

В диссертационный совет 24.2.281.03  
при ФГБОУ ВО «Владимирском  
государственном университете  
имени Александра Григорьевича  
и Николая Григорьевича  
Столетовых «ВлГУ» »

## ОТЗЫВ

официального оппонента, доктора технических наук, доцента, **Гринчара Николая Григорьевича** на диссертационную работу **Кругловой Татьяны Николаевны** на тему «**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)

### *Актуальность темы диссертационного исследования*

Развитие машиностроения, автомобилестроения, приборостроения, медицины, строительства, сельского хозяйства и многих других отраслей промышленности невозможно без внедрения новой высокотехнологичной техники, обладающей повышенной точностью, грузоподъемностью, маневренностью и конструктивная гибкостью при меньших массогабаритных параметрах и стоимости. Большинство машин и механизмов, удовлетворяющих данным требованиям, имеют параллельную кинематическую структуру, в которой система взаимосвязанных электрических или гидравлических приводов, совместно перемещающих общую платформу или инструмент. Основным условием корректного функционирования механизмов данного класса является согласованная работа всех исполнительных приводов, что накладывает повышенные требования к их эксплуатационной надежности. Частичный отказ одного или нескольких элементов в общей системе приводов неизбежно приведет к выходу из строя всего механизма и нанести существенный экономический ущерб предприятию. Поэтому повышение эффективности функционирования систем приводов механизмов параллельной кинематической структуры весьма актуально.

Для решения данной проблемы в диссертационной работе Кругловой Т.Н. предложено использовать систему мониторинга, встроенную в исполнительные приводы. К функциям данной системы относится измерение и анализ диагностической информации в режиме реального времени, определение текущего и прогнозного технического состояния, поиск возникших дефектов и коррекция режима эксплуатации параллельных механизмов. Для этого автор предлагает применение киберфизического подхода, предусматривающего интеграцию вычислительных ресурсов и физических процессов с целью постоянного обмена информацией об эксплуатационных параметрах механизма для последующей



самонастройки и адаптации к изменению технического состояния систем исполнительных приводов и последующей коррекции режима эксплуатации параллельного механизма, что весьма актуально и имеет важное хозяйственное значение.

### ***Степень обоснованности и достоверности научных положений, выводов, сформулированных в диссертационной работе***

Обоснованность и достоверность основных теоретических положений, результатов расчетов и экспериментальных данных, выводов и рекомендаций, представленных в диссертационном исследовании Кругловой Т.Н. обоснована корректным использованием теории надежности и диагностики технических систем, интеллектуального анализа данных и оптимизации, проведением экспериментальных исследований на стендах и опытных образцах в лабораторных и производственных условиях, а также на обширной апробацией и обсуждении результатов исследований на национальных, всероссийских и международных конференциях и семинарах, подтверждена экспертизой научных статей в ведущих российских и международных изданиях.

Теория построена на известных, проверяемых данных, согласуется с ранее опубликованными экспериментальными данными по теме диссертации. Материалы диссертационной работы в достаточной мере апробированы на конференциях различного уровня.

### ***Научная новизна исследований и полученных результатов***

При решении сформулированной в диссертационной работе научной задачи и в процессе достижения поставленной цели диссертантом получены новые научные результаты:

- сформулированы принципы выбора режима эксплуатации параллельных механизмов, отличающиеся введением в расчетные выражения управляющих сил интегральных коэффициентов, учитывающих техническое состояние, текущие и дополнительные нагрузки на приводы системы;
- предложена и запатентована архитектура системы оценки технического состояния механизма параллельной кинематической структуры, отличающаяся киберфизическим принципом построения на основе установленной взаимосвязи пяти уровней реализации функциональной структуры средств;
- предложен и запатентован метод оценки технического состояния, реализующий поиск неисправностей и прогнозирования отказа системы приводов параллельных механизмов в режиме реального времени, отличающийся использованием установленной закономерной взаимосвязи коэффициентов вейвлет-преобразования сигналов тока и/или вибрации различных исполнительных приводов с техническим состоянием приводов;



- разработан метод проектирования отказоустойчивых механизмов параллельной кинематической структуры, отличающийся учетом граничных условий статической устойчивости, управляемости, режима нагружения и технического состояния систем исполнительных 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 управления параллельным механизмом, отличающийся учетом технического состояния исполнительных приводов для выполнения заданного закона управления механизмом при изменении внешней нагрузки на приводы системы;
- предложены принципы структурирования киберфизических систем оценки технического состояния исполнительных приводов, отличающиеся наличием двух функциональных уровней, реализующих сбор, обработку и хранение диагностической информации, а также принятие решения по выбору режима эксплуатации механизма в зависимости от фактического и прогнозного состояния систем исполнительных приводов.

