

На правах рукописи



Баранов Денис Сергеевич

ЭЛЕКТРОПРИВОД НАМОТОЧНОГО СТАНКА С АДАПТИВНОЙ
СИСТЕМОЙ УПРАВЛЕНИЯ

Специальность: 05.09.03 – Электротехнические комплексы и системы

АВТОРЕФЕРАТ

на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Воронеж 2022

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Воронежский государственный технический университет».

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор Литвиненко Александр Михайлович.

Официальные оппоненты:

Колганов Алексей Руфимович, доктор технических наук, профессор кафедры «Электропривод и автоматизация промышленных установок» ФГБОУ ВО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина»;

Воеков Владимир Николаевич, кандидат технических наук, электрик по объемно-календарному планированию цеха по ремонту прокатного оборудования, ПАО «НЛМК» г. Липецк.

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тамбовский государственный технический университет».

Защита состоится «13» мая 2022 года в 15:00 на заседании диссертационного совета Д 212.108.01 при Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Липецкий государственный технический университет» по адресу: 398055, г. Липецк, ул. Московская, д. 30, административный корпус, ауд. 601.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Липецкий государственный технический университет» www.stu.lipetsk.ru.

Автореферат разослан «11» марта 2022г.

Ученый секретарь
диссертационного совета



В.В. Телегин

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Постоянно растущие требования к технологичности производственных процессов и их качеству делают актуальной задачу адаптации системы управления намоточных станков, поскольку их специфика определяет необходимость регулирования производительности и исключения нерационального использования обмоточного провода.

Технический прогресс в области аэронавтики, высокоскоростной навигации, космической и ракетной техники сделал приоритетным решение вопроса уменьшения размеров, веса, энергопотребления, повышения точности и сокращения сроков изготовления навигационного оборудования, где основными приборами являются гироскопы.

На сегодняшний день широко используются роторные вибрационные гироскопы (РВГ).

Для изготовления таких сложных устройств требуются новые технологии изготовления обмоток. Уход от зубцовой зоны воздушного зазора приводит к необходимости производства гладких (беспазовых) обмоток. Кроме того, в некоторых конструкциях для дальнейшей миниатюризации изделий может потребоваться переход на сверхтонкие провода, но проверенный производственный процесс не всегда срабатывает. Прежде всего, необходимо обеспечить равенство с определенной точностью характеристик катушек, составляющих всю обмотку. Это требование и очень тонкая изоляция оказывают значительное влияние на характеристики обмотки. Беспазовые обмотки достаточно часто применяются в изделиях спецтехники. Необходимость применения сверхтонкого провода для изготовления обмотки представляет главную трудность в производстве изделия, а также важно то, что уменьшение выхода годных изделий может произойти из-за любой неправильно выполненной операции. Плотная намотка витков катушки относительно друг друга обеспечивает устойчивость ее параметров. Вопросом намоточных станков занимались отечественные ученые В.Ф. Глазунов, Н.М. Цветков, Е.А. Скороходов, а также зарубежные David. J. Ginyvery, James K. Good, David R. Roisum.

Степень разработанности. Результаты проведенных ранее исследований по адаптации носят разрозненный характер и не могут быть применены к данному специфическому объекту управления, таким образом появляется необходимость синтеза подхода, который объединяет различные каналы управления натяжением с помощью применения адаптивного подхода.

Цель работы: синтез адаптивной системы управления, обеспечивающий заданную точность натяжения сверхтонкого провода в намоточном станке, достигаемую применением двухканальной системы управления.

Для достижения сформулированной цели в диссертационной работе поставлены и решены **следующие задачи:**

1. Техническое задание на разработку двухканальной и адаптивной системы управления.

2. Структурно-параметрический синтез электропривода намоточного станка, обладающего повышенной способностью воспроизведения заданной точности натяжения.

3. Моделирование электропривода намоточного станка с целью адаптации и применения двухканальной системы управления.

4. Осуществление критического анализа с целью оценки достоверности используемых алгоритмов и выявления особенностей работы электромеханической системы намоточного станка.

Объект исследования: электромеханическая система с двухдвигательными частотными электроприводами в намоточных станках.

Предмет исследования: частотно-регулируемые электроприводы с векторным управлением, работающие на упругую нагрузку.

Идея работы: заключается в одновременном использовании привода шпинделя намоточного станка и привода ролика натяжения с целью получения синергетического эффекта.

Методология и методы исследования: для решения поставленных задач использовались методы теории систем управления электромеханическими системами, теории электрических цепей, теории автоматического управления, теоретических основ электротехники с применением пакетов прикладных программ.

Научная новизна основных положений, выносимых на защиту:

1. Установлено, что экспериментальное и теоретическое осуществление критического анализа характеристик электромеханической системы в зависимости от конструктивных параметров объекта показало, что система управления намоточного станка, отличающаяся наличием двух каналов регулирования, является наиболее рациональной.

2. Разработана замкнутая система управления, характеризующаяся тем, что она дает возможность реализовать модификацию законов управления в рамках программно-аппаратного комплекса.

3. Синтезирована компьютерная модель системы управления двухдвигательным электроприводом, включающая математическое описание и отличающаяся возможностью реализации более равномерного натяжения провода, что приводит к резкому уменьшению брака.

