

АННОТАЦИЯ

диссертационной работы Петрова Павла Анатольевича
«Разработка высокоточной автоматизированной системы управления
двухдвигательным асинхронным электроприводом механизма вращения
крупногабаритных агрегатов»,
представленной на соискание ученой степени доктора философии (PhD)
по специальности: 6D071900 - «Радиотехника, электроника и
телекоммуникации»

Общая идея исследования заключается в построении адаптивной к динамическим нагрузкам системы управления механизмом вращения крупногабаритных объектов.

Чтобы локализовать вопрос выбора объекта вращения, необходимо за основу взять конкретный вид крупногабаритного агрегата. Поэтому, в настоящем исследовании, за основу будут взяты железнодорожные вагоны, как объекты, над которым выполняются конкретные механические воздействия (вращение). Если подойти к исследованию в целом, то в роли вращаемых объектов могут выступать любые другие крупногабаритные объекты, по своей массе, размерам, строению и внутренним механическим связям сопоставимые с железнодорожными вагонами.

Актуальность работы. Актуальность обосновывается повышенным спросом на железнодорожную продукцию, в т.ч. на вагоны-зерновозы («хопперы»). Существующие системы являются многотонными конструкциями, подверженными повышенным динамическим воздействиям в процессе вращения груза.

В настоящее время актуальным вопросом является создание микропроцессорной системы управления вращением железнодорожных вагонов с возможностью адаптации к повышенным динамическим нагрузкам, что позволит значительно усовершенствовать технологический процесс, снизить затраты на производство, сборку и ремонт железнодорожных вагонов. Разрабатываемая система будет отличаться от имеющихся аналогов отсутствием механизма вагонокантователя. Такие системы представляют собой многотонные объекты, куда железнодорожный вагон помещается дополнительными механизмами передвижения. Следовательно, такие комплексы являются достаточно габаритными и энергозатратными. В настоящем исследовании принято технологическое решение, при котором выходные валы каждого электропривода, входящего в систему, будут непосредственно соединяться с рамой крепления вагона, образуя систему рамовращателя. Следовательно, такая система априори будет характеризоваться пониженным энергопотреблением, за счет отсутствия дополнительных динамических нагрузок в системе кантователя.

Целью диссертационной работы является разработка микропроцессорной системы управления двухдвигательным электроприводом механизма вращения специализированных железнодорожных вагонов (или

аналогичных крупногабаритных агрегатов) адаптивной к динамическим моментам инерции и сопротивления. Разрабатываемая система будет состоять из пяти основных частей:

- компьютерная модель системы управления двухдвигательным электроприводом механизма вращения железнодорожных вагонов;
- блок управления, реализованный на электронных компонентах, включающий микроконтроллер или микропроцессор, а также цифровые платы сбора данных, выполняющие роль мультиплексирующих устройств;
- блок измерительных устройств, включающий в себя датчики угловых перемещений, фиксирующие количество оборотов выходного вала каждого электропривода;
- исполнительная часть, включающая систему двухдвигательного электропривода, соединенную с макетом, имитирующим раму крепления железнодорожного вагона;
- силовая часть, включающая различные преобразователи (регуляторы мощности, трехфазные инверторы, выпрямители, регуляторы мощности и т.д.).

Объектом исследования является технология вращения специализированных грузовых железнодорожных вагонов (в частности, «хопперов»).

В рассматриваемой области изучения технологии вращения железнодорожных вагонов условно можно выделить четыре части:

- изучение и анализ механизма вращения железнодорожного вагона, включающую двухдвигательный электропривод и раму крепления вагона;
- изучение существующих систем автоматизированного электропривода и выбор способа реализации наиболее подходящего из них;
- изучение и анализ способов управления двухдвигательным электроприводом (включая регулирование);
- изучение и анализ метода идентификации изменяющихся в процессе вращения параметров объектов управления (двухдвигательного электропривода).

Предметом исследования является вопрос изучения способа построения микропроцессорной адаптивной системы управления двухдвигательным электроприводом механизмов вращения крупногабаритных агрегатов. Разрабатываемая система должна характеризоваться не только быстротой и точностью процесса управления, но и возможностью адаптации под изменяющиеся параметры регулируемого объекта.

Научная новизна исследования заключается в следующем:

1. Разработана структура системы управления двухдвигательным электроприводом механизма вращения крупногабаритных агрегатов с векторным способом управлением и адаптацией к моменту сопротивления и нагрузки, отличающаяся от уже разработанных наличием подсистемы синхронизации оборотов и скоростей вращения валов двухдвигательного электропривода, связанного с рамой крепления железнодорожного вагона.

2. Разработана подсистема регулирования скорости выходного вала двухдвигательного электропривода, отличающаяся от существующих наличием идентификатора параметров математической модели объекта управления (автоматизированного электропривода), вследствие чего достигается минимизация динамических нагрузок в конструкции механизма вращения железнодорожных вагонов.

