

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ УКРАИНЫ  
ДОНБАССКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНАЯ  
АКАДЕМИЯ  
КАФЕДРА «ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ  
АВТОМАТИЗАЦИИ И ЭЛЕКТРОПРИВОД»**

Натальченко Антон Сергеевич

УДК 62-83:62-50

**АНАЛИЗ И СИНТЕЗ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ  
ЭЛЕКТРОПРИВОДА ТОКАРНОГО СТАНКА КЖ 1910**

Специальность 8.5070204 - Электромеханические системы автоматизации и  
электропривод

Автореферат магистерской работы

**КРАМАТОРСК 2014**

Работа выполнена на кафедре электромеханических систем автоматизации  
Донбасской государственной машиностроительной академии Министерства  
образования и науки Украины, г. Краматорск.

Научный руководитель:

кандидат технических наук, доцент  
Задорожня Инна Николаевна,  
Донбасская государственная  
машиностроительная академия,  
доцент кафедры электромеханических  
систем автоматизации

Рецензент:

---

---

---

---

---

---

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы.** Современное машиностроение и тесно связанные с ним смежные отрасли промышленности являются наиболее значимыми направлениями развития научно-технического прогресса. Точность и производительность металлорежущих станков определяют эффективность машиностроительного производства и качество выпускаемой продукции. Поэтому проблема повышения точности и производительности является основополагающей для инженеров-конструкторов и исследователей станков.

Постоянный рост требований, предъявляемых промышленностью к этим показателям, приводит к тому, что современные металлорежущие станки становятся все более сложными и совершенными машинами, насыщенными различными устройствами и системами автоматизации, измерительными средствами.

Значительную долю станочного парка составляют станки токарной группы, применение в которых устаревших электроприводов и систем автоматического управления не позволяет достичь высоких показателей качества, поэтому они не в состоянии обеспечить высокую статическую и динамическую точность при воспроизведении контурно-позиционных перемещений.

Одним из основных требований к металлорежущим станкам является отсутствие вибраций и автоколебаний. Автоколебания в упругих системах металлорежущих станков возможны при всех видах обработки материалов резанием. При интенсивных режимах обработки амплитуда автоколебаний может достигать значений, при которых существенно снижается точность и качество обработанной поверхности, увеличиваются волнистость, наклеп, остаточные напряжения в детали, а также повышается износ режущего инструмента и станка.

Вибрации снижают производительность, точность и надежность станков. Вынужденные колебания представляют опасность в основном для станков особо высокой точности, так как важнейшие показатели точности обработки в этих станках зависели от интенсивности колебаний. В настоящее время в связи с ростом скоростей резания и увеличением скоростей подач борьба с вынужден-

ными колебаниями становится актуальной задачей для станков высокой и повышенной точностей.

Потеря устойчивости процесса резания, избыточные динамические нагрузки, возникновение автоколебаний вызывает повышение интенсивности изнашивания режущего инструмента и снижение долговечности исполнительных механизмов станка. Наличие вибраций обуславливает ухудшение качества поверхностного слоя заготовки и точности обработки, что, в свою очередь, приводит к снижению производительности обработки и ограничению технологических возможностей оборудования, что обосновывает необходимость разработки системы защиты от автоколебаний, системы управления с оптимальными параметрами, обеспечивающей достижение требуемых динамических характеристик, определяющих заданные показатели качества работы оборудования.

Динамические и статические силы, возникающие при работе станка, вызывают деформацию как всего станка в целом, так и его составляющих, определяя смещение инструмента по отношению к заготовке. Это вызывает недопустимое отклонение от заданных рабочих движений, повышенный износ, что непосредственно снижает качество. Снижения негативного влияния этих сил можно достичь увеличением статической и динамической жесткости. Однако, это требование обеспечения качества не всегда оказывается выполнимым, что определяет выполнение других мероприятий, обеспечивающих сохранение за данного качества.

Основной задачей современного станочного электропривода является ограничение динамических нагрузок путем гашения упругих колебаний и обеспечение заданной точности функционирования рабочего механизма станка, что определило актуальное направление исследований магистерской работы.

