

Отзыв официального оппонента

на диссертацию Микитинского Александра Петровича
«Развитие теории и практики электротехнических систем регулирования
натяжения композиционных материалов», представленную на соискание
ученой степени доктора технических наук по специальности 2.4.2 –
Электротехнические системы и комплексы

Актуальность работы. Диссертация направлена на развитие теории и практики проектирования электротехнических систем регулирования, обеспечивающих натяжение с заданной точностью композиционных материалов при намотке и выкладке изготавливаемых изделий сложной геометрической формы, учитывающей особенности функционирования объектов регулирования с упругими связями второго рода (упругий транспортируемый материал) при изменении параметров объектов регулирования в широких пределах в течение коротких интервалов времени. Актуальность темы диссертации не вызывает сомнения.

Целью диссертационной работы является обеспечение требуемого качества изготавливаемых из композиционных материалов изделий благодаря повышению точности современных электротехнических систем натяжения при намотке и выкладке изделий из композиционных материалов. Для достижения поставленной цели в диссертации разработана методология расчета, анализа и синтеза ЭТС натяжения включающая: системную классификацию наматываемых изделий исходя из степени влияния точности натяжения на качество изготовления и формы наматываемых изделий; математические модели объекта управления ЭТС натяжения с учетом основных нелинейностей и нестационарности параметров, а также упругости используемого композиционного материала и конструктивных особенностей изготавливаемого изделия; методику энергетического анализа объекта управления и определения мощности электропривода ЭТС, исходя из заданных требований к точности натяжения композиционного материала; метод синтеза ЭТС устройств намотки и выкладки изделий различной конструктивной сложности основанный на сочетании классических частотных методов, методов пространства состояний и методов синтеза адаптивных систем. На основе анализа экспериментальных данных ЭТС натяжения показано, что разработанные математические модели и методы позволяют в два раза повысить точность поддержания натяжения композиционного материала относительно заданного уровня для изделий сложной конструктивной формы. Разработанные в диссертации технические

решения позволяют не только повысить точность работы приводов ЭТС, но и обеспечить стабильность характеристик благодаря реализации предложенных алгоритмов адаптации параметров регуляторов.

Состав и содержание диссертации. Диссертация изложена на 387 страницах печатного текста, включая 177 рисунков и 26 таблиц, состоит из введения, семи глав, заключения, списка использованной литературы и трех приложений. Список использованной литературы включает 230 наименований и представляется достаточным.

Во введении обоснована актуальность диссертационной работы, выполнен анализ проблемной ситуации и ее причины. Сформулированы цель и задачи исследования. Приведены положения, выносимые на защиту, сформулирована научная новизна и практическая значимость полученных результатов. Обоснование актуальности и цели диссертационного исследования корректны и замечаний не вызывают.

В первой главе представлены результаты исследования функционирования электроприводов ЭТС в процессе изготовления изделий различной конфигурации путем намотки и выкладки композиционных материалов. Установлена количественная зависимость качества изготавливаемых изделий от точности поддержания заданных значений натяжения упругого композиционного материала. Сформирована классификация изделий, изготавливаемых методом намотки, позволяющая решать основные задачи проектирования ЭТС натяжения композиционной ленты (выбор структуры, энергетический анализ и расчет потребной мощности, расчет параметров регуляторов) с учетом особенностей изготовления изделий различной конструктивной формы и заданного метода изготовления (намотки и выкладки).

Во второй главе разработаны семейства математических моделей упругой композиционной ленты, как элемента ЭТС, с учетом особенностей реализации различных технологий изготовления изделий ("сухой" и "мокрой" намотки материала), включающие нелинейные и линеаризованные математические модели упругой ленты с переменными, учитывающие возможные изменения параметров в широком диапазоне (до 20 раз при "сухой" и до "30" раз при "мокрой" намотке).

В третьей главе представлен анализ функционирования натяжных устройств различного исполнения, сформулированы допущения, на основании которых разработаны математические модели ЭТС натяжения, позволяющие эффективно решать задачи анализа и синтеза приводов ЭТС натяжения на различных этапах проектирования. Предложена методика расчета мощности исполнительного двигателя натяжного устройства при намотке с учетом формы и размеров изготавливаемого изделия.

В четвертой главе на основании разработанных в диссертации математических моделей упругой композиционной ленты и ЭТС натяжения рассмотрены различные подходы к структурно-параметрическому синтезу ЭТС композиционного материала, сформированы рекомендации по выбору структур систем управления ЭТС регулирования натяжения при "сухой" и "мокрой" намотке, выкладке, получены передаточные функции регуляторов контуров управления сформированных структур.

