

ОТЗЫВ

официального оппонента, доктора технических наук

Гасиярова Вадима Рашитовича

на диссертационную работу Микитинского Александра Петровича

на тему: «Развитие теории и практики электротехнических систем

регулирования натяжения композиционных материалов»,

представленную на соискание ученой степени доктора технических наук

по специальности 2.4.2 – Электротехнические комплексы и системы

1. Актуальность темы исследования и ее связь с запросами практики

Во всем мире увеличивается использование в промышленности изделий из композиционных материалов (КМ). При расширении ассортимента таких изделий увеличиваются и требования к их прочностным и другим характеристикам. Параметры изготавливаемых из КМ изделий существенным образом зависят от работы электротехнических систем (ЭТС) натяжения КМ при их изготовлении. Хотя процессы намотки различных изделий в других отраслях промышленности известны давно, намотки изделий из КМ имеет ряд специфических особенностей, что не позволяет создавать эффективные системы управления электроприводами данных технологических процессов.

Актуальность темы исследования подтверждается и постановлением Правительства от 15 апреля 2014 г. №328 в рамках подпрограммы №14 «Развитие производства композиционных материалов (композитов) и изделий из них» государственной программы Российской Федерации «Развитие промышленности и повышение её конкурентоспособности». В данной программе предусматривается широкое использование композиционных материалов (КМ) и изделий из них в различных секторах экономики. В соответствии с Постановлением разработана и осуществляется «дорожная карта» по реализации указанной программы в городе Москве и 65 субъектах Российской Федерации, приняты и реализуются отдельные региональные программы, предусматривающие разработку и применение композиционных материалов и современных изделий из них. В данных программах намечено резкое увеличение производства композиционных конструкций в гражданских секторах экономики: на транспорте, в строительной индустрии, энергетике, химии и нефтехимии, жилищно-коммунальном комплексе.

Исходя из поставленных целей и решения приведенных задач, диссертационная работа Микитинского А.П., посвященная развитию теории и практики электротехнических систем регулирования натяжения композиционных материалов является актуальной и практически значимой.



2. Анализ содержания диссертации и автореферата и их соответствия установленным требованиям

Диссертационная работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова». Работа состоит из введения, семи глав, заключения, списка литературы, включающего 230 библиографических ссылок и 3 приложения. Диссертация изложена на 369 страницах, содержит 177 рисунков и 26 таблиц. Автореферат полно отражает основные положения диссертационной работы.

Во введении обосновывается актуальность проведенных в диссертационной работе исследований, выбраны объект и предмет исследования. Сформулированы цели и задачи работы, ее научная новизна, теоретическая и практическая значимость, перечислены положения, выносимые на защиту.

В первой главе рассмотрены технологические процессы намотки и выкладки изделий из композиционных материалов. Приведены и проанализированы особенности работы электроприводов в механизмах намотки изделий из КМ. Показано, что данный технологический процесс обладает рядом особенностей, не позволяющих использовать ЭТС, разработанные для других процессов (намотки ткани, металлической полосы, химических материалов и т.д.).

Рассмотрев ассортимент наматываемых из КМ изделий, автор сделал вывод, что их форма существенно влияет на работу ЭТС натяжения. В соответствии с этим, впервые предложена системная классификация наматываемых изделий. Классификация проведена не только на основании формы изделий, но и на основании условий эксплуатации изготавливаемых изделий.

В первой главе предложен подход к расчету допустимых отклонений натяжения при намотке от заданных значений от допустимых отклонений напряженного состояния наматываемого изделия.

Во второй главе разработано математическое описание упругой ленты, как основного элемента ЭТС натяжения для процессов намотки изделий из «сухого» и «мокрого» композиционных материалов. При этом проанализированы принятые в процессе разработки модели допущения, которые не влияют существенно на полученный результат. Полученные нелинейные модели линеаризованы. Исследовано влияние изменения технологических параметров в процессе намотки на коэффициенты линеаризации. Показано, что в процессе изготовления изделий они изменяются в широких пределах (до 20 раз).

