



СПбГЭТУ «ЛЭТИ»
ПЕРВЫЙ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЙ

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
**«Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет
«ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)»**
(СПбГЭТУ «ЛЭТИ»)

«УТВЕРЖДАЮ»

Проректор по научной и
инновационной деятельности
СПбГЭТУ «ЛЭТИ»,

д.т.н., доцент
А.А. Семенов



ОТЗЫВ

ведущей организации

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

1. Актуальность темы

Качество изделий, изготавливаемых из композиционных материалов, во многом определяется величиной натяжения нити или ленты при намотке или выкладке. Конкретные значения натяжения и допустимого диапазона его изменения определяются путем соответствующих прочностных расчетов при проектировании изделий и обеспечиваются системами регулирования натяжения при изготовлении. Несмотря на очень широкое использование изделий из композиционных материалов (КМ) в различных областях народного хозяйства теория систем регулирования натяжения, используемых при их изготовлении, практически отсутствует. При разработке этих систем используется эмпирический подход, основным недостатком которого является необходимость изготовления и испытания большого количества опытных образцов. Такой подход существенно увеличивает срок разработки намоточных и выкладочных машин и не гарантирует получения наилучшей для изготовления конкретного изделия системы регулирования натяжения. Таким образом, актуальной является задача создания методов математического моделирования и алгоритмов проектирования электротехнических систем (ЭТС) натяжения, используемых при изготовлении изделий из КМ.

Применение методик проектирования натяжных устройств, используемых в текстильной, металлургической и других отраслях промышленности, при разработке ЭТС натяжения композиционных материалов невозможно. Для повышения эффективности существующих и разработки новых систем натяжения необходимо совершенствование теории и практики таких

ЗАРЕГИСТРИРОВАНО В ОТДЕЛЕ ДЕЛОПРОИЗВОДСТВА ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова»	
за № _____	
Дата регистрации	20.01.2018
Фамилия регистрирующего	

систем.

Решению указанной проблемы посвящена диссертационная работа Микитинского А.П., в которой решается важная научно-техническая задача повышения качества изготавливаемых из КМ изделий, на основе новых методов исследования и проектирования ЭТС натяжения, используемых при намотке и выкладке изделий из композиционных материалов. Эти методы учитывают особенности технологического процесса стадии формообразования конструкций из композиционных материалов различных геометрических форм и назначений, обеспечивают создание ЭТС натяжения КМ, имеющих малые отклонения натяжения от заданных значений.

Вышесказанное позволяет нам утверждать, что диссертационная работа Микитинского А.П., посвящённая разработке методов, алгоритмов и технических мероприятий по развитию теории и практики электротехнических систем регулирования натяжения композиционных материалов является актуальной и практически значимой.

2. Соответствие паспорту научной специальности

Диссертационная работа соответствует паспорту научной специальности 2.4.2. – Электротехнические комплексы и системы в части направлений исследования:

- 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» (В диссертации 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» (В работе 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» (В работе 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; 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» (В работе проведены исследования разработанных электротехнических систем управления натяжением в различных режимах работы оборудования и при различных внешних воздействиях).

3. Анализ содержания работы

Диссертационная работа состоит из введения, семи глав, заключения, списка использованных источников из 230 наименования, приложений и содержит 369 страницы машинописного текста, 177 рисунков и 26 таблиц.

Во введении обоснована актуальность, цель работы, поставлены задачи исследований, представлена научная новизна результатов, теоретическая и практическая значимость, основные положения и результаты, выносимые на защиту, методы исследований и достоверность полученных результатов, их апробация.

Первая глава посвящена анализу существующих ЭТС натяжения и особенностей их работы в намоточном и выкладочном оборудовании. В зависимости от условий эксплуатации и формы изготавливаемых изделий, изменяются режимы работы электропривода. По этим показателям изделия разделены на два класса и шесть подклассов, характеризующихся наборами параметров, включающих допустимые отклонения величины натяжения от заданного значения. Получены аналитические выражения, позволяющие рассчитать такие отклонения.