**Связь работы с научными программами, планами, темами.** Работа была выполнена на кафедре электромеханических систем автоматизации Донбасской государственной машиностроительной академии согласно тематическим планам госбюджетных научно-исследовательских работ МОН Украины “Динамика и диагностика сложных электромеханических систем на основе элек-

троприводов переменного тока” в соответствии с научными направлениями кафедры.

**Цель и задачи исследования.** Целью квалифицированной магистерской работы магистра является исследование способов демпфирования упругих колебаний в электромеханической системе станочного привода для снижения уровня динамических нагрузок, совершенствования режимов работы и улучшения качества обрабатываемой поверхности, что достигается за счет решения следующих задач:

- анализ существующих систем станочного электропривода;
- исследование явлений демпфирования колебаний электропривода металлорежущих станков при электромеханическом взаимодействии процессов;
- расчет и анализ характеристик электроприводов станка (асинхронных двигатель с релейно-контакторной системой управления, система «тиристорный преобразователь – двигатель постоянного тока», система «преобразователь частоты – асинхронный двигатель»);
- исследование динамики электромеханической системы привода в режимах ударного характера нагрузки на математической модели;
- анализ и оценка степени влияния (значимости) параметров механической и электромагнитной подсистем на демпфирующую способность станочного привода при учете особенностей требований технологического процесса;
- аналитическое определение соотношения взаимосвязи параметров механической и электромагнитной подсистем привода, которое обеспечит реализацию оптимальных по критерию затухания упругих колебаний процессов в электромеханической системе привода станка;
- разработка системы автоматического управления электроприводом станка, которая позволит добиться снизить влияние вибрационных явлений в главном электроприводе, увеличения точности и качества обрабатываемых поверхностей, уменьшения износа режущего инструмента и продлить срок службы механического оборудования и эксплуатации станка в целом.

**Объект исследований** – переходные процессы и процессы электромеханического взаимодействия в электромеханических системах металлорежущих станков.

**Предмет исследований** – система автоматического управления главным электроприводом токарного станка КЖ 1910.

**Методы исследований** – общие методы теории автоматического управления, теории электропривода, методы численного решения оптимизационных задач, математическое моделирование с использованием пакетов прикладных программ. Методы имитационного, физического моделирования позволили проанализировать качество функционирования системы и подтвердили эффективность предлагаемых технических решений.

**Научная новизна полученных результатов** заключается в том, что синтезированы параметры системы автоматического управления методом стандартных характеристических полиномов с применением теории электромеханического взаимодействия для системы подчиненного управления и модального регулирования, которые позволяют реализовать желаемую форму переходных процессов с требуемыми показателями качества согласно заданному технологическому режиму.

**Практическое значение полученных результатов** – применение предложенных настроек системы регулирования согласно принципу электромеханического взаимодействия за счет использования демпфирующего действия электропривода позволит повысить срок службы оборудования станка. Предлагаемые настройки САУ могут быть полезны инженерам при модернизации действующих и проектировании новых станочных электроприводов, а также результаты работы используются в учебном процессе кафедры ЭСА (лабораторный практикум дисциплин, изучающих теорию электропривода, отдельные разделы теории автоматического управления).

**Личный вклад соискателя** – выполнен синтез регуляторов для системы автоматического управления ТПЧ-АД, ТП-ДПТ методом декомпозиции, методом стандартного синтеза САУ, методом стандартных распределений полиномов

с использованием теории электромеханического взаимодействия, анализ экспериментальных исследований в промышленных условиях.

**Апробация результатов магистерской работы.** Основные положения и результаты работы обсуждались в рамках конференции «Всеукраїнська науково-технічна конференція студентів «Електротехніка, електроніка та мікропроцесорна техніка» (23-24 мая 2012 г., г. Донецк; 15-16 мая 2013 г., г. Донецк); XII Международной научно-технической конференции аспирантов и студентов «Автоматизація технологічних об'єктів та процесів. Пошук молодих» (17-20 апреля 2012 г., г. Донецк); на конкурсе научных работ по электромеханике (2012-2013 гг., м. Днепродзержинск); на ежегодных научных конференциях студентов ДГМА (2012-2014 гг., г. Краматорск).

