

## ОТЗЫВ

официального оппонента, доктора технических наук, профессора  
Пятибратова Георгия Яковлевича на диссертационную работу  
Енина Сергея Сергеевича на тему: «Совершенствование системы управления  
электроприводами мостового крана для демпфирования колебаний  
подвешенного груза», представленную на соискание ученой степени  
кандидата технических наук в диссертационный совет Д 212.111.04, со-  
зданный на базе ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный тех-  
нический университет им. Г.И. Носова» по специальности 05.09.03 – Элек-  
тротехнические комплексы и системы

### **Актуальность темы диссертационной работы.**

На российских предприятиях в эксплуатации находится большое коли-  
чество кранового оборудования, которое во многом определяет производи-  
тельность технологических установок и линий по производству различной  
продукции.

Современный уровень исследований электротехнических систем кранов характеризуется недостаточной изученностью проблемы влияния электроприводов на механические колебания груза на гибком подвесе, которые ограничивают максимальные скорости перемещения механизмов, увеличивают продолжительность погрузочно-разгрузочных работ, затрудняют точное позиционирование груза. Разработкой и практической реализацией способов и средств демпфирования колебаний груза на гибком подвесе занимаются ведущие мировые машиностроительные компании. В России научно-технические разработки по этому направлению исследований находятся на начальном этапе.

Современное состояние рассматриваемой проблемы у нас в стране и за рубежом определяет актуальность рассматриваемой темы исследований. В диссертационной работе показано, что совершенствование систем управления электроприводов мостовых кранов с целью демпфирования колебаний гибко подвешенного груза способствует повышению производительности крана и является важной научно-технической задачей.

Отличительной особенностью силового взаимодействия в рассматриваемых механизмах крана является существенное влияние на раскачивание груза электроприводов, осуществляющих его подъем и перемещение. Электромеханические системы механизмов подъема и перемещения груза являются системами с переменной массой и жесткостью механических передач, что определяет сложность определения их влияния на качания груза и требует проведения научных и экспериментальных исследований.

Совершенствование систем управления электроприводов кранов, обеспечивающее демпфирование усилий в упругих механизмах и колебаний груза, позволит увеличить производительность, качество функционирования и долговечность работы кранового оборудования. Решение указанной задачи позволит повысить уровень конкурентоспособности кранового машиностроения Российской Федерации.



**Степень обоснованности и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций.**

Соискатель учёной степени Енин С.С. в диссертационной работе корректно использует современные научные методы для сравнительного анализа и сопоставления полученных результатов с теоретическими положениями и практическими результатами других авторов. В работе представлен анализ достоинств и недостатков систем демпфирования колебаний гибко подвешенного груза, созданных и выпускаемых зарубежными машиностроительными компаниями Siemens, Demag, ABB, Konecranes, Schneider Electric. Постановка решаемых задач и полученных результатов исследований и положений, выдвинутых соискателем на защиту, базируется на выполненном критическом анализе опыта эксплуатации современных электроприводов мостовых кранов.

Обоснованность выводов и рекомендаций, полученных в диссертационной работе, обеспечивается корректностью применения методов теории электропривода, теории автоматического управления и математического моделирования технических систем.

Достоверность результатов научных исследований и экспериментально полученных результатов обеспечивается использованием современных апробированных методик, способов и средств выполнения исследований. Адекватность разработанной математической модели подтверждена соответствием полученных расчетных зависимостей и результатов экспериментальных исследований.

Важным фактором, подтверждающим обоснованность научных положений, выводов и предлагаемых технических решений, являются результаты экспериментального исследования реализованной на реальном оборудовании системы демпфирования электроприводом колебаний груза.

**Новизна научных положений, выводов и рекомендаций.**

По мнению официального оппонента, научную новизну диссертационной работы Енина С.С. определяют следующие положения и результаты теоретических и экспериментальных исследований электроприводов мостовых кранов:

1. Предложены новые научные положения по исследованию взаимосвязано работающих электромеханических систем крановых механизмов, отличающиеся тем, что в них учитывается влияние длины подвеса груза на его качания и динамические нагрузки механизмов.

2. Разработана математическая модель взаимодействующих электромеханических систем мостового крана, позволяющая определить дополнительные нагрузки на электропривод механизма подъема при изменении длины подвеса груза и его веса.

3. Предложена методика определения требуемых параметров систем управления механизмами тележки и моста крана, которая позволяет автоматически выполнить настройку системы управления электропривода на заданные показатели демпфирования колебаний при изменении длины подвеса груза.

4. Предложен способ демпфирования колебаний груза, основанный на измерении угла отклонения каната от вертикали и использовании этой информации для коррекции динамических свойств системы управления электропривода горизонтального перемещения груза.

Научную значимость диссертационной работы представляют новые результаты теоретических и экспериментальных исследований демпфирования электроприводом колебаний груза с учётом силовой взаимосвязи механизмов подъёма и перемещения.