В третьей главе проанализирована возможность использования в

натяжных устройствах различных исполнительных механизмов: механических тормозов, ферропорошковых тормозов, асинхронных двигателей, синхронных двигателей с постоянными магнитами (СДПМ), вентильно-индукторных двигателей. Показано, что при изготовлении изделий с использованием «сухой» композиционной ленты и при невысоких требованиях к условиям эксплуатации следует применять ферропорошковые тормоза, а при высоких требованиях к условиям эксплуатации – СДПМ. При намотке изделий из «мокрого» композиционного материала следует использовать СДПМ.

В этой главе рассмотрены вопросы выбора мощности привода при намотке изделий типа «Кокон» (из «мокрого» КМ), «Конус», «Призма» (из «сухого» КМ). Получены математические выражения для определения эквивалентного момента двигателя при намотке данных изделий.

На основании анализа конструкций натяжных устройств, используемых при намотке изделий из «мокрого» композиционного материала, получено их математическое описание и приведены рекомендации по выбору натяжного устройства.

В четвертой главе проведен структурно-параметрического синтеза ЭТС натяжения. Приведены и рассмотрены различные варианты построения ЭТС натяжения при намотке изделий из «сухого» и «мокрого» композиционных материалов. Исследовано так же применение натяжных устройств в активном шпулярнике (при намотке из «мокрого» КМ).

Проведенный анализ показал, что при намотке изделий из «сухого» композиционного материала целесообразно использовать трехконтурные системы подчиненного управления (внутренний контур тока, затем контур частоты вращения, затем контур натяжения), при использовании «мокрой» композиционной ленты – четырехконтурную (внутренний контур тока, затем контур частоты вращения, затем контур положения восьмерки, затем контур натяжения).

Получены выражения для расчета регуляторов натяжения предлагаемых ЭТС натяжения.

В пятой главе описан предложенный метод синтеза электроприводов в ЭТС натяжения при намотке изделий из КМ. Метод отличается от известных тем, что учитывает требования к ЭТС натяжения при намотке различных изделий. На основании этих требований осуществляется выбор одной из методик, входящих в метод, выбирается структурная схема привода, натяжное устройство и привод исполнительного механизма.

Так при намотке изделий типа «Конус» с невысокими требованиями к условиям эксплуатации, когда параметры объекта управления изменяются медленно, но в широких пределах (до 3-х раз) предлагается синтезировать робастную ЭТС натяжения. Синтез предлагается осуществлять методом

нормированных уравнений путем целенаправленного выбора уравнения.

При намотке изделий «Конус», «Кокон», «Шар» с высокими требованиями к условиям эксплуатации предлагается использовать адаптивные ЭТС натяжения. Разработаны функциональные и структурные схемы адаптивных ЭТС, математические выражения, используемые для адаптации.

При намотке изделий «Призма» с высокими требованиями к условиям эксплуатации предлагается использовать оптимальную ЭТС натяжения с прогнозом состояния.

В шестой главе рассмотрено применение предлагаемых методов и алгоритмов.

Исследовано использование в натяжных устройствах при намотке изделий из «мокрого» композиционного материала червячного и планетарного редуктора. В первом случае эквивалентный момент двигателя на 35 % больше, чем при использовании планетарного редуктора. Так как СДМП обеспечивает режим стоянки при номинальном моменте на его валу, рекомендуется для таких приводов использовать СДМП с планетарным редуктором.

Рассмотрен процесс намотки изделий типа «Цилиндр» из «сухого» и «мокрого» композиционного материала. Для данных случаев синтезированы и исследованы ЭТС натяжения. Приведены их структурные схемы, и результаты моделирования.

Рассмотрен процесс намотки изделий типа «Конус» из «сухого» и «мокрого» композиционного материала при невысоких требованиях к условиям эксплуатации наматываемого изделия. Для данного случая синтезирована робастная ЭТС натяжения. Проведенное моделирование показало, что изменение параметров объекта регулирования не влияет на показатели качества ЭТС. Время переходного процесса составляет 0,4 с.