**Публикация результатов научных исследований.** Результаты работы опубликованы в трех научных трудах.

**Структура и объем магистерской работы.** Магистерская работа состоит из введения, пяти разделов, общих выводов, списка использованных источников и приложений. Общий объем магистерской работы составляет 243 страницы, из которых: 25 таблиц на 10 страницах; 115 иллюстраций на 46 страницах; список литературных источников из 54 наименований на 6 страницах.

## **ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

**Введение** содержит обоснование актуальности темы исследования, определяет основную цель исследований, также обозначена научная новизна и практическая ценность полученных результатов, приведены сведения про апробацию, публикацию внедрение.

**Первый раздел** посвящен анализу объекта исследования и выбора направлений исследований. Проанализированы литературные источники, выполнен патентный поиск способов гашения колебаний в электроприводах металлорежущих станков. Рассмотрены вопросы демпфирования колебаний различными способами, среди которых определены наиболее приоритетные.

Были поставлены задачи:

- рассчитать базовую системы электропривода станка и на основе математической модели проанализировать переходные процессы;
- исследовать явление демпфирования колебаний электропривода металлорежущих станков;
- рассчитать модернизированную систему электропривода станка;
- исследовать динамику электромеханической системы привода в режимах ударного характера нагрузки для математической модели;
- проанализировать и дать оценку степени влияния (значимости) параметров механической и электромагнитной подсистем на демпфирующую способность привода при учете особенностей требований технологического процесса;
- произвести оценку влияния рассеяния энергии в механической подсистеме на электромеханическое взаимодействие подсистем привода станка;
- аналитически определить соотношения взаимосвязи параметров механической и электромагнитной подсистем привода, которые обеспечат реализацию оптимальных по критерию затухания упругих колебаний процессов в электромеханической системе привода станка;
- разработать систему автоматического управления электроприводом станка, которая позволит добиться увеличения точности и качества обрабатываемых поверхностей, уменьшения износа режущего инструмента, снизить влияние вибрационных явлений в главном электроприводе и продлить срок службы эксплуатации станка;
- осуществить анализ экономической целесообразности предлагаемых технических решений;
- разработать мероприятия по охране труда, обеспечивающие комфортные и безопасные условия труда в пределах машиностроительного предприятия.

**Во втором разделе** рассмотрены основные методы теоретических исследований динамики металлорежущих станков. Рассмотрена методика проведения экспериментальных исследований, ряд которых были выполнены в промышленных условиях на токарном станке модели КЖ 1910.

**В третьем разделе** предложено формирование расчетных моделей станочных систем, определены подходы к идеализации сложных динамических систем. Показано, что основу современного подхода к решению проблем динамики металлорежущих станков составляет системный анализ, в соответствии с которым задачи моделирования и оптимизации режимов обработки решаются в тесной взаимосвязи и подчинены единой цели: созданию высокоэффективного металлообрабатывающего производства.

Произведен расчет параметров электропривода станка модели КЖ 1910 для системы привода с релейно-контакторной системой управления, а также предложены к внедрению и рассчитаны параметры электроприводов переменного и постоянного токов. Анализ основных режимов работы привода станка осуществлен на математической модели, которая позволила оценить переходные процессы для различных настроек регуляторов, синтезированных согласно общепринятым методикам.

Исследованные станки характеризуются многообразием динамических процессов, возникающих при их работе и существенным образом влияющих на качество обрабатываемых изделий. Методы исследования, оценивающие влияние динамических параметров на показатели качества работы станков, оптимизацию этих динамических параметров связаны, с задачей математического моделирования, а соответственно, станок, то есть объект и предмет исследования рассмотрены как сложная управляемая система.

Осуществлен выбор элементов автоматизации, включающий микропроцессорные компоненты – контроллеры, панели оператора, система числового программного управления.

Для полноты картины исследований математические модели для разных вариантов электропривода станка были построены на основе одномассовой и двухмассовой расчетных схем. Произведен синтез параметров типовых регуляторов методом декомпозиции, стандартных настроек САУ на модульный и симметричный оптимумы и оценены переходные процессы, подтверждающие наличие вибрационных явлений, негативное влияние динамических нагрузок,

что требует поиска альтернативных способов настройки САУ, использующих демпфирующие свойства собственно электропривода.

