

«УТВЕРЖДАЮ»

Проректор по научно-исследовательской
работе и инновационной деятельности
ФГБОУ ВО Донского государственного
технического университета,

доктор экономических наук, доцент
Ефременко И. Н.

« 15 » _____

2024 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации – Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Донской государственный технический университет» (ДГТУ) на диссертационную работу **Кругловой Татьяны Николаевны** тему **«Методология оценки технического состояния машин и механизмов параллельной кинематической структуры»**, представленную в совет по защите диссертаций на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 2.5.2 - Машиноведение

Актуальность темы диссертационного исследования

В настоящее время все большее распространение в технических объектах и технологическом оборудовании получают механизмы параллельной кинематической структуры (МПКС). Их использование в транспортном и грузоподъемном машиностроении, приборостроении, медицине, строительстве, автомобилестроении, сельском хозяйстве и средствах вооружения обусловлено повышенной точностью программных движений, высокой грузоподъемностью, маневренностью и конструктивной гибкостью. Однако для надежной и качественной работы таких машин необходимо обеспечить согласованную работу всех исполнительных приводов МПКС, что предъявляет к последним более высокие требования по эксплуатационной надежности. Поэтому актуальность проблемы обеспечения эксплуатационной надежности системы исполнительных приводов МПКС, рассматриваемой автором диссертационной работы, неоспорима. Даже частичный отказ приводов в данной системе может иметь серьезные последствия, такие как погрешность позиционирования рабочего органа, падение перемещаемого груза, искривление или разрушение возводимой конструкции, повреждение дополнительных и вспомогательных механизмов и устройств, производственный брак промышленной продукции и другие негативные последствия, которые могут причинить значительный экономический ущерб предприятию, эксплуатирующему МПКС.

Общая характеристика работы

Диссертационная работа Кругловой Татьяны Николаевны выполнена в Южно-Российском государственном политехническом университете (НИИ) имени М. И. Платова.

Представленная диссертационная работа состоит из введения, 7 глав, выводов, списка цитируемой литературы (304 ссылки, включая отечественные и иностранные издания). Работа изложена на 296 страницах, содержит 40 таблиц, 149 рисунков.

В диссертации обоснована актуальность темы исследования, описаны объект и предмет исследования. Сформулированы цель и задачи исследования, новизна, теоретическая и практическая значимость работы, применяемые методы решения. Представлены основные научные положения, выносимые на защиту. Приведена степень достоверности полученных результатов, сведения об апробации, основные публикации по результатам работы.

В рамках поставленных автором задач исследований в работе:

- рассмотрены основные сферы применения МПКС, выполнен критический анализ проблем их эксплуатации и существующих методов оценки технического состояния их систем приводов, сформулированы цели и задачи исследований;
- для оценки взаимосвязи между управляющими силами и обобщенными координатами платформы рассмотрены динамические модели двух классических кинематических структур с шестью подвижными звеньями, каждая из которых описана системой уравнений Лагранжа второго рода. Сформулированы принципы выбора режима эксплуатации параллельных механизмов при частичном отказе систем приводов. Для их реализации предложена архитектура системы оценки технического состояния исполнительных приводов МПКС, имеющая пять функциональных уровней и построенная по киберфизическому принципу;
- установлена закономерная взаимосвязь между коэффициентами вейвлет преобразования тока и/или вибрации на характерных масштабах с техническим состоянием электрических и/или гидравлических приводов, на основе которой предложен метод оценки текущего и прогнозного технического электрических и гидравлических приводов МПКС;
- разработан метод проектирования отказоустойчивых параллельных механизмов с применением нагрузочного резервирования систем исполнительных приводов. Количественная оценка изменения надежности выполнена с применением комплексного показателя – коэффициента технического использования;
- для двух классических кинематических структур разработан метод проектирования отказоустойчивых МПКС, предусматривающий введение целевой функции, зависящей от текущей и дополнительной нагрузок на приводы и имеющие граничные условия по статической устойчивости, управляемости, режиму нагружения и техническому состоянию систем исполнительных приводов. Предложены модели расчета текущей и дополнительной нагрузки на каждый привод системы с применением аппарата нечеткой логики.
- описаны принципы структурирования систем оценки технического состояния приводов МПКС, предложена двухуровневая структура киберфизической системы оценки технического состояния приводов МПКС;

В ходе проведенных исследований системы оценки технического состояния приводов МПКС в производственных условиях было установлено, что предложенный метод оценки технического состояния является адекватным и позволяет определить текущее состояние с точностью до 93% и выполнить долгосрочный прогноз с точностью не менее 90%. Метод синтеза отказоустойчивых МПКС позволил рассчитать текущую и дополнительную нагрузку на приводы системы при наличии частичного отказа в системе приводов. Подтверждено, что применение метода управления МПКС с учетом технического состояния системы приводов обеспечило выравнивание положения платформы и ее равномерный подъем с заданной скоростью, что свидетельствует о работоспособности предложенного метода управления.