4. Проведенные исследования системы управления электротехническим комплексом двухдвигательного электропривода намоточного станка, характеризующиеся наличием двух каналов управления, позволили реализовать параметры технического задания и установить необходимые параметры натяжения для каждого из каналов.

Основные положения, выносимые на защиту:

- получены результаты численных экспериментов и синтезированная на их основе методика расчета натяжения на всех участках технологической цепи;
- разработана математическая модель, реализующая двухканальное управление натяжением;
- разработана адаптивная система управления натяжением сверхтонкого провода, реализующая учет растяжения;
- получены результаты экспериментального исследования на макете и на реальном намоточном станке.

Тематика работы соответствует следующим пунктам паспорта специальности 05.09.03:

1. Развитие общей теории электротехнических комплексов и систем, изучение системных свойств и связей, физическое, математическое, имитационное и компьютерное моделирование компонентов электротехнических комплексов и систем.

2. Разработка, структурный и параметрический синтез электротехнических комплексов и систем, их оптимизация, а также разработка алгоритмов эффективного управления.

Практическая реализация работы и её результатов: основные зависимости синтезированы в ходе диссертационной работы, положены в основу рекомендации по модернизации электропривода намоточного станка на АО «РИФ» г. Воронеж. Также результаты работы использованы при разработке методических указаний по дисциплине «Нелинейное управление в динамических системах», которые применены в учебном процессе ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет».

Достоверность полученных результатов обеспечивается адекватной постановкой задачи исследования, совпадением теоретических прогностиче-

ских рекомендаций с исследованиями, проведенными на реальной модели намоточного станка.

Апробация работы. Научные и практические результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на следующих конференциях: Международной научно-практической конференции, «Альтернативная и интеллектуальная энергетика» (Воронеж, 2018, 2020); Региональной научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «УМНИК-2018», (Воронеж, 2018); Международной научно-технической конференции «Новые технологии в научных исследованиях, проектировании, управлении, производстве (НТ – 2019)» (Воронеж, 2019); Международной конференции по электромеханике и робототехнике «Завалишинские чтения XV» (Санкт-Петербург-Уфа, 2020); 2020 International Russian Automation Conference (RusAutoCon) (Сочи, 2020).

Публикации. По теме диссертации опубликовано 16 печатных работ, из них 3 - в изданиях, входящих в перечень ВАК РФ, и 2 - в изданиях, индексируемых в наукометрической базе данных Scopus. Получены 5 патентов РФ.

Структура и объём диссертации. Диссертация состоит из введения, пяти глав, выводов по работе, списка использованной литературы из 124 источников и 3 приложений. Объём работы составляет 135 страниц, в том числе 68 рисунков и 4 таблицы.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы, сформулирована цель диссертационной работы, отмечены научная новизна и практическая ценность результатов исследований, изложены основные положения, вынесенные на защиту, и результаты апробации работы.

В первой главе рассмотрены наиболее распространенные системы приводов намоточных станков и механизмов регулирования натяжения. Описаны существующие средства контроля натяжения и особенности построения многокоординатных систем намоточных станков. Сформулирована необходимость управления натяжением провода, обоснованы принципы подчиненного регулирования к системе управления двухфазным асинхронным двигателем.

Во второй главе проведено исследование электропривода намоточного станка на его математических моделях. Построены кинематическая, функциональная и структурная схемы намоточного станка.

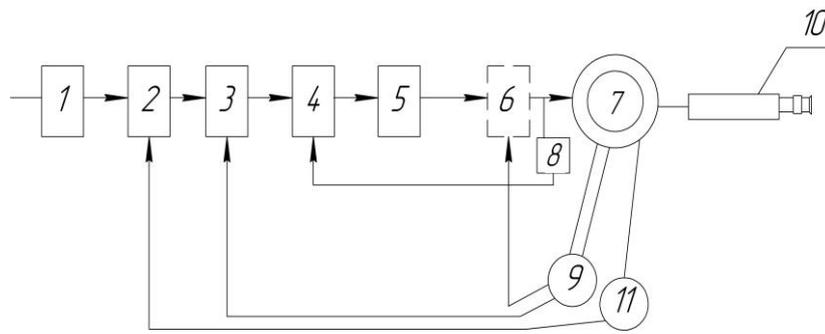


Рисунок 1 – Функциональная схема электропривода намоточного станка

1 – устройство с числовым программным управлением; 2 – регулятор положения; 3 – регулятор скорости; 4 – регулятор тока; 5 – преобразователь частоты; 6 – регулятор растяжения провода; 7 – асинхронный двигатель; 8 – датчик тока; 9 – датчик скорости; 10 – исполнительный механизм (укладчик); 11 – датчик положения