**В четвертом разделе** приведены положения теории электромеханического взаимодействия, которая позволяет использовать демпфирующие свойства электропривода. Произведен анализ результатов экспериментальных исследований электропривода станка КЖ 1910.

Выполнен синтез параметров регуляторов системы подчиненного регулирования и системы регулирования модальной структуры методом стандартных распределений характеристического полинома, а также на основе принципа электромеханического взаимодействия. В результате синтеза было подтверждено, что при использовании метода электромеханического взаимодействия обеспечиваются оптимальные динамические показатели качества, которые удовлетворяют стандартным требованиям.

**В пятом разделе** рассмотрен вопрос технико-экономического обоснования модернизации системы электропривода станка КЖ 1910, а именно сущность и актуальность проведения модернизации главного привода. Осуществлен анализ базовой и предлагаемых к внедрению систем управления станочным электроприводом, выполнено сравнение капитальных расходов, расчет и сопоставление эксплуатационных расходов, которые показали, что новая система электропривода эффективнее, так срок окупаемости находится в пределах норматива и ожидается экономический эффект.

Приведены мероприятия по охране труда, а именно анализ опасных и вредных производственных факторов, меры по обеспечению безопасных условий труда и действия при чрезвычайных ситуациях, рассчитано защитного заземления.

## ВЫВОДЫ

В квалификационной магистерской работе на основании выполненных теоретических и экспериментальных исследований произведен анализ и синтез станочной электромеханической системы, решена актуальная задача ограничения динамических нагрузок в главном электроприводе тяжелого токарного станка.

Динамические нагрузки, которые возникают при функционировании станка, повышают усталостный износ конструкции и негативно влияют на качество обработки поверхностей деталей. Ограничение динамических нагрузок технологических режимов металлорежущих станков служит значительным резервом увеличения срока эксплуатации деталей и узлов станочных электроприводов, способствует сокращению числа преждевременных поломок деталей и узлов механических передач, повышению показателей их надежности, сохранению технологического ритма, увеличению выпуска и повышению качества металлопродукции.

В работе проанализированы наиболее популярные типы систем электроприводов станков и рассчитаны их основные параметры. На математической модели исследована динамика электромеханической системы привода станка в режимах ударного приложения нагрузки.

Проанализирована степень влияния параметров механической и электромагнитной подсистем привода станка на демпфирующую способность привода. Аналитически определены соотношения взаимосвязи параметров механической и электромагнитной подсистем привода, которые обеспечивают реализацию оптимальных по критерию затухания упругих колебаний переходных процессов в станочной электромеханической системе.

Проанализирована и рассчитана система автоматического управления электроприводом станка, настройки которой позволяют добиться значительного снижения уровня динамических нагрузок и вибрационных явлений, тем самым способствуя увеличению точности и качества обрабатываемых поверхностей,

уменьшению износа режущего инструмента, повышая срок эксплуатации станка в целом.

Осуществлен анализ экономической целесообразности предлагаемых технических решений, который позволил определить наиболее оптимальный для модернизации вариант электропривода тяжелого металлорежущего станка, что подтверждается возможностью получения экономического эффекта и нормативным сроком окупаемости капитальных вложений.

Для организации в условиях машиностроительного предприятия были разработаны мероприятия по охране труда, которые обеспечивают комфортные и безопасные условия труда в токарных цехах.

## **СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ ТРУДОВ ПО ТЕМЕ МАГИСТЕРСКОЙ РАБОТЫ**

1. Задорожня И.Н., Натальченко А.С. Вопросы исследования динамических процессов в электроприводах машин и механизмов при наличии упругих механических связей // Вісник кафедри «Електротехніка» за підсумками наукової діяльності студентів. – Донецьк, ДонНТУ, 2012. – С.77–78.

2. Задорожня И.Н., Натальченко А.С. Методи комп'ютерної інженерії в дослідженні динамічних процесів в електроприводах промислових машин та механізмів // Автоматизація технологічних об'єктів та процесів. Пошук молодих. Збірник наукових праць XII науково-технічної конференції аспірантів та студентів в м. Донецьку 17-20 квітня 2012 р. – Донецьк, ДонНТУ, 2012. – С. 164 – 167.