Выполнен анализ эффективности и достоверности методов оценки технического состояния. Так установлено, что комплексное применение методологии оценки технического состояния систем приводов МПКС позволит повысить коэффициент технического использования оборудования на 16%. Сформулированы рекомендации по проектированию отказоустойчивых МПКС, которые предусматривают разблокировку дефектных стоек и коррекцию режима эксплуатации в соответствии с предложенной методологией.

В приложениях представлены программные модули киберфизической системы оценки технического состояния, а также шесть актов внедрения результатов работы ООО «ПК Новочеркасский электровозостроительный завод» ООО Проектно-техническое бюро «Волгоградгражданстрой», ООО «Ассоциация Экотехмониторинг», ООО "Аграрум-техника", ООО фирма «Пластик Энтерпрайз» и ЮРГПУ (НПИ) имени М. И. Платова в учебном процессе.

Диссертация Кругловой Т. Н. грамотно структурирована и аккуратно оформлена. Структура работы соответствует требованиям к диссертациям на соискание ученой степени доктора технических наук.

Автореферат соответствует содержанию диссертации.

Оценка новизны и достоверности полученных результатов

Соискателем в ходе выполнения диссертационной работы получены новые результаты, наиболее значимые из которых:

- принципы выбора режима эксплуатации МПКС, отличающиеся введением в расчетные выражения управляющих сил интегральных коэффициентов, учитывающих техническое состояние, текущие и дополнительные нагрузки на приводы системы;
- архитектура системы оценки технического состояния МПКС в режиме реального времени, реализующей сбор и обработку диагностической информации методами и средствами искусственного интеллекта, отличающаяся киберфизическим принципом построения на основе установленной взаимосвязи пяти уровней реализации функциональной структуры средств (Патенты №139162, №112405, №2289802);
- метод оценки технического состояния, реализующий поиск неисправностей и прогнозирования отказа системы приводов МПКС в режиме реального времени, отличающийся использованием установленной закономерной вза-

имосвязи коэффициентов вейвлет-преобразования сигналов тока и/или вибрации различных исполнительных приводов с техническим состоянием МПКС и нейросетевой экстраполяции (Патент № 2799489);

- метод проектирования отказоустойчивых с учетом граничных условий статической устойчивости, управляемости, режима нагружения и технического состояния систем исполнительных приводов;
- 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.
- метод управления МПКС, отличающийся учетом технического состояния исполнительных приводов для выполнения заданного закона управления механизмом при изменении внешней нагрузки на приводы системы;
- 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 МПКС для реализации заданного технологического процесса в зависимости от фактического и прогнозного состояния систем исполнительных приводов.

Достоверность результатов исследования и рекомендаций основана на корректном использовании математической теории надежности и диагностики технических систем, интеллектуального анализа данных и оптимизации; на экспериментальных исследованиях, выполненных на стендах и опытных образцах в лабораторных и производственных условиях.

Результаты диссертационных исследований достаточно полно изложены в 127 публикациях, в том числе одной монографии. Среди опубликованных работ, в которых изложены результаты исследований, 16 статей в рецензируемых научных изданиях из Перечня отечественных изданий, 29 статей в изданиях, входящих в международные реферативные базы данных и системы цитирования Web of Science и Scopus, в материалах конференций, включенных в базу научного цитирования РИНЦ, – 57 статей. Получено 2 патента РФ на изобретения и 2 патента РФ на полезные модели. Результаты диссертации также многократно обсуждались на международных и всероссийских конференциях и совещаниях.

Значимость для науки

Значимость для науки результатов диссертационного исследования заключается в решении важной для развития отечественного машиностроения научно-технической проблемы совершенствования систем приводов МПКС, связанной с разработкой, созданием и внедрением в промышленности методологии оценки технического состояния систем приводов как совокупности методов, основанных на киберфизических подходах, обеспечивающих: выбор режима эксплуатации МПКС 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; оценку текущего и прогнозного технического состояния систем приводов МПКС в режиме реального времени; определение текущей и дополнительной нагрузок при частичном отказе системы приводов МПКС; принятие решения по выбору режима эксплуатации МПКС с частичным отказом в системе исполнительных приводов; управление исполнительными звеньями МПКС с учетом технического состояния систем приводов и внешней нагрузки для обеспечения заданного закона движения механизма.

Практическая значимость

Практическое значение результатов работы заключается в том, что 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 МПКС. Решение поставленной задачи позволяет:

- определить техническое состояние систем приводов в процессе эксплуатации без применения сложных громоздких вычислительных средств в режиме реального времени;
- определить текущую внешнюю нагрузку на исполнительные приводы системы; выполнить совместный анализ технического состояния приводов МПКС, определить дополнительную нагрузку на каждый исправный привод и принять решение о целесообразности изменения режима эксплуатации оборудования;
- выполнить перераспределение нагрузок, скорректировав значения управляющих сил и скорость движения звеньев при частичном отказе системы приводов МПКС.