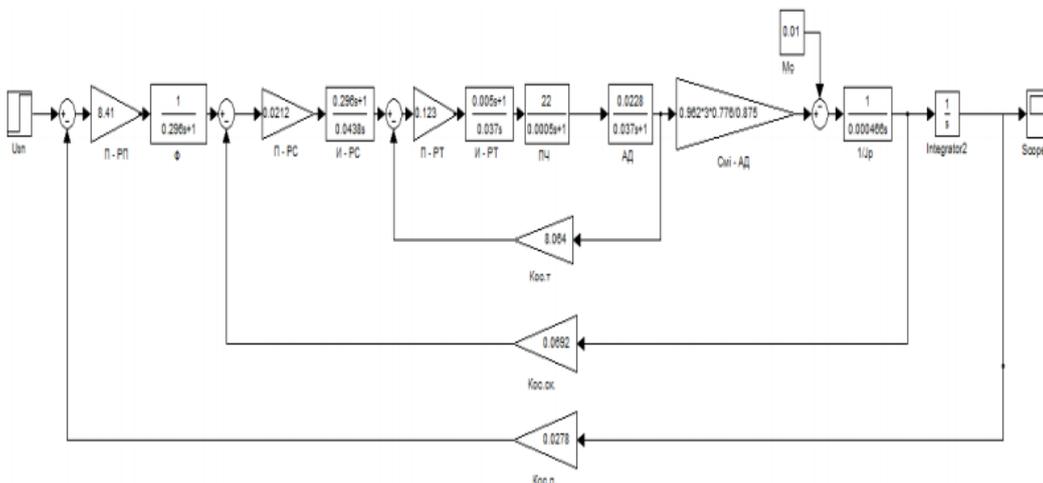


Рисунок 2 – Структурная схема контура положения с ПИ – регулятором в пакете MATLAB&Simulink

В третьей главе в рамках решения поставленной задачи адаптации с помощью электропривода натяжения провода в намоточном станке были подобраны технологические режимы изготовления катушек на намоточном станке. В поставленном эксперименте по намотке миниатюрной катушки проводом марки ПЭТР-155 с диаметром медной жилы $d=0,025$ мм были обеспечены требования к допустимому натяжению провода.

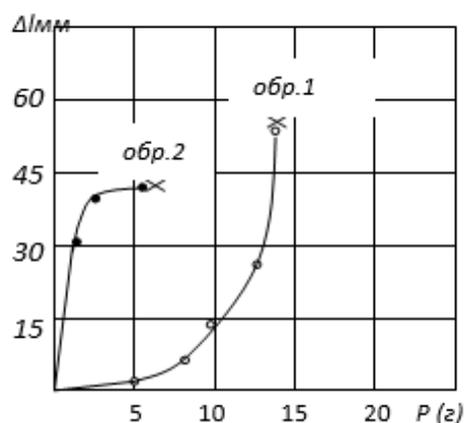


Рисунок 3 – Поведение образцов медного провода $d=0,025$ мм при растяжении

На рисунке 3 приведены результаты испытания провода на растяжение статическим усилием (образец 1) и при намотке на станке с регулировкой статического усилия натяжения от 1 до 7 гс, допустимого согласно требованиям изготовителя к проводу (образец 2). По вертикальной оси показано удлинение провода в расчете на 1 м длины. Из сравнения приведенных кривых следует вывод, что при намотке на станке провод испытывает дополнительные усилия, приводящие к растяжению и обрыву при меньших значениях статического усилия. Это обусловлено возникновением дополнительных динамических усилий в системе катушка-провод-каркас (КПК). Они связаны с изменением скорости движения провода в процессе намотки на шаблон, что обусловлено многими факторами: баллонированием провода в устройстве смотки, инерционными параметрами направляющих роликов, натяжного устройства, массой и изменением скорости движения отрезка провода на отрезке тракта КПК и др.

Чаще всего используются шаблоны круглого, квадратного или прямоугольного сечения с различным соотношением размеров сторон.

На рисунке 4 линиями 3" и 4" показано изменение ускорения провода для шаблонной прямоугольной и пластинчатой формы. Из приведенной иллюстрации со всей очевидностью следует вывод, что именно изменение скорости движения провода приводит к возникновению колебаний силы натяжения, что и приводит к недопустимым растяжениям, увеличению сопротивления току, повреждению изоляции и обрывам.

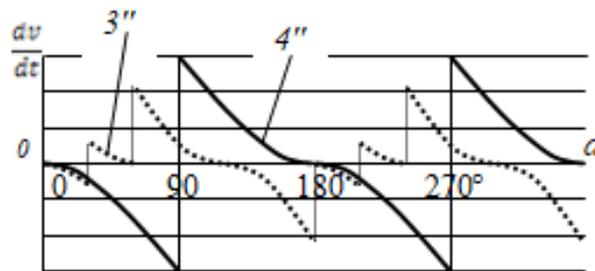


Рисунок 4 – Ускорение движения провода при намотке на шаблон прямоугольной (3'') и пластинчатой (4'') форм

Особое внимание на рисунке 4 привлекают резкие скачки ускорения от отрицательного к максимуму положительного значения в соответствии с линией 4''. Это наиболее характерно для случая пластинчатого шаблона, когда длинной меньшей грани можно пренебречь. Это может привести к провисанию провода, а затем – к резкому рывку с известными негативными последствиями.

Для уменьшения динамического усилия просматриваются два решения. Суть первого предусмотрена регулированием скорости вращения шаблона. Налицо сокращение размаха колебания этой скорости, а следовательно – и действующих на провод ускорений. Реализация такого варианта потребует существенной модернизации как конструкции станка, так и системы управления его приводами.

Для решения задачи в существующих условиях было принято решение в ущерб производительности пойти другим путем. Использован настольный универсальный станок для намотки прецизионных катушек - СНП-0,1-150В «Пульсар». Звенья системы КПК станка были по возможности скорректированы с учетом требований к режиму намотки. С этой целью увеличены углы перегиба провода в направляющем тракте, уменьшена инерционность тракта за счет перехода к неподвижным роликам с использованием материалов с минимальным коэффициентом трения, сокращена длина баллонировуемой части провода в устройстве смотки и др.