Проведен анализ электротехнических систем, используемых при изготовлении изделий из композиционных материалов методом намотки и выкладки. Показано, что ЭТС натяжения, применяемые в настоящее время в промышленности уже не в полной мере, соответствуют современным требованиям к данным системам. ЭТС, используемые в других отраслях промышленности, непосредственно применить для производства композиционных конструкций невозможно, потому, что они не учитывают особенности технологии изготовления изделий из композиционных материалов. Выполнен обзор и анализ научных публикаций, посвященных вопросам разработки ЭТС натяжения, сформулированы цели и задачи диссертации.

Во второй главе представлены математические модели упругой ленты, полученные для процессов намотки изделий из «сухого» и «мокрого» композиционных материалов с использованием обобщенного закона Гука. При получении данных математических описаний были приняты допущения, которые не сказываются существенно на точность математического описания. Полученные выражения линеаризованы. Рассмотрено влияние параметров намоточного оборудования на коэффициенты линеаризации.

В третьей главе выполнен подробный анализ натяжных устройств и исполнительных механизмов, разработаны математические модели ЭТС натяжения, используемых при намотке изделий из «сухой» и «мокрой» композиционной ленты. Получены аналитические выражения, описывающие данные натяжные устройства. Полученные выражения позволяют обоснованно подойти к выбору как самого натяжного устройства, так и электроприводу для его управления. Отмечается, что использование натяжного устройства с двумя парами «восьмерок», увеличивает диапазон регулирования натяжения в 2 раза и уменьшает момент на валу двигателя на 30 %. В работе приведены рекомендации по выбору натяжного устройства по предлагаемым критериям выбора. Данные сведены в таблицу.

Проанализирована возможность использования в качестве исполнительного привода

различных устройств от механических тормозных устройств до синхронных двигателей с постоянными магнитами (СДПМ). Для жестких условий эксплуатации изделий рекомендовано использовать СДПМ, а в других случаях – ферропрошковые тормоза.

Приведены разработанные обобщенные структурные схемы ЭТС при намотке из «сухой» и «мокрой» композиционной ленты. В первом случае это трехконтурная система подчиненного управления. Внешний контур – контур натяжения. Во втором случае, это четырехконтурная система. Внутренний контур тока, затем контур частоты вращения, затем контур положения натяжного устройства и контур натяжения.

Получены аналитические выражения, позволяющие рассчитать эквивалентный момент двигателя при намотке изделий типа «Призма» из «сухого» композиционного материала, «Шар», «Кокон» из «мокрого» КМ.

Предложена новая методика выбора мощности привода натяжных устройств, учитывающая динамические моменты, связанные с изменением параметров при намотке композиционных изделий.

В четвертой главе выполнен анализ вариантов и обосновано построение электромеханических систем регулирования натяжения при намотке и выкладке. Рассмотрена возможность использования различных исполнительных механизмов: механических тормозов, ферропрошковых тормозов (ФТ), асинхронных двигателей, вентильно-индукторных двигателей, синхронных двигателей с постоянными магнитами (СДПМ). Показаны преимущества и недостатки использования данных механизмов. Обосновано, что при изготовлении изделий с высокими требованиями к их характеристикам целесообразно использовать СДПМ, а с невысокими – ФТ.

В этой же главе обосновано, что при намотке КИ из “сухого” композиционного материала целесообразно применять трехконтурную ЭТС, а при намотке изделий из “мокрого” композиционного материала – четырехконтурную. Приведены рекомендуемые структурные схемы электропривода, для них получены аналитические выражения передаточных функций регуляторов натяжения, позволяющие рассчитать уставки регуляторов при настройке их на модульный и симметричный оптимум.

В последнее время наметилась тенденция к использованию при намотке активного шпулярика. В работе рассмотрены подходы к построению приводов такого шпулярика.