Для изделий типа «Шар» и «Кокон», наматываемых из «сухого» или «мокрого» композиционного материала, предлагается использовать адаптивные ЭТС натяжения. С целью ускорения вычисления коэффициентов линеаризации получены упрощенные выражения. Данные выражения получены с использованием метода планирования эксперимента. В работе предложен алгоритм расчета параметров адаптивного регулятора. Исследовано влияния параметров вычислительной техники на работу адаптивных ЭТС натяжения в реальном времени. Показано, что современные контроллеры и аналого-цифровые преобразователи обеспечивают требуемое быстроедействие для обработки информации.

Синтез ЭТС натяжения при изготовлении изделий типа «Призма» из «сухого» композиционного материала осуществлен с использованием прогноза состояния. Проведенное моделирование показало, что данный подход перспективен при создании современных ЭТС натяжения. Отклонение

натяжения при намотке изделия от заданного значения не превосходят $\pm 0,12\%$.

Приведены результаты моделирования для намотки изделия «Призма» с использованием П-, ПИ- и регулятора с прогнозом состояния. Наилучшими характеристиками обладает электропривод с регулятором с прогнозом состояния, который рекомендован для использования.

В главе рассмотрена ЭТС выкладки материала. Проведенный анализ показал, что использование современных ЭТС натяжения позволяет отказаться от механических амортизаторов.

В седьмой главе даны рекомендации по реализации предлагаемых технических решений. Приведены технические характеристики средств измерения технологических параметров. Рассмотрены технические характеристики разработанных ЭТС натяжения, их функциональные и структурные схемы. Приведены осциллограммы, полученные в результате исследования ЭТС натяжения "мокрого" композиционного материала.

В заключении сформулированы основные выводы и результаты по диссертационной работе.

Приложения содержат акты внедрения, результаты расчета бандажа из угольной нити для высокоскоростного генератора.

3. Соответствие работы паспорту специальности 2.4.2 «Электротехнические комплексы и системы»

На основании анализа содержания диссертационной работы можно сделать вывод, что диссертация соответствует паспорту специальности 2.4.2 «Электротехнические комплексы и системы»:

п. 1 «Развитие общей теории электротехнических комплексов и систем, анализ системных свойств и связей, физическое, математическое, имитационное и компьютерное моделирование компонентов электротехнических комплексов и систем, включая электромеханические, электромагнитные преобразователи энергии и электрические аппараты, системы электропривода, электроснабжения и электрооборудования», рассматриваются вопросы развития общей теории электротехнических комплексов, используемых при изготовлении изделий из композиционных материалов, разработаны математические модели упругой ленты, получены аналитические выражения для натяжных устройств, предложена новая методика выбора мощности привода натяжных устройств, получены обобщенные структурные схемы электромеханического преобразователя натяжного устройства при намотке изделий, проведено математическое моделирование разработанных систем регулирования;

п. 2 «Разработка научных основ проектирования, создания и эксплуатации электротехнических, комплексов, систем и их компонентов»,

разработаны математические модели упругой ленты, получены аналитические выражения для натяжных устройств, предложена новая методика выбора мощности привода натяжных устройств;

п. 3 «Разработка, структурный и параметрический синтез, оптимизация электротехнических комплексов, систем и их компонентов, разработка алгоритмов эффективного управления», получены обобщенные структурные схемы электротехнического преобразователя натяжного устройства при намотке изделий из композиционного материала, разработан метод синтеза ЭТС натяжения композиционной ленты при изготовлении изделий различной формы, состоящий из трех методик, методики синтеза простых электротехнических систем регулирования натяжения и методики синтеза электротехнических систем регулирования с текущей идентификацией параметров объекта управления, адаптацией регулятора системы; методики синтеза регулятора электротехнической системы с прогнозом состояния системы; проведено математическое моделирование разработанных электротехнических систем регулирования натяжения;

п. 4. «Исследование работоспособности и качества функционирования электротехнических комплексов, систем и их компонентов в различных режимах, при разнообразных внешних воздействиях, диагностика электротехнических комплексов», проведены исследования разработанных электротехнических систем управления натяжением в различных режимах работы оборудования и при различных внешних воздействиях.