Наладка системы КПК на заданное натяжение $T_{ст}$ производится статически до пуска станка путем торможения провода роликом с определенной силой, которую в данном случае можно определить из выражения

$$T_{ст} = T_0 + 2pf_3 \quad (1)$$

откуда удельная сила

$$p = \frac{T_{ст} - T_0}{2 \cdot f_3} \quad (2)$$

При статической настройке станка приблизительно можно считать, что натяжение ведомой ветви провода $T_0 = 0$, отсюда

$$p = \frac{T_{ст}}{2 \cdot f_3} \quad (3)$$

где f_3 – коэффициент трения провода по фторопластовому ролику.

Наиболее радикальным оказалось снижение частоты вращения namoточного шаблона. Это позволило сократить размах колебаний провода и, как следствие, уменьшить величину и скачки ускорения провода. Поскольку катушку следовало выполнять с рядовой укладкой витков в 17 слоев, возникла необходимость настройки режима для каждого слоя отдельно.

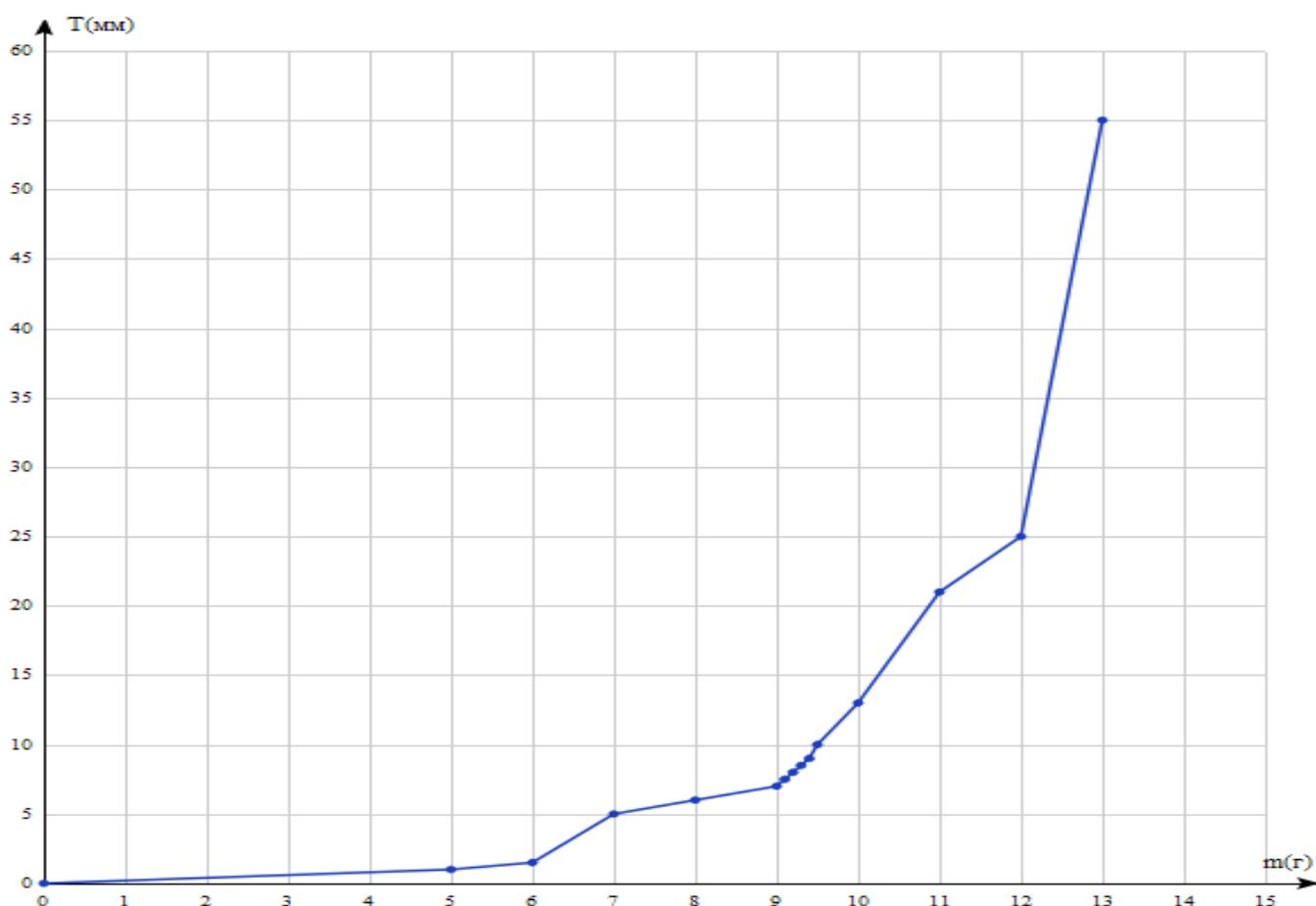


Рисунок 5 – Экспериментальное растяжение провода (грубый канал настройки)