3. Усовершенствованы алгоритмы работы микропроцессорной системы управления автоматизированным двухдвигательным электроприводом, использующие сигналы прецизионных фотоэлектрических цифровых датчиков измерения углового перемещения выходного вала двухдвигательного электропривода, соединенного с рамовращателем, вследствие чего происходит снижение динамических нагрузок в процессе вращения железнодорожного вагона.

Методы исследования. В диссертационном исследовании были использованы следующие методы исследования:

- Научный аппарат идентификации, адаптации и оптимизации систем с автоматизированным управлением;
- теория автоматизированного электропривода, в т.ч. многодвигательного;
- компьютерное моделирование подсистем системы управления вращением железнодорожных вагонов и всей системы в целом при помощи современных прикладных пакетов систем проектирования полупроводникового электропривода;
- применение схемотехнических методов построения электронных модулей;
- методы сбора и обработки данных при помощи современных отладочных платформ на 32-разрядном микропроцессоре, а также интерфейсных цифровых плат сбора информации;
- методы визуального (графического) программирования блок-схемами при помощи современных прикладных пакетов и компиляции (загрузке) программного кода в микропроцессор, являющийся главным элементом блока управления.

Практическая значимость работы:

- разработан блок управления на основе отладочной платы Arduino Due на базе микропроцессора SAM3X8E ARM Cortex-M3 с использованием последних технологий визуального программирования микропроцессоров в среде Simulink программного обеспечения MatLab 2013;
- разработана компьютерная модель адаптивной системы управления вращением железнодорожных вагонов и ее отдельных подсистем в прикладном пакете Simulink программного обеспечения MatLab 2013;
- разработан опытный образец системы управления вращения железнодорожных вагонов (экспериментальная установка), включающий в себя компьютерную модель данной системы, блок управления на микропроцессоре SAM3X8E ARM Cortex-M3, датчики угловых перемещений, силовые

преобразователи, исполнительные механизмы и макет рамы крепления железнодорожного вагона.

В результате теоретических и экспериментальных исследований получены компьютерные Simulink-модели в среде MatLab 2013 отдельных подсистем разрабатываемой СУВВ и всей системы управления в целом.

Основные положения, выносимые на защиту:

- общая концепция проектирования системы управления двухдвигательным электроприводом механизма вращения железнодорожных вагонов адаптивной к переменным моменту нагрузки и моменту сопротивления;

- математические модели: всей механической системы в целом (включающей железнодорожный вагон, раму крепления, а также двухдвигательный электропривод), объекта управления (автоматизированного электропривода с векторным управлением);

- функциональная схема адаптивной системы управления двухдвигательным электроприводом;

- структура подсистемы регулятора скорости двухдвигательного электропривода, которая отличается от уже разработанных наличием подсистемы идентификации параметров математической модели объекта управления (автоматизированного двухдвигательного электропривода), вследствие чего достигается минимизация динамических нагрузок в конструкции механизма.

- структура подсистемы адаптации, входными сигналами которой являются идентифицированные параметры объекта управления (автоматизированного электропривода);

- концепция проектирования экспериментальной установки системы управления двухдвигательным электроприводом механизма вращения железнодорожных вагонов на основе микропроцессорного блока управления и прецизионных датчиков углового перемещения.

Достоверность полученных результатов подтверждается совпадением математического моделирования и проведенных экспериментов, как с компьютерной моделью системы управления двухдвигательным электроприводом механизма вращения железнодорожных вагонов, так и с её экспериментальной установкой.

Кроме того, правильность полученных результатов основана на использовании прецизионных фотоэлектрических датчиков углового перемещения, высокопроизводительным блоком управления на 32-разрядном микропроцессоре с наличием 12-битного цифро-аналогового преобразователя, а также выбранными недорогими, удобными и энергоэкономичными электроприводами.

Разработанный экспериментальный стенд, включающий компьютерную Simulink-модель, микропроцессорный блок управления и реальную механическую систему с силовыми преобразователями и двухдвигательным электроприводом, полностью воспроизводит работу производственных комплексов по вращению железнодорожных вагонов.

Апробация работы. Основные результаты диссертационного исследования докладывались и обсуждались на Международной научно-практической конференции «Козыбаевские чтения-2016: Современные тенденции культурно-цивилизационных процессов Евразии» (г. Петропавловск, 18.11.16 г.); LXV и LXVII Международных научно-практических конференциях «Технические науки - от теории к практике» (Россия, г. Новосибирск, 28.12.16 г. и 27.02.17 г.); Международной научно-практической конференции «Молодежь и наука-2017» (г. Петропавловск, 12.04.17 г.). Также часть результатов диссертационного исследования заслушивались и обсуждались на научных семинарах кафедры «Энергетика и радиоэлектроника» СКГУ им. М. Козыбаева, кафедр «Электрическая техника» и «Радиотехнические устройства и системы диагностики» Омского государственного технического университета.