3. Задорожня И.Н., Натальченко А.С. Исследование динамических процессов в электромеханической системе привода прокатного стана // Вісник кафедри «Електротехніка» за підсумками наукової діяльності студентів. – Донецьк, ДонНТУ, 2013. – С.90–92.

## АННОТАЦИЯ

Натальченко А.С. Анализ и синтез электромеханической системы электропривода токарного станка КЖ 1910.

Магистерская работа по специальности 8.5070204 - электромеханические системы автоматизации и электропривод, Донбасская государственная машиностроительная академия, Краматорск, 2014.

Магистерская работа посвящена исследованию процессов электромеханического взаимодействия в ЭМС тяжелых металлорежущих станках.

Исследование состоит в анализе способов демпфирования упругих колебаний в электромеханической системе привода и анализе параметров регуляторов систем при использовании метода электромеханического взаимодействия.

Метод электромеханического взаимодействия позволит совершенствовать режимы работы, улучшить качество обрабатываемой поверхности деталей, увеличить срок службы станка.

Проведенные исследования синтеза параметров регуляторов показали удовлетворительные результаты и позволили определить оптимальные настройки системы управления, обеспечивающие протекание технологических процессов согласно требованиям.

Результаты работы можно применять при конструировании новых и модернизации действующих станочных приводов.

ГЛУБОКОРАСТОЧНОЙ СТАНОК, ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОЕ  
ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ, ДЕМПФИРОВАНИЕ КОЛЕБАНИЙ, СИСТЕМА  
УПРАВЛЕНИЯ, ДИНАМИЧЕСКИЕ НАГРУЗКИ

## АННОТАЦІЯ

Натальченко А.С. Аналіз та синтез електромеханічної системи електроприводу токарного верстата КЖ 1910.

Магістерська робота за спеціальністю 8.5070204 - електромеханічні системи автоматизації та електропривод, Донбаська державна машинобудівна академія, Краматорськ, 2014.

Магістерська робота присвячена дослідженню процесів електромеханічного взаємодії в ЕМС важких металорізальних верстатах.

Дослідження полягає в аналізі способів демпфірування пружних коливань в електромеханічної системі приводу та аналізі параметрів регуляторів систем при використанні методу електромеханічного взаємодії.

Метод електромеханічного взаємодії дозволить удосконалювати режими роботи, поліпшити якість оброблюваної поверхні деталей, збільшити термін служби верстата.

Проведені дослідження синтезу параметрів регуляторів показали задовільні результати і дозволили визначити оптимальні настройки системи управління, що забезпечують протікання технологічних процесів згідно з вимогами.

Результати роботи можна застосовувати при конструюванні нових і модернізації діючих верстатних приводів.

**ГЛИБОКОРОЗТОЧУВАЛЬНИЙ ВЕРСТАТ, ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНА ВЗАЄМОДІЯ, ДЕМПФІЮВАННЯ КОЛИВАНЬ, СИСТЕМА КЕРУВАННЯ, ДИНАМІЧНІ НАВАНТАЖЕННЯ**

## ANNOTATION

Natalchenko AS Analysis and synthesis of electromechanical drive system lathe QL 1910.

Master's thesis on the specialty 8.5070204 - Electromechanical automation systems and electric, Donbass State Engineering Academy, Kramatorsk, 2014.

Master's thesis is devoted to the investigation of the electromechanical interaction processes in EMC heavy machine tools.

The study is to analyze the ways of damping of elastic waves in electromechanical drive system and analyzing the parameters of regulators systems using the method of electromechanical interaction.

The method will allow to improve the electromechanical interaction modes, improve the surface quality of parts, increase the service life of the machine.

Studies of synthesis parameters regulators showed satisfactory results and allowed to determine the optimal settings management system to ensure the flow of processes according to the requirements.

The results can be used in the construction of new and modernization of existing machine tool drives.

DEEP-MACHINE, ELECTROMECHANICAL INTERACTION, VIBRATION DAMPING, CONTROL SYSTEMS, DYNAMIC LOAD

---

Підп. до друку

Формат 60×90/16

Офсетний друк

Умов. друк. арк. – 1,2

Тираж 6 прим.

Замовлення №

---

ДДМА, 343913, м. Краматорськ, вул. Шкадинова, 72