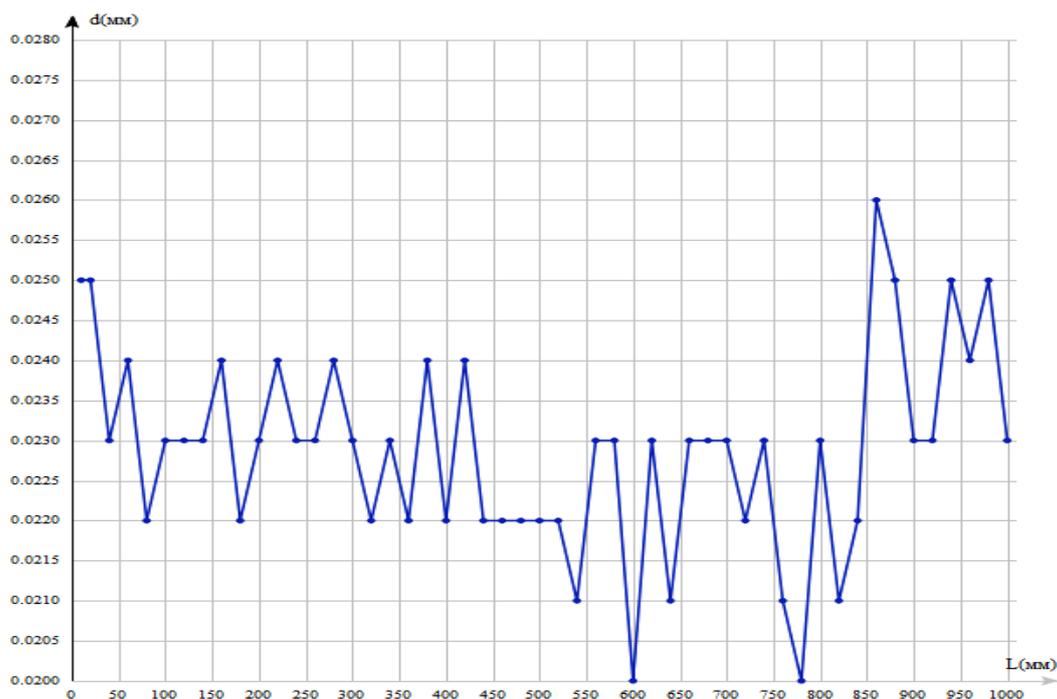


Рисунок 6 – Разброс диаметра провода на длине 1 м

Кроме того, явилось целесообразным построение структурно-функциональной модели электромеханической системы намоточной машины до и после адаптации, а также математическое моделирование системы натяжения и ее расчет.

Намотку эмальпроводом можно рассмотреть, как намотку тонкой гибкой нитью. При расчете нити на прочность, вычислении поверхностных сил, действующих на нить, а также в ряде других случаев необходимо также учитывать поперечные размеры нити.

На основании полученных расчетов была построена эпюра натяжения провода.

Для достижения поставленной цели было проведено моделирование двух систем управления электроприводом: 1) на прямоугольном каркасе; 2) на прямоугольном каркасе с использованием компенсатора, подключенного к приводному двигателю. Компенсатор выполнен на основе датчика поворота катушки и инвертора, который соединен с двигателем намотки.

Как видно из рисунка 7, стабилизация позволяет обеспечить уменьшение натяжения почти в 3 раза, что в свою очередь уменьшает энергопотребление, обеспечивает энергосбережение, а при заданном повышенном уровне натяжения увеличивает производительность. Данные положения были проверены экспериментально на реальном электроприводе намоточного станка модели СНП-0,1-150В «Пульсар», что позволило уменьшить процент брака в 2 раза.

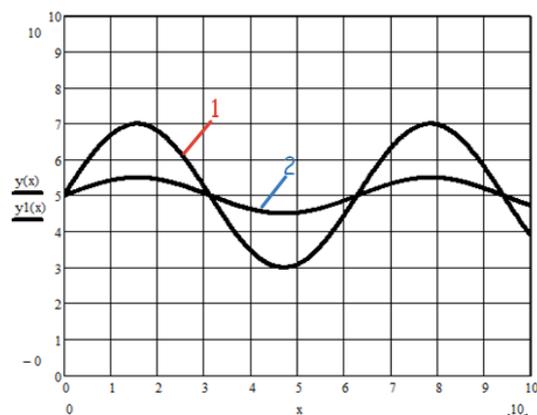


Рисунок 7 – Сравнение натяжения с компенсатором и без него

Используя полученные данные, была построена модель в программном пакете Matlab.

По результатам моделирования определено, что в моменты времени $T = 1\text{ с}$ и $T = 3.5\text{ с}$ произошли скачки силы натяжения. Это является основной причиной высокого процента брака. Для устранения данного недостатка необходимо обеспечить станок такой системой управления, которая позволит сгладить синусоидальный характер поведения функции силы и уменьшить ее скачки, т.е. добиться равномерности.

В четвертой главе рассмотрены характеристики тензодатчиков, схемы тензорезисторов, а также проведено сравнение натяжения до оптимизации и после оптимизации.

При доработке электронного блока управления и контроля необходимо включить в него следующие части: АЦП, ЦАП, усилитель, датчик натяжения, цифровые индикаторы, генератор импульсов, датчик предварительного натяжения, блок питания, реверсивный счетчик и узел сравнения, усилитель мощности.

При включенном питании электронного блока и остановленном станке, реверсивный счетчик обнулен сигналом с датчика движения, на ЦАП подан сигнал с датчика предварительного натяжения, пропорциональный предварительному натяжению провода.