Публикации. По результатам диссертационного исследования опубликовано 14 публикаций, в том числе 4 – в научных изданиях, рекомендованных Комитетом по контролю в сфере образования и науки МОН РК; 1 – в журнале Journal of Engineering and Applied Sciences (г. Исламабад, Пакистан), входящем в базу данных Scopus; 7 – в материалах конференций, в том числе 2 – зарубежных (г. Новосибирск, Россия); 2 – в региональном периодическом Вестнике СКГУ им. М. Козыбаева. Частичные результаты диссертационного исследования отражены в инновационном патенте на изобретение № 27956 (от 25.12.13 г.).

Структура и объем диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованных источников. Общий объем диссертации составляет 121 страница. В работе приведено 96 рисунков, 4 таблицы. Список использованных источников состоит из 118 наименований.

Перечень работ, опубликованных автором по теме диссертации.

В изданиях, одобренных ККСОН МОН РК:

1. Ивель В.П., Петров П.А. Разработка Simulink-модели системы управления комплексом поворота многотонных объектов на базе платформы Arduino Uno // Вестник ПГУ им. С. Торайгырова. Энергетическая серия. – Павлодар. – 2016. – №4 – С. 108-116.

2. Ивель В.П., Петров П.А., Герасимова Ю.В. Проектирование адаптивной системы регулирования скорости асинхронного двигателя при помощи метода вспомогательного оператора // Вестник ПГУ им. С. Торайгырова. Энергетическая серия. – Павлодар. – №2 (2017). – С. 66-72.

3. Петров П.А. Использование пакета Matlab/Simulink и отладочной платы ARDUINO MEGA 2560 для управления двухдвигательным асинхронным электроприводом // Вестник государственного университета имени Шакарима города Семей. – Семей. – 2017. – №2 (78), 1 том. – С. 68-72.

4. Петров П.А., Ивель В.П., Герасимова Ю.В., Молдахметов С.С. Система вращения-подъема ЖД вагонов // Вестник национальной академии Республики Казахстан. – 2017. – №6. – С.52-59.

В изданиях, входящих в базу данных Scopus:

Pavel Petrov, Yuliya Gerasimova, Viktor Ivel and Sayat Moldakhmetov. System of lifting and rotation of railway cars/ ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences, Vol. 13(2), 2018. – P. 714-717.

В материалах международных научных конференций, в том числе зарубежных:

1. Герасимова Ю.В., Петров П.А. Оценка некоторых параметров системы управления асинхронным двигателем // Материалы международной научно-практической конференции «КОЗЫБАЕВСКИЕ ЧТЕНИЯ - 2016: Современные тенденции культурно-цивилизационных процессов Евразии». – Петропавловск – 2016. – С.124-128.

2. Ивель В.П., Петров П.А. Выбор базовых компонентов для реализации компьютерной модели системы управления асинхронным двигателем // Материалы МНПК «Козыбаевские чтения-2016: Современные тенденции культурно-цивилизационных процессов Евразии». – Петропавловск. – 2016. – Т.2. – С. 135-139.

3. Петров П.А. Анализ современного состояния в области автоматизации подъемно-транспортных механизмов для кантования-подъема крупногабаритных агрегатов // Материалы МНПК «Козыбаевские чтения-2016: Современные тенденции культурно-цивилизационных процессов Евразии», посвященной 85-летию М.К. Козыбаева, Т.2. - Петропавловск: СКГУ им. М.Козыбаева. – 2016. – С. 160-164.

4. Петров П.А., Ивель В.П. Синтез адаптивной системы управления вращением-подъемом железнодорожных вагонов // Технические науки – от теории к практике: сб. ст. по матер. LXV междунар. науч.-практ. конф. – Новосибирск: СибАК. – 2016. – № 12(60). – С. 21-27.

5. Петров П.А. Методика синтеза программного обеспечения Matlab/Simulink и отладочной платы ARDUINO MEGA 2560 // Технические науки - от теории к практике: сб. ст. по матер. LXVII междунар. науч.-практ. конф. – Новосибирск: СибАК. – 2017. – № 2(62). – С. 5-11.

6. Ивель В.П., Петров П.А. Исследование способов управления асинхронным электроприводом // МНПК «Молодёжь и наука - 2017». – Петропавловск. – С.176-180.

7. Ивель В.П., Петров П.А. Построение функциональной схемы асинхронных двигателей с векторным управлением // МНПК «Молодёжь и наука - 2017». – Петропавловск. – С.180-184.

В региональном периодическом Вестнике СКГУ им. М. Козыбаева:

1. Петров П.А. Использование аппаратной платформы ARDUINO в образовательном процессе студентов инженерных специальностей // Вестник СКГУ им. М.Козыбаева. Педагогическая серия. – Петропавловск. – 2016. – № 3(32) – С. 201-207.

2. Петров П.А. Коммуникация отладочной платы ARDUINO MEGA 2560 с программным обеспечением MATLAB // Вестник СКГУ им. М. Козыбаева. – Петропавловск. – 2016. – № 4(33) – С. 98-104.