В пятой главе приводится описание нового метода синтеза систем управления ЭТС натяжения композиционной ленты, включающего методики синтеза регуляторов, реализующих принципы подчиненного управления, обладающих свойствами робастности, а также регуляторов с прогнозом состояния системы и адаптивных систем управления, обеспечивающих выполнение требований технического задания при изменении параметров объекта регулирования в широких пределах (до 30 раз).

В шестой главе рассмотрено применение разработанных методов и алгоритмов для решения задач энергетического расчета и синтеза ЭТС натяжения используемых при намотке изделий "Конус" при сухой и мокрой композиционной ленты. Представленные результаты расчета характеристик синтезированных систем подтверждают выполнение заданных показателей качества при намотке изделий заданной конфигурации.

В седьмой главе исходя из условия выполнения требований, предъявляемых к характеристикам ЭТС натяжения и обеспечения надежности их работы, сформированы рекомендации по формированию набора измеряемых компонентов вектора состояния силовой системы ЭТС, а также выбору элементной базы для систем регулирования натяжения. Представлены результаты внедрения основных положений диссертации в производство ЭТС натяжения для целого ряда намоточных станков отечественного производства,

обеспечивающие отработку заданных показателей натяжения композиционного материала с ошибкой, не превышающей 1%.

В заключении содержатся обобщающие выводы и результаты работы, подтверждающие теоретические положения, выносимые на защиту, а также результаты анализа характеристик ЭТС натяжения, созданных на основе разработанных методов, моделей и алгоритмов.

В приложении приводятся акты о внедрении результатов диссертационной работы на ряде предприятий в процессе модернизации технологического оборудования для производства изделий из композиционных материалов, позволивших сократить сроки модернизации и повысить качество изготавливаемых изделий.

Основные научные результаты, полученные в диссертационной работе.

- 1) Классификация изделий, изготавливаемых из композиционных материалов, на основе системного анализа конфигурации и требований, предъявляемых к условиям их эксплуатации, а также диапазона и скорости изменения параметров в процессе намотки.
- 2) Система математических моделей упругой композиционной ленты, включающая нелинейные и линеаризованные модели, позволяющие эффективно решать задачи анализа и синтеза систем управления ЭТС натяжения изделий сложной геометрической формы.
- 3) Математические модели ЭТС натяжения, учитывающие, в отличие от известных моделей, специфику технологического цикла изготовления изделий из композиционных материалов.
- 4) Методика решения задач энергетического анализа ЭТС натяжения и выбора мощности приводов натяжных устройств с учетом геометрии наматываемых или выкладываемых изделий.
- 5) Метод синтеза ЭТС натяжения упругой композиционной ленты, учитывающий геометрию изготавливаемых изделий и обеспечивающий выполнение требований по точности поддержания заданного натяжения материала.
- 6) Методика синтеза систем регулирования ЭТС натяжения при изготовлении изделий "Цилиндр" и "Конус", к которым предъявляются относительно невысокие требования к точности поддержания параметров регулирования.

- 7) Методика синтеза систем регулирования ЭТС натяжения при изготовлении изделий "Кокон", "Шар" из композиционного материала с адаптацией синтезированных регуляторов на основе идентификации действительных параметров объекта управления.
- 8) Методика синтеза регуляторов ЭТС натяжения с прогнозом состояния системы при намотке изделий из композиционного материала сложной геометрической формы.

Общая характеристика работы. Работа написана научно-техническим языком, иллюстрирована необходимым числом поясняющих рисунков и таблиц. Материалы работы изложены последовательно и логично. Основные положения диссертации достаточно убедительно аргументированы и раскрыты. Результаты, представленные в диссертации, визуализированы в виде большого числа таблиц, графиков, функциональных и структурных схем, алгоритмов. Все выводы подкреплены формулами.

Автором диссертации по теме научного исследования опубликовано 43 печатной работы, из них 10 статей в рецензируемых журналах из перечня ВАК, рекомендуемых ВАК, получен 1 патент на полезную модель, 10 статей в изданиях, индексируемых в международных базах цитирования. Публикации в полной мере отражают содержание диссертации.

В диссертационной работе содержатся необходимые обязательные ссылки на используемые источники. Автореферат отражает основное содержание диссертационной работы.