В пятой главе предложен метод синтеза ЭТС натяжения КМ. Новизна метода заключается в том, что:

- при формулировании требований, предъявляемых к ЭТС натяжения, анализируются характеристики изделий, которые будет изготавливаться с применением разрабатываемой ЭТС, например, форма изготавливаемых изделий и требования к условиям их эксплуатации;
- на основании сформулированных требований к ЭТС и с учетом формы выпускаемой продукции обоснованно выбираются из предложенных автором математическое описание объекта управления и его структура;
- на основании информации о параметрах наматываемых изделий осуществляется выбор типа исполнительного механизма и рассчитывается мощность электродвигателя;
- на основании информации о параметрах наматываемых изделий и точности отработки электроприводом заданных законов намотки выбирается структура ЭТС, рассчитываются регуляторы.

Показано, что поскольку при намотке цилиндрических изделий параметры объекта управления изменяются незначительно можно воспользоваться известными методами синтеза ЭТС натяжения.

При намотке изделий типа «Конус» и «Цилиндр» параметры объекта управления изменяются медленно, но в широком диапазоне. Здесь при невысоких требованиях к условиям эксплуатации рекомендуется построение «робастной» ЭТС натяжения. По известной структурной схеме рассчитываются регуляторы, обеспечивающие требуемые показатели качества.

При высоких требованиях к условиям эксплуатации и при намотке изделий типа «Кокон», «Шар» рекомендуется синтез адаптивной ЭТС натяжения. На основании информации о состоянии объекта управления рассчитываются коэффициенты линеаризации дифференциального уравнения, описывающего оборудование и корректируются уставки регуляторов.

При намотке изделий типа «Призма» с высокими требованиями к условиям эксплуатации, предлагается использовать ЭТС натяжения с прогнозом состояния на несколько «шагов» вперед. При этом осуществляется минимизация квадратичного критерия качества методом поочередного изменения независимых переменных.

В шестой главе рассмотрены применения предлагаемые методы и методики в различных системах регулирования натяжения.

Исследовано влияние параметров наматываемых изделий на эквивалентный момент двигателя и его мощность при «сухой» и «мокрой» намотке. Приведены результаты испытаний электропривода в лабораторных условиях. Показано, что при использовании червячного редуктора в натяжном устройстве эквивалентный момент двигателя на 35 % больше, чем при использовании планетарного редуктора. Рекомендуется для таких приводов использовать СДПМ с планетарным редуктором.

Синтезированы и исследованы ЭТС натяжения при намотке изделий типа «Цилиндр» из «сухого» и «мокрого» композиционного материала. Приведены структурные схемы ЭТС натяжения, результаты расчета и моделирования данных систем.

Синтезирована ЭТС натяжения при намотке изделий типа «Конус» из «сухого» и «мокрого» композиционного материала при невысоких требованиях к условиям эксплуатации наматываемого изделия. Показано, что изменение параметров объекта регулирования не влияет на показатели качества ЭТС.

Для изделий типа «Шар» и «Кокон», при намотке которых коэффициенты линеаризации дифференциального уравнения, описывающего объект управления, изменяются до 20 раз, доказана необходимость использования адаптивных ЭТС натяжения. Для вычисления коэффициентов линеаризации использован метод планирования эксперимента. Предложен алгоритм работы вычислительного устройства адаптивного регулятора натяжения «мокрого» и «сухого» композиционного материала. Исследовано влияния параметров средств вычислительной техники на работу адаптивных ЭТС натяжения. Показано, что современные контроллеры и АЦП обеспечивают требуемое быстродействие для обработки информации.

Синтез ЭТС натяжения при изготовлении изделий типа «Призма» осуществлен с использованием прогноза состояния. Приведены результаты моделирования процесса намотки данного изделия с использованием П-, ПИ-, и регулятора с прогнозом состояния. Наименьшие отклонения натяжения при намотке изделия обеспечивает электропривод с оптимальным регулятором с прогнозом состояния.