Применение предложенной методологии позволит повысить коэффициент технического использования оборудования на 16 % и избежать аварийных остановок технологического процесса.

Научно-техническая новизна и практическая значимость достигнутых результатов исследования подтверждена патентами на изобретения и полезные модели.

Внедрение результатов диссертационного исследования на предприятиях ООО «ПК Новочеркасский электровозостроительный завод», ООО Проектно-техническое бюро «Волгоградгражданстрой», ООО «Ассоциация Экотехмониторинг», ООО "Аграрум-техника", ООО фирма «Пластик Энтерпрайз» позволило сократить количество отказов приводов, 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%.

Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертации

Результаты выполненных исследований рекомендуются к использованию на предприятиях машиностроительной отрасли при создании промыш-

ленных образцов и серийного производства отказоустойчивых систем приводов для МПКС, эксплуатируемых в тяжёлых аварийно-опасных условиях, включая задачи разработки специализированных модулей оценки технического состояния приводов конкретных видов и образцов техники.

Общие замечания

Диссертационная работа Кругловой Татьяны Николаевны производит благоприятное впечатление, однако следует обратить внимание автора на ряд представленных ниже замечаний:

1. В диссертационной работе отсутствует разделение диагностических признаков на неисправности самого двигателя и неисправности работы системы управления приводами, например, при возникновении автоколебательных режимов.

2. Необходимо пояснить, чем обусловлен выбор вариантов движения объекта при описании динамики механизма параллельной кинематической структуры.

3. Требуют пояснения этапы разработки киберфизической системы. Что подразумевается под отказоустойчивой системой приводов механизма параллельной кинематической структуры?

4. Не ясен термин «частичный отказ в системе приводов».

5. Из третьей главы текста диссертации не понятно, каким образом нагрузочное резервирование предоставляет возможность получить отказоустойчивую систему приводов механизма параллельной кинематической структуры.

6. Требуется пояснение понятие «частота диагностирования». Как она связана (или не связана) с формированием вейвлет-коэффициентов.

7. Требуется пояснения, почему при описании характерных зависимостей вейвлет-коэффициентов на характерном масштабе используется термин «нарастающий», а не «колебательный».

8. Необходимо пояснить, почему нечеткая модель принятия решения по выбору режима эксплуатации системы приводов механизма параллельной кинематической структуры со сходящимися кинематическими цепями имеет иерархическую структуру. Для чего нужно такое усложнение по сравнению с аналогичной для механизма с параллельными кинематическими цепями?

9. Для чего в главе 6 (п. 6.1) выполняется синтез системы оценки технического состояния приводов механизмов параллельной кинематической структуры, если в главе 4 диссертации уже разработаны модели, методы и оценки текущего и прогнозного технического состояния?

10. Из текста диссертации не ясно, каким образом структуры киберфизической системы оценки технического состояния исполнительных приводов машин и механизмов параллельной кинематической структуры, описанный в п. 6.4, соотносится с архитектурой той же киберфизической системы, приведенной на рисунке 3.3?

Заключение

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.

Полученные автором результаты, выводы и рекомендации в полной мере обоснованы. Диссертационная работа соответствует направлениям исследований паспорта специальности 2.5.2 – Машиноведение, а именно:

п. 2 «Теория и методы проектирования машин и механизмов, систем приводов, узлов и деталей машин»;

п. 5 «Методы исследования и оценки технического состояния объектов машиностроения, в том числе на основе компьютерного моделирования».

Диссертационная работа отвечает требованиям Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 г. № 842, в том числе п.п. 9-11, 13-14, а ее автор Круглова Татьяна Николаевна заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 2.5.2 – Машиноведение.

Отзыв обсужден и утвержден на совместном заседании кафедр «Гидравлика, гидропневмоавтоматика и тепловые процессы» и «Приборостроение и биомедицинская инженерия» Донского государственного технического университета от «6» мая 2024 года, протокол № 9.

Отзыв подготовил:

Доктор технических наук, профессор,
профессор кафедры
«Приборостроение и
биомедицинская инженерия»

Александр
Тимофеевич
Рыбак

Кандидат технических наук, доцент,
заведующий кафедрой «Гидравлика,
гидропневмоавтоматика и тепловые
процессы»

Вячеслав
Игоревич
Грищенко

Наименование организации в соответствии с уставом: государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Донской государственный технический университет» (ДГТУ).

Адрес: Россия, 344000, Ростовская область,
г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1

Тел.: + 7 (863) 273-85-25, +7 (863) 273-87-20

Адрес эл. почты: reception@donstu.ru, spu-02@donstu.ru

