В разделе 4.3. разработана модель оценки текущего состояния систем приводов механизмов параллельной структуры. Приведены разработанные метод и алгоритм оценки текущего состояния исполнительных приводов и принципы прогнозирования их технического состояния на основе нейросетевых алгоритмов. Таким образом, в разделе 4 получены модель и метод прогнозирования технического состояния исполнительных приводов механизмов параллельной структуры.

В главе 5 «Метод синтеза отказоустойчивых машин и механизмов параллельной кинематической структуры» выполнен анализ способов повышения надежности МПС, показана целесообразность применения нагрузочного резервирования систем приводов. Сформулированы критерии выбора режима эксплуатации МПС, учитывающие граничные условия надежности, статической устойчивости, нагрузки и управляемости системы, Разработаны модели оценки текущей и дополнительной нагрузок при

частичном отказе системы приводов механизма, а также модель принятия решения по выбору режима эксплуатации механизмов параллельной структуры с частичным отказом систем приводов. Приведен разработанный метод синтеза отказоустойчивых систем приводов, объединяющий модели расчета текущей и дополнительной нагрузок с моделью интеллектуального принятия решения и оптимизации режима эксплуатации механизмов на основе нечеткой логики. В главе представлены алгоритмы принятия решения по результатам диагностирования и прогнозирования технического состояния с учетом кинематической структуры, граничных условий, перераспределения нагрузок на приводы с помощью моделей принятия решения.

Глава 6 «Принципы структурирования киберфизических систем оценки технического состояния систем приводов машин и механизмов параллельной кинематической структуры» посвящена разработке киберфизической системы оценки технического состояния приводов механизмов параллельной структуры. Предложена структура отказоустойчивой системы приводов механизмов параллельной структуры, которая позволяет выбрать допустимый режим эксплуатации на основе результатов диагностирования, прогнозирования и расчета текущей нагрузки, с учетом граничных условий управляемости, надежности и устойчивости механизма. Разработана структура интеллектуальной системы управления механизмами с возможностью реализации заданного технологического процесса при частичном отказе в системе приводов. Предложена двухуровневая архитектура киберфизической системы оценки технического состояния отказоустойчивых систем приводов механизмов параллельной структуры.

В главе 7 «Экспериментальные исследования моделей и методов оценки технического состояния и синтеза отказоустойчивых приводов механизмов параллельной кинематической структуры» представлены результаты экспериментальных исследований. Произведен расчет текущей и дополнительной нагрузок на сервопривод, экспериментально осуществлено перераспределение нагрузки при отказе части сервоприводов группы,

Показано, что выбранный режим эксплуатации механизма параллельной структуры не приводит к динамическим перегрузкам сервоприводов и их преждевременному отказу, а следовательно, может быть использован на практике. Проведены исследования надежности системы приводов с резервированием по нагрузке.

Исследования системы управления звеньями механизма параллельной структуры при частичном отказе системы приводов показали, что введенная корректирующая функция обеспечивает заданную скорость перемещения при изменении внешней нагрузки на сервоприводы. Предложены рекомендации по проектированию отказоустойчивых систем приводов механизмов параллельной структуры с учетом текущего и прогнозного технического состояния, учитывающие тип исполнительного привода и кинематическую структуру механизма. Приведены варианты архитектуры уровней киберфизической системы оценки технического состояния, которые позволяют реализовать местное и дистанционное управление механизмом.

Заключение по работе отражает суть и содержание выполненной работы. Приведены результаты внедрения в производство и сформулированы перспективы дальнейшего развития тематики данного научного исследования.

Список литературы по теме диссертации обширен, включает в себя 304 источника. В список включены патенты, книги, научные статьи, авторефераты диссертаций практически всех современных научных работ по теме исследования, что свидетельствует о глубокой проработке автором научной и технической литературы.

Соответствие содержания автореферата диссертации

Автореферат в полной мере отражает основные положения диссертации и выводы по результатам исследований. Объем и структура автореферата соответствует предъявляемым требованиям согласно ГОСТ Р 7.0.11-2011.

Замечания по работе

1. На стр.30 раздела 1.2 (первый абзац) написано: «...перемещение стоек платформы». Так же, на стр.47 главы 2 (второй абзац) указано

«...стойками регулируемой длины,...., имеющим две и более степени подвижности». В теории механизмов и машин стойкой принято называть неподвижное звено, если звено подвижное, то следовало бы его назвать по-другому.

2. На стр.47 в разделе 2.1 несколько раз приводится понятие «независимые кинематические цепи», однако для приведенного на рис.2.1 механизма параллельной структуры все приводы кинематически взаимосвязаны и по отдельности не могут работать.

3. На стр.49 в разделе 2.1 непонятно, почему применяются разные индексы, обозначающие номера точек крепления i и j . По такой логике стержень 1 может крепиться к платформе в точке 4, к примеру. А судя по схеме механизма на рис.2.1. стержни могут нумероваться только A_1B_1 , A_2B_2 и т.д.