Структура и логика изложения материала соответствует поставленной в диссертации цели и сформулированным задачам исследования.

Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций является высокой и подтверждается корректным применением математического аппарата, которые согласуются с результатами известных отечественных и зарубежных исследований.

Научные результаты, полученные в диссертационной работе, позволяют повысить качество изделий, изготавливаемых из композиционных материалов, что имеет важное народно-хозяйственное значение, а внедрение изложенных в диссертации новых научно обоснованных технических решений вносит значительный вклад в развитие страны.

Достоверность научных положений, выводов и рекомендаций подтверждается теоретическими и совпадающими с ними экспериментальными результатами, полученными при использовании разработанных теоретических положений. Полученные результаты диссертационной работы внедрены в ООО "Пластик Энтерпрайз" (г. Новочеркасск, Ростовской области), АО

ЦНИИСМ (г. Хотьково, Московской области), ООО "Дон-Текс" (г. Шахты, Ростовской области), а также в учебный процесс ФГБОУ ВО ЮРГПУ (НПИ) имени М.И.Платова, что подтверждается соответствующими актами о внедрении.

К недостаткам диссертационной работы относятся:

- 1) Представляется недостаточно обоснованным принятие допущения (п.3.2.8) относительно отсутствия влияния противо- ЭДС на характеристики исполнительных механизмов ЭТС натяжения на основании сравнения величин электромагнитной и электромеханической постоянной времени, поскольку физическая связь по противо- ЭДС приводит к наличию перекрестных связей в подчиненных контурах регулирования скорости и тока.
- 2) Рассмотренные в п.4.3 структурные схемы ЭТС натяжения построены без учета влияния ограничений, накладываемых на значения физических переменных (тока в исполнительном двигателе, питающего напряжения) и информационных сигналов, что может привести к существенным погрешностям при расчете параметров регуляторов контуров управления.
- 3) Представляется недостаточно обоснованным выбор критерия оптимизации параметров регуляторов ЭТС натяжения в виде функции квадратичных потерь (п.5.5.1), поскольку для обеспечения качества изготавливаемого изделия предъявляют жесткие требования не к значению среднеквадратического отклонения натяжения от заданной величины, а к мгновенной величине данного отклонения.
- 4) Отсутствует оценка сходимости алгоритмов оптимизации и устойчивости работы ЭТС натяжения с адаптивным регулятором, при условии изменения параметров в широких пределах.
- 5) В третьей главе диссертации с целью повышения КПД предложено заменить самотормозящиеся червячные редукторы на планетарные редукторы, однако, при этом отсутствует методика расчета тепловых процессов в исполнительных двигателях ЭТС натяжения в зависимости от формы изготавливаемого изделия и времени намотки, что может привести к их перегреву.
- 6) Отсутствует обоснование преобразования отдельных структурных схем, например, в структурной схеме (рис.6.17), при приведении ее к виду (рис.6.20), пропадает одна из прямых связей.

В целом, указанные недостатки не снижают теоретической и практической значимости диссертации.

Выводы. На основе публикаций, результатов внедрения, а также апробации работы на конференциях и семинарах, можно сделать вывод о том, что Микитинский А.П. способен самостоятельно определять направления и стратегию научных исследований в области теории и практики создания электротехнических комплексов и систем технологического оборудования.

Диссертационная работа Микитинского А.П. "Развитие теории и практики электротехнических систем регулирования натяжения композиционных материалов» содержит научные результаты, соответствующие формуле и областям исследований, указанных в паспорте специальности 2.4.2 – Электротехнические комплексы и системы. Считаю, что представленная диссертационная работа соответствует критериям п.п. 9 – 14 Положения о присуждении ученых степеней, а ее автор, Микитинский Александр Петрович заслуживает присуждения ему ученой степени доктора технических наук по специальности 2.4.2 – Электротехнические комплексы и системы.

Доктор технических наук, профессор,
заведующий кафедрой «Системы
автоматического управления»
ФГБОУ ВО "Тульский государственный
университет"



/ О.В. Горячев

« 09 » января 2025 г.

Подпись Горячева Олега Владимировича удостоверяю

Начальник отдела
Иванов Иван Иванович
« 09 » января 2025 г.



Сведения об организации:

Федеральное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Тульский государственный университет»

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

Тел.: +7 4872 73-44-44, +7 4872 33-24-10

Факс: +7 4872 35-81-81

e-mail: info@tsu.tula.ru

Официальный сайт: <https://tulsu.ru/>