В момент пуска станка начинается движение провода, которое вызывает срабатывание датчика движения, включающего реверсивный счетчик и, следовательно, систему автоматического регулирования. Натяжение в проводе вызывает деформацию силоизмерительной балки и разбаланс тензомоста, сигнал с выхода которого усиливается и поступает на узел сравнения, где сравнивается

по величине с сигналом задатчика натяжения. В зависимости от соотношения этих сигналов узел сравнения выдает на реверсивный счетчик один из двух сигналов: разрешение на наложение импульсов с генератора, когда сигнал с усилителя меньше сигнала с задатчика натяжения, и разрешение на вычитание импульсов, когда сигнал с усилителя больше сигнала с задатчика натяжения. ЦАП преобразует сигнал с выхода реверсивного счетчика в аналоговый вид, который после формирования в усилителе мощности воздействует на катушку управления натяжного устройства, изменяя величину натяжения пропорционально величине сигнала. При этом сигнал с выхода тензомоста после усиления преобразуется АЦП в семисегментный код и отображается на цифровых индикаторах, служащих для визуального контроля величины натяжения в процессе работы, а также настройки на заданную величину задатчика натяжения.

Стабилизация величины натяжения в процессе намотки осуществляется следующим образом.

При возрастании величины натяжения больше заданного значения происходит увеличение деформации силоизмерительной балки и увеличение сигнала на выходе усилителя, которое приводит к выработке узлом сравнения сигнала разрешения на вычитание импульсов из реверсивного счетчика. При этом сигнал на выходе ЦАП уменьшается и вызывает снижение величины питающего напряжения катушки управления натяжного устройства, что приводит к уменьшению натяжения провода до тех пор, пока сигналы на выходах усилителя и задатчика натяжения не сравниваются.

При снижении величины натяжения менее заданного значения происходит уменьшение деформации силоизмерительной балки и уменьшение сигнала на выходе усилителя, которое приводит к выработке узлом сравнения сигнала разрешения на сложение импульсов в реверсивном счетчике. При этом сигнал на выходе ЦАП увеличивается и вызывает увеличение питающего напряжения катушки управления натяжного устройства, что приводит к увеличению натяжения провода.

Быстродействие регулирования системы выбираем изменением частоты следования импульсов генератора. Высокочастотные колебания величины натяжения провода компенсируются специальным упругим механическим компенсатором.

Таким образом, доработанное натяжное устройство позволяет автоматически выходить на заданную величину натяжения и стабилизировать ее с необ-

ходимой точностью, что дает основание отнести его к адаптивным системам регулирования.

Для поддержания постоянной линейной скорости намотки $v(t) = v_0$ необходимо во время намотки уменьшать угловую скорость $\omega(t)$ так, чтобы

$$r(t)\omega(t) = v(t) = v_0 \quad (4)$$

Уравнение вращения катушки имеет вид

$$\frac{d}{dt}[g(t)\omega(t)] = xU(t) - \psi\omega(t) \quad (5)$$

В уравнении (5) использованы следующие обозначения: $U(t)$ – напряжение на входе электродвигателя; x – коэффициент пропорциональности между вращающим моментом двигателя и его входным напряжением; ψ – коэффициент трения вращения. Управлением в данном случае является $U(t)$, а регулируемой величиной – $\omega(t)$, которую необходимо менять так, чтобы выполнялось условие (4).

Получено выражение для закона изменения напряжения:

$$U_{ном}(t) = \frac{1}{x} \left[\frac{d}{dt}(g(t)\omega_{ном}(t)) + \psi\omega_{ном}(t) \right] \quad (6)$$

В теории устойчивости $\omega_{ном}(t)$ – номинальное значение для угловой скорости и $U_{ном}(t)$ – номинальное управляющее напряжение, которые принято называть невозмущенным решением. Для возмущенных значений соответствующих переменных:

$$x(t) = g(t)[\omega(t) - \omega_{ном}(t)], \text{ и } (t) = U(t) - U_{ном}(t) \quad (7)$$

$$\text{Получаем уравнение } \dot{x}(t) = -\psi g^{-1}(t)x(t) + x(t) \quad (8)$$

Исходя из найденных зависимостей $r(t)$ и $g(t)$ от времени при постоянной скорости намотки v_0 , решено уравнение Риккати:

$$P(t) - 2\psi g^{-1}(t)P(t) - x^2 p^{-1} \dot{P}^2(t) = -r^2(t)g^{-2}(t), P(T) = 0 \quad (9)$$

Уравнение (9) можно проинтегрировать численно.

На основании изложенного была построена модель системы натяжения в среде в Matlab.

Оценка адекватности математической модели для реальных физических объектов проводилась путем сравнения значений коэффициента отбраковки по-

сле экспериментальной адаптации с теми же параметрами, приобретенными путем компьютерного вычисления. Для данных условий применена параметрическая адаптация, что схемотехнически выражается в изменении коэффициента усиления, функции формы шаблона и параметров провода. Аппаратно адаптация реализована через преобразователь частоты TOSHIBA VFNC3S-2004P-W.

В пятой главе произведено сравнение технико-экономических показателей, проведено описание установки для проверки катушек. Результаты проверки приведены на рисунках.