### ***Теоретическая значимость работы***

Автором разработана методология оценки технического состояния систем приводов параллельного механизма, предусматривающая выбор режима их эксплуатации с учетом технического состояния, текущей и дополнительной нагрузки на приводы системы, позволяющий по результатам оценки текущего и прогнозного технического состояния, определения текущей и дополнительной нагрузок при частичном отказе системы приводов скорректировать режим эксплуатации механизма и выполнить заданный закон управления при частичном отказе системы приводов для обеспечения заданного закона движения механизма.

### ***Практическая значимость работы***

В диссертации решена важная для развития отечественного машиностроения проблема, направленная на разработку методологии оценки технического состояния с целью повышения эффективности функционирования, совершенствования существующих и создания новых более долговечных и экономичных механизмов параллельной кинематической структуры. Предложенная методология позволяет определить техническое состояние систем приводов в процессе эксплуатации механизма, текущую и дополнительную нагрузку на исполнительные приводы системы и принять решение о целесообразности изменения режима эксплуатации оборудования, выполнить перераспределение нагрузок, скорректировать значения управляющих сил и скорость движения



звеньев при частичном отказе системы приводов параллельного механизма, повысить коэффициент технического использования оборудования на 16 % и избежать аварийных остановок технологического процесса.

Практическая значимость подтверждена патентами на изобретения и полезные модели №139162, №112405, №2289802, № 2799489.

Результаты диссертационного исследования использованы при выполнении четырех научно-исследовательских работ, а также приняты к практическому использованию следующими предприятиями и организациями: ООО «ПК Новочеркасский электровозостроительный завод» (г. Новочеркасск), ООО Проектно-техническое бюро «Волгоградгражданстрой» (г. Волгоград), ООО «Ассоциация Экотехмониторинг» (г. Волгоград), ООО "Аграрум-техника" (г. Ростов-на-Дону), ООО фирма «Пластик Энтерпрайз» (г. Новочеркасск), а также ЮРГПУ (НПИ) имени М. И. Платова в учебном процессе для студентов, обучающихся по направлениям подготовки 15.03.06 и 15.04.06 «Мехатроника и робототехника».

### *Общая характеристика диссертации и автореферата диссертации*

Представленный текст диссертации является законченной, самостоятельно выполненной научно-квалификационной работой, соответствующей по поставленным целям, задачам исследований и содержанию паспорту научной специальности 2.5.2 – Машиноведение.

Работа состоит из введения, 7 глав, заключения, списка литературы и 2 приложений, содержит 149 рисунков и 40 таблиц. Объем основного текста диссертации 296 страниц.

В первой главе рассмотрены основные сферы применения параллельных механизмов и выполнен критический анализ существующих методов оценки текущего и прогнозного технического состояния их систем приводов, сформулированы цели и задачи дальнейших исследований.

Во второй главе приведены уравнения динамики гексаподов различной кинематической структуры, описывающие взаимосвязь управляющих сил и обобщенных координат платформы (угол и высота платформы). Сформулированы принципы выбора режима эксплуатации механизмов параллельной кинематической структуры при частичном отказе в системе приводов (п. 1. научной новизны)

В третьей главе обоснована предложенная архитектура системы оценки технического состояния механизмов параллельной кинематической структуры в режиме реального времени, реализующей сбор и обработку диагностической информации методами и средствами искусственного интеллекта, отличается киберфизическим принципом построения на основе установленной взаимосвязи пяти уровней реализации функциональной структуры средств (п. 2. научной новизны, патенты №139162, №112405, №2289802).

В четвертой главе установлена закономерная взаимосвязь, позволяющая по результатам вейвлет - разложения сигналов тока и/или вибра-



ции привода определить техническое состояние и внешнюю нагрузку на приводы системы и предложены методы оценки текущего и прогнозного технического состояния приводов параллельных механизмов (п. 3. научной новизны, патент № 2799489)

Пятая глава посвящена разработке метода проектирования отказоустойчивых параллельных механизмов, учитывающего граничные условия статической устойчивости (п. 4 научной новизны), управляемости, режима нагружения и технического состояния систем исполнительных приводов (п. 5 научной новизны), а также метода управления механизмом с учетом технического состояния исполнительных приводов для выполнения заданного закона управления механизмом при изменении внешней нагрузки на приводы системы (п. 6 научной новизны).

В шестой главе разработаны принципы структурирования систем оценки технического состояния приводов параллельных механизмов, обеспечивающие измерение текущих значений тока и/или вибрации и их анализ с помощью предложенных методов оценки технического состояния (п. 7 научной новизны).