4. Не совсем ясен подход к определению геометрических взаимосвязей в механизме параллельной структуры через сечения механизма (стр.50-53). Намного проще было бы использовать уравнения связей, выраженные через обобщенные координаты $l_1, l_2 \dots l_6$. К тому же на стр.53 автор утверждает, что положение платформы «описывается двумя обобщенными координатами h и φ », но на самом деле параметры h и φ зависят от обобщенных координат $l_1, l_2 \dots l_6$, а положение платформы в пространстве описывается как минимум тремя координатами.

5. На стр.57, 3-й абзац некорректно назван угол α_i – «угол наклона кинематической цепи к вертикали», правильно было бы назвать угол между звеном и вертикалью.

6. На стр.96 раздела 4.1 приводится частота вращения сервопривода в 3 об/с, а на стр.215 указано, что экспериментальные исследования проводились при частоте вращения 5 об/с, не ясно почему такое отличие значений при теоретических и экспериментальных исследованиях, и как тогда сопоставлялись результаты исследований.

7. В разделе 4.2.4 представлены экспериментальные исследования аксиально-поршневого насоса, хотя видится логичным бы исследование

гидроцилиндров, как непосредственного исполнительного привода, тем более, что техническое состояние уплотнений влияет на равномерность движения, колебания штока и развиваемое усилие.

8. В работе не указано, чем обоснована линейная аппроксимация (рис.4.26, стр.122 и рис.4.27, стр.123) пиков колебаний, а именно на участке от 0 до 1 с на рис.4.26, а, от 0 до 5 с на рис.4.26, б и на участке от 0 до 0,5 с на рис.4.26, в. Общеизвестно, что колебания затухают по экспоненциальной зависимости, но никак не линейно.

9. В диссертации не приведено, каким образом определялось и по каким критериям критическое значение $n_{кр}$ одновременно работающих приводов, а именно не приведены численные значения этого критерия.

10. Не совсем ясно, почему в табл.5.2 на стр.161 рассматриваются 12 одновременно работающих приводов, ведь до этого рассматривались механизмы с 6-ю приводами. Поэтому логичнее бы сделать расчеты именно для 6-ти приводов, соответственно и нагрузочную диаграмму на рис.5.14 затруднительно применить для механизмов параллельной структуры в 6-ю приводами.

11. На стр.233 автор указывает, что с учётом перераспределения нагрузки напряжение питания электродвигателей составляет 62 и 69,3 В при номинальном в 48В, а это соответственно на 22,6 и 30,7% больше. При таких режимах работы двигатель подвержен перегреву, а соответственно и большой вероятности выхода его из строя.

Заключение

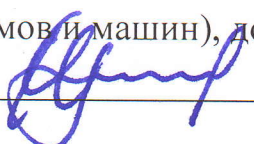
Перечисленные выше замечания не ставят под сомнение научную новизну проведенных исследований, достоверность полученных результатов и сформулированных выводов, а соответственно не влияют на общую оценку работы, которая является законченным исследованием, направленным на решение крупной научной проблемы оценки технического состояния исполнительных приводов машин с несколькими, кинематически связанными

одновременно работающими приводами. Изложенные в работе теоретические положения и научно-обоснованные решения можно расценивать как решение научной проблемы, вносящей значительный вклад в развитие машиностроения.

Результаты диссертационной работы Кругловой Т.Н. содержат научную новизну и представляют существенный практический интерес для экономики страны. По своему содержанию, научной новизне и практической ценности работа удовлетворяет критериям п.9-11 и 13-14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 года №842, которые предъявляются к диссертациям на соискание ученой степени доктора наук, а ее автор, Круглова Татьяна Николаевна, заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 2.5.2 – Машиноведение.

Официальный оппонент:

Проректор по учебной работе, доктор технических наук
(05.02.18 - Теория механизмов и машин), доцент

 Несмиянов Иван Алексеевич

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Волгоградский государственный аграрный университет" Министерства науки и высшего образования РФ

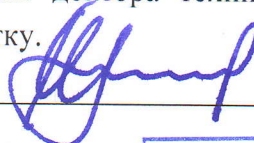
Адрес: 400002, г.Волгоград, пр. Университетский, 26

Телефон/факс: (8442) 41-10-94

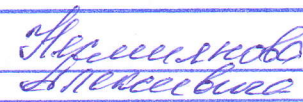
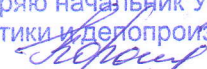
E-mail: ivan_nesmiyanov@mail.ru

07 июня 2024 г

Выражаю свое согласие на включение своих персональных данных в аттестационные документы соискателя ученой степени доктора технических наук Кругловой Татьяны Николаевны и их дальнейшую обработку.

 Несмиянов Иван Алексеевич



Подпись(и)	
Завещаю начальник Управления кадровой политики и делопроизводства	
	Е.Ю. Коротич

Н.Об. 2024