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

В седьмой главе приведены рекомендации по реализации предлагаемых технических решений. Приведены технические характеристики средств измерения технологических параметров. Рассмотрены технические разработанных ЭТС натяжения, их функциональные и

структурные схемы. Приведены осциллограммы исследования ЭТС натяжения “мокрого” композиционного материала.

Выводы, содержащиеся в **заключении**, обобщают теоретические и практические результаты диссертационной работы. Выводы достоверны, теоретически обоснованы и подтверждены результатами экспериментов.

В **приложениях** приведены акты внедрения и расчет бандажа роторов высокоскоростных генераторов, выполненный из композиционных материалов.

Диссертация написана автором самостоятельно, обладает внутренним единством и завершённостью, содержит новые научные результаты и свидетельствует о личном вкладе автора диссертации в науку.

В диссертации приводится информация о практическом использовании полученных автором научных результатов.

Основные выводы и результаты диссертационной работы соответствуют поставленным задачам исследований и сформулированы автором структурно логично и содержательно. Материалы и результаты исследования изложены в объёме, достаточном для понимания их сути. Диссертационная работа написана грамотным языком, корректным в научном и техническом отношении. Имеет место достаточно высокий математический уровень изложения материала.

4. Соответствие содержания автореферата основным положениям диссертации

Содержание автореферата полностью соответствует содержанию диссертации и отражает основные результаты, полученные в процессе ее выполнения.

5. Степень достоверности результатов и обоснованности выводов

Обоснованность и достоверность научных положений, теоретических выводов, результатов и рекомендаций обеспечивается корректным использованием математического аппарата, обоснованностью принятых допущений, адекватностью используемых математических моделей исследуемым процессам, и подтверждением хорошей сходимости результатов аналитических расчётов и математического моделирования с экспериментальными данными. Обоснованность основных выводов и рекомендаций подтверждена испытаниями и внедрением предложенных технических решений при создании систем управления электроприводами.

6. Апробация работы и подтверждение опубликования её основных положений и результатов

Основные результаты работы докладывались и обсуждались на международных и всероссийских конференциях. По материалам диссертации опубликовано 43 печатных работ, в том числе 10 статьи в рецензируемых научных изданиях из списка ВАК, 10 статей, проиндексированных в наукометрических базах Scopus и Web of Science, 1 свидетельства о регистрации.

Акты об использовании и внедрении результатов диссертационной работы представлены в приложении к диссертации.

В диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем работах, в которых изложены основные научные результаты диссертации.

7. Научная новизна и теоретическая значимость результатов и выводов

Научная новизна основных положений и результатов работы заключается в следующем.

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 три методики:

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

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

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

Теоретическая значимость исследований автора определяется тем, что результаты диссертационной работы являются развитие теории и практики электротехнических систем регулирования натяжения композиционных материалов. Создана научно-методическая основа для совершенствования электротехнических систем регулирования натяжения композиционных материалов, разработки более эффективных методов и алгоритмов управления ЭТС натяжения.

Все научные положения, выносимые на защиту, выводы и рекомендации принадлежат лично соискателю.

8. Практическая значимость работы

Значимость полученных результатов диссертационной работы для практики:

- методика выбора мощности привода натяжных устройств, реализованная при модернизации намоточного станка КУ-421М для изготовления Силовой оболочки корпуса 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 ОРД системы РБАС РН «Союз-5» 374СА11.01.10.000 (АЕВ 02101.11009, АЕВ 02101.11.300) и Силовой оболочки корпуса 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».

9. Замечания по диссертационной работе

1. Насколько влияет сила натяжения материала при формообразовании конструкции на качество изготавливаемых изделий? В этой связи, какие предъявляются требования к силам натяжения материала и их допустимым отклонениям?

2. Неясно, как измеряются силы натяжения ленты и ее составляющих, не указаны места расположения датчиков в трактах протяжки и их конструкция.