В седьмой главе описана серия экспериментов, подтвердившая работоспособность и адекватность предложенной методологии оценки технического состояния, рассмотрены вопросы эффективности и достоверности методологии оценки технического состояния. Установлено, что применение предложенной методологии предоставляет повышает коэффициент технического использования оборудования на 16 %. Достоверность диагностирования по току и вибрации – не менее 93 %. Погрешность краткосрочного прогнозирования составляет 1,7 %, долгосрочного прогнозирования – не превышает 10 %. Точность прогнозирования может быть повышена с помощью увеличения объема обучающей выборки за счет добавления текущих значений диагностических параметров.

Предложены рекомендации по проектированию отказоустойчивых систем приводов механизмов параллельной кинематической структуры с учетом текущего и прогнозного технического состояния, учитывающие тип исполнительного привода и кинематическую структуру механизма.

В заключении диссертации приведены десять основных результатов выполнения диссертационной работы, полностью раскрытых в основном тексте диссертации.

Список литературы содержит 304 источника, включая 127 работ автора. На каждую работу имеется ссылка в тексте диссертации.

В приложениях представлены программные модули киберфизической системы оценки технического состояния, а также акты внедрения результатов диссертационной работы.

Содержание автореферата полностью соответствует содержанию диссертационной работы и отражает основные результаты, полученные в процессе её выполнения.



Материалы диссертационной работы в достаточной мере апробированы. Статьи, опубликованные в журналах, входящих в перечень, рекомендованный ВАК, полностью отражают основное содержание диссертационных исследований. В диссертации имеются ссылки на источники заимствования материалов или отдельных результатов. Имеются ссылки на результаты научных работ, выполненных соискателем.

### *Замечания по содержанию диссертации*

1. В главе 1 недостаточно подробно описаны методы диагностирования элементов сервоприводов. Основное внимание уделяется методам функционального диагностирования, при этом тестовое диагностирование упоминается вскользь.

2. Необходимо пояснить почему к принципам выбора режима эксплуатации (стр. 67) относится определение текущего и прогнозного технического состояния, количество и взаимное расположение исправных приводов механизма параллельной кинематической структуры, а также уровень внешней нагрузки?

3. Из текста диссертации (п. 3.2 стр. 75) непонятно, чем отличается структура и архитектура киберфизической системы. Зачем нужно именно пять уровней в архитектуре?

4. Требуется дополнительное пояснения, в каком случае невозможна перенастройка режима эксплуатации механизма параллельной кинематической структуры?

5. Почему при разработке методов оценки технического состояния использованы только параметры тока и/или вибрации привода? При этом есть другие методы, в том числе многопараметрического диагностирования, использующие параметры вибрации, температуры и т.д. Почему автор не использовал данные методы анализа?

6. Из описания поискового эксперимента, приведенного в главе 4, не понятно, в каком случае необходимо измерять емкостный ток, а в каком питающий?

7. Из текста диссертации не понятно, почему при разработке метода синтеза отказоустойчивых систем приводов механизмов параллельной кинематической структуры разрабатываются модели и методы расчета текущей и дополнительной нагрузки на приводы, а также выбирается режим эксплуатации системы приводов механизмов параллельной кинематической структуры. Какое отношение данные модели и методы имеют к отказоустойчивости?

**Заключение о соответствии диссертации критериям, установленным ВАК Минобрнауки России для докторских диссертаций**

Представленная к защите диссертационная работа Кругловой Татьяны Николаевны на тему «Методология оценки технического состояния систем приводов машин и механизмов параллельной кинематической структуры» является законченной научно-квалификационной работой, в которой изложено решение важной для развития отечественного машиностроения научно-технической проблемы совершенствования систем приводов механизмов параллельной кинематической структуры, связанной с разработкой, созданием и внедрением в промышленности методологии оценки их технического состояния.

Внедрение результатов работы в производство позволило получить годовой экономический эффект от 0,9 до 1,5 млн. рублей для каждого предприятия за счёт повышения экономичности и долговечности эксплуатации системы приводов. Наряду с этим снизились затраты времени на поиск и устранение неисправности на 20%.

Диссертационная работа соответствует критериям Положения о присуждении ученых степеней (п.п. 9-11, 13-14), а её автор – Круглова Татьяна Николаевна заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 2.5.2 – Машиноведение.

**Официальный оппонент:**

Профессор кафедры «Наземные транспортно-технологические средства» федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Российский университет транспорта», доктор технических наук

Гринчар  
Николай Григорьевич

(специальность 05.05.04. «Дорожные, строительные и подъемно-транспортные машины»)

127994, Москва, ул. Образцова, д.9 стр.9

e-mail: [nggrin@yandex.ru](mailto:nggrin@yandex.ru);

т. 8-495-684-22-08

Дата: « 22 » мая 2024

ПОДПИСЬ  
ЗАВЕРЯЮ  
НАЧАЛЬНИК ОЦЕНКИ  
И.В. ФЕДЯКИН



22.05.2024