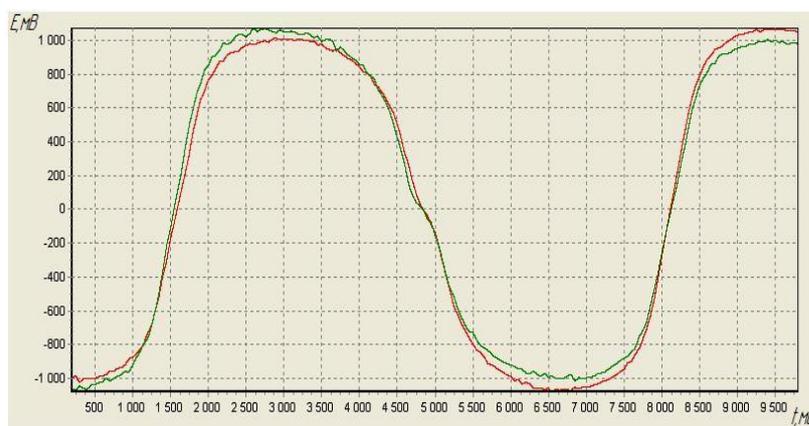


Рисунок 8 – Недопустимое различие сигналов, снятых с пары катушек

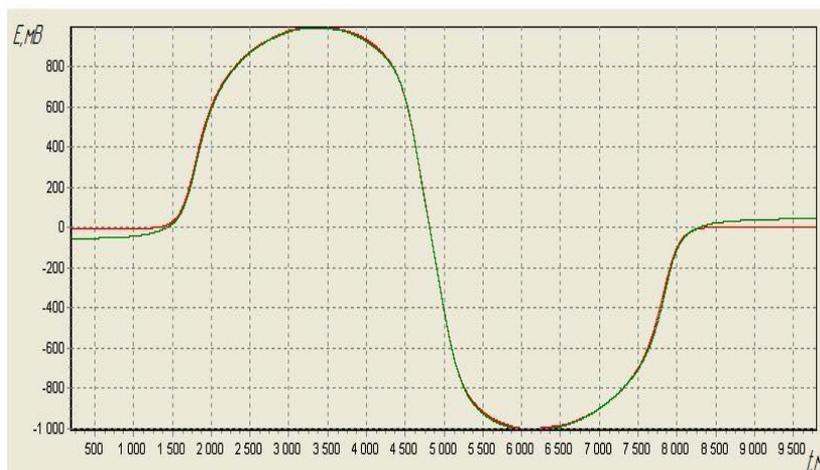


Рисунок 9 – Допустимое совпадение сигналов, снятых с пары катушек

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результатом диссертационной работы, основанной на осуществленном критическом анализе, является полученное решение по проектированию и исследованию практических научно-технических задач для электромеханической системы намоточной машины. Был спроектирован и внедрен дополнительный

канал для регулирования натяжения в процессе намотки на основе теоретических данных.

Из полученного в диссертации материала можно сделать следующие выводы:

1. Спроектирована модернизированная структура электромеханической системы намоточной машины с адаптивной системой регулирования, связанная с параметром натяжения в зависимости от рабочих режимов.

2. Проведен критический анализ существующих систем натяжения, который позволил выявить наиболее оптимальную структуру электропривода применительно к прецизионной технологической системе.

3. При синтезе системы управления были использованы принципы подчиненного регулирования приводов постоянного тока по отношению к мало-мощным асинхронным двигателям.

4. Адаптация с помощью дополнительного канала управления натяжением увеличивает процент выхода годных изделий при изготовлении, что видно из результатов теоретических и экспериментальных исследований электромеханической системы намоточной машины с адаптивной системой регулирования.

5. Результаты компьютерного моделирования были подтверждены экспериментальными данными, которые сравнивались с результатами исследования физической модели. Сравнение результатов показало совпадение на 85%, ошибка в 15% объясняется небольшим расхождением в расчетах физической и компьютерной моделей.

6. Рост эффективности эксплуатационного времени работы намоточной машины происходит за счет совместного использования двух каналов регулирования натяжения. Уменьшение процента брака на производстве достигается благодаря синергетическому эффекту увеличения эффективности, который кроме того достигается за счет полноценного регулирования на всех участках технологической цепи.

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Публикации в научных изданиях, рекомендованных ВАК РФ:

1. Литвиненко, А.М. Адаптивная система управления электроприводом намоточного станка / А. М. Литвиненко, Д. С. Баранов // Электротехника. – 2020. – № 10. – С. 31-36.

2. Литвиненко, А.М. К определению погрешностей изготовления катушек на намоточном станке с электрическим приводом / А.М. Литвиненко, Д.С. Баранов // Вести высших учебных заведений Черноземья. – 2019. – №1. – С. 43-48.

3. Литвиненко, А.М. Исследование особенностей изготовления катушек на намоточном станке с электрическим приводом / А.М. Литвиненко, Д.С. Баранов, Е.Р. Евтушенко // Вести высших учебных заведений Черноземья. – 2019. – №2. – С. 30-36.

Публикации в изданиях, индексируемых в наукометрической базе данных Scopus:

4. Litvinenko, A.M. An adaptive control system for a winding-machine electric drive / A.M. Litvinenko, D.S. Baranov. – Russian Electrical Engineering. – 2020. Vol. 91. – P. 620-625.