4. Научная новизна результатов и выводов, сформулированных в диссертации

Научная новизна основных положений и результатов работы заключается в том, что:

1. Впервые разработана системная классификация наматываемых изделий в зависимости от их геометрии и требований, предъявляемых к условиям их эксплуатации, диапазона и скорости изменения параметров в процессе намотки, которая позволяет обоснованно осуществлять выбор ЭТС управления процессом намотки.

2. Разработано математическое описание упругой композиционной ленты, которое в отличие от существующих учитывает изменение параметров в процессе намотки изделий сложной геометрической формы, что позволяет использовать его для анализа процессов, происходящих в ЭТС натяжения.

3. Разработаны оригинальные математические модели ЭТС натяжения композиционной ленты, которые отличаются тем, что учитывают специфику намотки изделий из композиционных материалов и позволяют использовать их при анализе и синтезе ЭТС натяжения, что повышает точность отработки системой управления заданных законов намотки.

4. Впервые предложена оригинальная методика выбора мощности привода натяжных устройств с учетом геометрии наматываемых или выкладываемых изделий, что позволяет обоснованно выбирать тип и мощность привода.

5. Предложены и обоснованы рациональные структуры ЭТС, используемых при намотке и выкладке изделий из композиционных материалов, отличающиеся тем, что позволяют обеспечить заданную точность поддержания натяжения наматываемого материала, сократить время, затрачиваемое на проектирование и наладку систем регулирования натяжения.

6. Разработан метод синтеза электротехнических систем натяжения устройств намотки и выкладки изделий сложной формы, отличающийся учетом изменения параметров объекта управления в процессе намотки, что обеспечивает высокие технические характеристики проектируемых и модернизируемых ЭТС натяжения и выкладки, позволяет определять рациональные алгоритмы управления для различных условий эксплуатации. Метод включает в себя:

- методику синтеза робастной ЭТС натяжения, позволяющую синтезировать ЭТС натяжения для намотки изделий простой геометрической формы с невысокими требованиями к точности поддержания заданных законов намотки;

- методику синтеза адаптивных ЭТС натяжения при намотке изделий сложной геометрической формы и изменении параметров объекта управления в широких пределах;

- методику синтеза электротехнических систем регулирования натяжения устройств намотки изделий сложной формы, отличающаяся тем, что учитывает быстрые изменения параметров объекта управления в процессе намотки.

5. Практическая значимость работы

В процессе выполнения работы получены следующие результаты, имеющие практическую ценность:

- методика выбора мощности привода натяжных устройств, реализованная при модернизации намоточного станка КУ-421М для изготовления Силовой оболочки корпуса вентилятора переходного отсека (ВПХО) системы РБАС РН «Союз-5» 374СА11.10.00.110 (АЕВ 02101.13080);

- адаптивные ЭТС натяжения, учитывающие форму наматываемых изделий, реализованы при модернизации намоточного станка КУ-479ФЗ для изготовления Силовой оболочки корпуса соединительного отсека 18СП3927.00.000, 18СП3928.00.000 (АЕВ 02101.13826, АЕВ 02101.13829);

- технические предложения и схемные решения для реализации ЭТС

натяжения композиционной ленты реализованы при модернизации намоточного станка КУ-489ФЗ для изготовления Силовой оболочки корпуса основного ракетного двигателя (ОРД) системы ракетного двигателя разгонного блока ракеты носителя (РБАС РН) «Союз-5» 374СА11.01.10.000 (АЕВ 02101.11009, АЕВ 02101.11.300) и Силовой оболочки корпуса управляющего ракетного двигателя (УРД) системы РБАС РН «Союз-5» 374СА11.02.02.000 (АЕВ 02101.10977);

- метод синтеза ЭТС регулирования натяжения при намотке изделий различной формы реализован при создании автоматизированных систем управления технологическими процессами при изготовлении опытных образцов и в мелкосерийном производстве ряда изделий, а также для модернизации автоматизированной линии по ламинированию Lamitex-1400/60 при изготовлении синтетического полотна в серийном производстве.

Эффективность разработанных технических решений подтверждена АО «ЦНИИСМ», г. Хотьково Московской обл., ООО фирма «Пластик Энтерпрайз», г. Новочеркасск Ростовской обл., ООО «Дон-Тек», г. Шахты Ростовской обл.