3. В работе лента рассматривается как изотропный материал, а силы натяжения в ленте рассматриваются как некоторое усредненное значение составляющих ее компонентов. Насколько обосновано такое представление ленты, когда в процессе ее укладки на текущую поверхность изготавливаемой конструкции изменяется геометрия наматываемых изделий и появляется разница в натяжении по ширине ленты?

4. Учитывается ли влияние скорости движения ленты в линеаризованных уравнениях, описывающих тракт намотки?

5. Как будет обрабатываться предлагаемая в диссертации система контроля натяжения ленты случай отрицательной скорости ее движения?

10. Соответствие диссертации критериям «Положения о присуждении учёных степеней»

Диссертационная работа Микитинского А.П. соответствует требованиям п.п. 9-14 «Положения о присуждении учёных степеней», утверждённого Постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 г. №842:

П.9. Диссертация является законченной научно-квалификационной работой, в которой автором произведено развитие теории и практики электротехнических систем натяжения композиционных материалов.

П.10. Диссертация написана автором самостоятельно, обладает внутренним единством, содержит новые научные результаты и положения, выдвигаемые для публичной защиты, свидетельствующие о личном вкладе соискателя в науку. В диссертации представлены сведения о практической полезности результатов, рекомендаций и использования научных выводов.

П.11-П.13. 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. Научные публикации, изданные в период работы над диссертацией, соответствуют тематике диссертационной работы и с достаточной полнотой отражают её суть, основные результаты и выводы.

П.14. В диссертации и автореферате 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.

11. Общее заключение

Представленная на отзыв диссертационная работа Микитинского А.П. является самостоятельной научно-квалификационной работой, обладающей признаками актуальности, новизны и практической значимости. В ней решена важная научно-техническая проблема по развитию теории и практики электротехнических систем натяжения композиционных материалов, внедрение которых вносит значительный вклад в развитие Российской Федерации.

Основные научные выводы и практические рекомендации сделаны на основе подробного анализа проблемы с использованием разработанных автором способов, методов и методик. Содержание представленной диссертационной работы полностью соответствует паспорту специальности 2.4.2. Электротехнические комплексы и системы.

Содержание диссертации полностью соответствует заявленным целям и поставленным задачам и подробно отражает последовательность их решения. Диссертация написана грамотным языком, выводы и рекомендации изложены аргументировано. Основные научные результаты работы подробно изложены в публикациях в рецензируемых изданиях из Перечня ВАК, а также в изданиях, индексируемых в базах цитирования Scopus и Web of Science.

Сделанные в п.9 замечания носят частный характер и не снижают в целом положительной оценки диссертационной работы.

Диссертационная работа А.П. Микитинского полностью отвечает требованиям п.п. 9-14 «Положения о присуждении учёных степеней», утверждённого Постановлением Правительства от 24 сентября 2013 г. №842 (с дополнениями), а соискатель заслуживает присуждение ему учёной степени доктора технических наук по специальности 2.4.2. Электротехнические комплексы и системы.

Диссертация и отзыв обсуждены на заседании кафедры «Робототехника и автоматизация производственных систем» СПбГЭТУ «ЛЭТИ», протокол № 1 от 14 января 2025 года.

Отзыв подготовил исполняющий обязанности заведующего кафедрой «Робототехника и автоматизация производственных систем» Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургского государственного электротехнического университета «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)», кандидат технических наук Денис Михайлович Филатов.

И. о. заведующего кафедрой РАПС,
кандидат технических наук



Д.М. Филатов

Профессор кафедры РАПС,
доктор технических наук, профессор



М.П. Белов

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)»

Адрес: 197022, г. Санкт-Петербург, ул. Профессора Попова, дом 5 литера Ф

Телефон: +7 (812) 234-46-51, телефон каф. РАПС +7 (812) 346-12-48

Электронная почта: info@etu.ru, DMFilatov@etu.ru