5. Burkovsky, V. L. Optimal Control of Specialized Electric Drive / V. L. Burkovsky, A. M. Litvinenko, D. S. Baranov // International Russian Automation Conference. IEEE. – P. 16 – 21.

Статьи в научных журналах, сборниках научных трудов и материалах конференций:

6. Литвиненко, А. М. Применение намоточных станков для обмоток из сверхтонкого провода / А. М. Литвиненко, Г. А. Пархоменко, Д. С. Баранов // Энергия - XXI век. – 2019. – № 1-2. – С. 75-78.

7. Литвиненко, А. М. Оптимальное управление намоткой / А. М. Литвиненко, Д. С. Баранов // Новые технологии в научных исследованиях, проектировании, управлении, производстве: труды Всерос. конф.– Воронеж, 2019. – С. 329-334.

8. Литвиненко, А. М. Оптимальное управление специализированным электроприводом / А. М. Литвиненко, Д. С. Баранов, А. Е. Новиков // Завалишинские чтения: труды XV Междунар. конф. по электромеханике и робототехнике. – Санкт-Петербург, 2020. – С. 100-105.

9. Литвиненко, А. М. Электропривод намоточного станка / А.М. Литвиненко, Д.С. Баранов // Научная опора Воронежской области: сб. тр. – Воронеж, 2019. – С.461-466.

10. Литвиненко, А. М. Энергосберегающий электропривод намоточного станка / А. М. Литвиненко, Е. Р. Евтушенко, Д. С. Баранов // Альтернативная и интеллектуальная энергетика: материалы Междунар. науч.-практ. конф. – Воронеж, 2018. – С. 258-259.

11. Литвиненко, А. М. Электропривод намоточного станка с системой подчиненного управления / А. М. Литвиненко, Д. С. Баранов, А. Е. Новиков // Альтернативная и интеллектуальная энергетика: материалы Междунар. науч.-практ. конф. – Воронеж, 2020. – С. 295-296.

Патенты РФ:

12. Патент 2695678 Российская Федерация, МПК В65Н 63/00 (2006.01). Устройство для управления намоточным станком: №2018125579: заявл.11.07.2018: опубл. 25.07.2019 / Литвиненко А.М., Баранов Д.С.; заявитель и патентообладатель Воронежский государственный технический университет. – 7 с.

13. Патент 2704493 Российская Федерация, МПК В65Н 54/08 (2006.01) Электропривод намоточного станка: №2018125577: заявл.11.07.2018: опубл. 29.10.2019/ Литвиненко А.М., Баранов Д.С.; заявитель и патентообладатель Воронежский государственный технический университет. – 7 с.

14. Патент 2751210 Российская Федерация, МПК Н02К 15/00 (2006.01) Устройство для пропитки обмоток: №2019116578: заявл. 29.05.2019: опубл. 12.07.2021/ Литвиненко А.М., Баранов Д.С.; заявитель и патентообладатель Воронежский государственный технический университет. – 7 с.

15. Патент 2751372 Российская Федерация, МПК В60L 50/13 (2019.01) Тяговый электропривод: №2020122490: заявл. 02.07.2020: опубл. 13.07.2021 / Литвиненко А.М., Новиков А.Е., Баранов Д.С.; заявитель и патентообладатель Воронежский государственный технический университет. – 8 с.

16. Патент 2758078 Российская Федерация, МПК Н02Р 6/06 (2006.01) Способ управления электроприводом: 2020122492: заявл. 02.07.2020: опубл. 26.10.2021 / Литвиненко А.М., Баранов Д.С.; заявитель и патентообладатель Воронежский государственный технический университет. – 8 с.

Личный вклад автора в работах, написанных в соавторстве, заключается в следующем: в [1] проведена оценка требований к электроприводу намоточного станка; в [2] обосновано влияние производственных погрешностей на технологический процесс «намотки» и произведен анализ точности технологического процесса намотки миниатюрных катушек из обмоточного сверхтонкого эмальпровода; в [3] произведен расчет натяжения тонкой нити намоточного станка при использовании прямоугольной катушки; в [4,5] произведены настройка и построение контуров регулирования электропривода намоточного станка в пакете «Matlab»; в [6] предложен анализ технологических режимов намотки катушки сверхтонким проводом и специальная наладка намоточного станка; в

[7,8] описана актуальность адаптации системы управления намоточным станком; в [9,10] предложена методика расчета оптимального управления миниатюрных катушек из сверхтонкого провода; в [11] обосновано введение блока учета растяжения в систему управления намоточным станком; в [12] предложен дополнительный датчик оборотов двигателя, отвечающий за учет оборотов на валу смоточной катушки при намотке и повышение надежности устройства в работе; в [13] разработан электропривод намоточного станка, который дополнительно содержит блок учета растяжения соединенный с регулятором числа витков устройства с числовым программным управлением; [14] разработано устройство для пропитки обмоток, которое снабжено приводом осевого возвратно-поступательного перемещения; в [15, 16] предложены способы управления электроприводами постоянного тока.

Подписано в печать 02.03.2022 Формат 60x84 1/16. Бумага офсетная.
Цифровая печать. Объем 1,0 п.л. Тираж 140 экз. Заказ № 105.
Издательство Липецкого государственного технического университета.
Полиграфическое подразделение Издательство ЛГТУ.
398055 Липецк, ул. Московская, 30.