Ожидаемый экономический эффект от внедрения заключается в улучшении качества наматываемых изделий, уменьшении расхода материала на их изготовление, уменьшении брака изделий.

Практическим результатом работы, внедренным в учебный процесс, является курс лекций по дисциплине «Автоматизированные электромеханические системы», читаемый обучающимся 2-го курса магистратуры по направлению 13.04.02 «Электроэнергетика и электротехника».

6. Степень достоверности результатов и обоснованность выводов исследования

Достоверность научных положений, выводов и результатов, изложенных в работе, подтверждена следующим: аналитическим выводом дифференциальных и интегральных уравнений, описывающих процесс намотки; корректным применением математического аппарата; использованием проверенных взаимодействий инструментов и материалов; проведенными испытаниями разработанных систем управления натяжением композиционной ленты.

7. Замечания по диссертационной работе

1. Из диссертации не ясно, в чём заключается основные отличия рассмотренных натяжных устройств от натяжных устройств, используемых в бумагоделательных и ткацких станках?

2. Следует подробнее обосновать, в чём заключается отличие полученных математических моделей и структур применяемых регуляторов от известных?

3. Необходимо конкретизировать, процесс выкладки и намотки осуществляется по заранее заданной и известной программе. Рассматривалась ли возможность использования этих данных для прогноза изменения натяжения и регулирования с учетом этой информации?

4. Следовало бы пояснить, требуется ли изменения аппаратной части для перехода между различными, предложенными вами, способами регулирования? Или только программного обеспечения?

5. Не совсем ясно, чем отличается ваш метод выбора электропривода натяжного устройства от общеизвестного метода эквивалентного момента?

8. Общее заключение о соответствии диссертационной работы требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени доктора наук

Диссертационная работа Микитинского А.П. «Развитие теории и практики электротехнических систем регулирования натяжения композиционных материалов», представленная на соискание ученой степени доктора технических наук в соответствии с п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства РФ №842 от 24.09.2013, является законченной научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором исследований произведено развитие теории и практики электротехнических систем натяжения композиционных материалов, внедрение которых вносит значительный вклад в развитие Российской Федерации.

Работа структурирована и обладает внутренним единством, содержит научные результаты и положения, выдвигаемые для публичной защиты, и свидетельствует о личном вкладе автора диссертации в науку – разработку методов и моделей, развивающих теорию и практику электротехнических систем регулирования натяжения композиционных материалов.

Основные результаты диссертации опубликованы в рецензируемых научных изданиях: 10 статей в изданиях, рекомендованных ВАК РФ, 10 статей в изданиях, индексируемых базами Scopus и Web of Science. Публикации соискателя соответствуют тематике диссертационной работы и с достаточной полнотой отражают её суть, основные результаты и выводы.

В диссертации соискателем отмечается использование результатов научных работ, выполненных лично и в соавторстве, имеются ссылки на соавторов. Диссертация соответствует требованию указания ссылок на заимствованные материалы или отдельные результаты.

На основании вышеизложенного считаю, что диссертационная работа

Микитинского А.П. соответствует требованиям пунктов 9-14 «Положения о присуждении ученых степеней: утвержденного Постановлением Правительства РФ №842 от 24.09.2013, а ее автор – Микитинский Александр Петрович — заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 2.4.2 - «Электротехнические комплексы и системы».

Официальный оппонент –
доктор технических наук по специальности
05.09.03 Электротехнические комплексы и системы,
доцент, профессор кафедры «Автоматика и управление»
федерального государственного автономного образовательного
учреждения высшего образования
«Московский политехнический университет»,
Гасияров Вадим Рашитович,

Гасияров Вадим Рашитович

9 января 2025 г.

Подпись Гасиярова В.Р. заверяю



Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования «Московский политехнический университет»
107023, г. Москва, ул. Большая Семеновская, д. 38.
Тел.: +7(495)223-05-23, e-mail: mospolytech@mospolytech.ru,
v.r.gasiyarov@mospolytech.ru
Адрес сайта: <https://mospolytech.ru>