#### **Практическая значимость и реализация полученных результатов.**

Практическая значимость диссертационной работы определяется постановкой задачи исследований реального промышленного объекта – мостового крана - и внедрением в опытную эксплуатацию предложенной соискателем системы управления электропривода, обеспечивающей демпфирование колебаний груза.

Практическое значение имеет разработанная программа определения требуемого коэффициента обратной связи по углу отклонения груза от вертикали, определяющая требуемое демпфирование колебаний груза при одновременной работе электромеханических систем тележки и моста крана.

Важным показателем практической значимости результатов полученных в диссертационной работе являются разработанные рекомендации по реализации предложенного способа демпфирования колебаний груза внедрённого в ООО «Производственное объединение Привод-Автоматика» (г. Магнитогорск).

В результате промышленных испытаний разработанной системы управления электроприводом тележки показано, что при внедрении разработанного способа уменьшения колебаний груза получены улучшенные технические показатели работы крана:

- наибольшее значение угла отклонения груза от вертикали уменьшилось в 2,7 раз по сравнению с исходной системой управления;
- логарифмический декремент затухания колебаний груза увеличился до значения 0,55, что в 7,6 раза больше, чем в существующей системе;
- время переходного процесса колебаний груза уменьшилось примерно в 8 раз.

Предлагаемые технические решения могут быть рекомендованы для промышленного применения на мостовых кранах. Разработанная математическая модель может быть использована научными и проектными организациями для исследования взаимосвязанной работы электроприводов крановых механизмов.

#### **Оценка содержания диссертационной работы**

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы из 108 наименований. Работа изложена на 150 страницах и содержит 54 рисунка и 18 таблиц, приложения объемом 3 страницы.

Структура диссертации отличается логической последовательностью изложения материала. Каждый раздел диссертационной работы представляет



собой законченную часть и имеет самостоятельное значение при решении поставленных задач.

Автореферат соответствует содержанию диссертационной работы по всем квалификационным признакам: по цели, задачам исследования, основным положениям, определениям актуальности, новизны, научной и практической значимости.

Основные положения, выводы и результаты диссертационной работы соответствуют поставленным задачам и содержательно отражают научную новизну и практическую значимость выполненных исследований.

Научные результаты диссертационной работы подробно описаны в 13 научных публикациях. Основные научные результаты опубликованы в трех рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК, трёх публикациях в изданиях, входящих в наукометрическую базу Scopus. Получены три свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ. Результаты исследований докладывались и обсуждались на пяти международных конференциях. Опубликованные научные работы Енина С.С. соответствуют теме диссертационной работы и с достаточной полнотой отражают ее содержание, основные результаты и выводы.

Предложения и рекомендации, сформулированные Ениным С.С. в диссертационной работе, аргументированы и оценены в сравнении с известными техническими решениями создания современных электромеханических систем крановых механизмов. В диссертации представлены материалы по внедрению и практическому применению научных результатов работы.

#### **Соответствие диссертации и автореферата установленным критериям**

Диссертационная работа Енина С.С., представленная на соискание учёной степени кандидата технических наук, полностью отвечает критериям, которые установлены пунктами (9-14) Положения о присуждении ученых степеней.

Заявленная автором диссертации цель работы – разработка научно обоснованных технических решений, обеспечивающих повышение производительности мостового крана благодаря демпфированию колебаний гибко подвешенного груза путём усовершенствования системы управления электроприводов – полностью реализована в проведенных исследованиях и отражена в диссертационной работе, автореферате и научных публикациях.

Диссертация обладает внутренним единством, содержит новые научные результаты и положения, выносимые на защиту, что свидетельствует о личном вкладе автора в науку. Предложенные автором рекомендации и технические решения по совершенствованию систем управления крановыми электроприводами сопоставлены с известными решениями по рассматриваемой теме.

Выводы, сформулированные Ениным С.С. по результатам выполненной работы, достаточно полно отражают научную и практическую ценность проведенных исследований по разработке и реализации системы

управления крановыми механизмами, обеспечивающей уменьшение колебаний груза и способствующей увеличению производительности работы крана.

В диссертации приведены сведения о практическом использовании полученных научных результатов по совершенствованию систем управления электроприводов мостовых кранов. Разработанная в диссертационной работе система автоматического управления демпфированием колебаний гибко подвешенного груза испытана на кране, работающем в производственных условиях.

Построение и редакционное оформление диссертации и автореферата соответствуют требованиям, предъявляемым к данным документам. Стиль изложения диссертации корректен с научной и технической точки зрения. В диссертационной работе соискатель учёной степени ссылается на авторов и источники заимствования материалов или отдельных результатов.

Диссертационная работа Енина С.С. представляет законченный труд, в котором полностью раскрыта научная и техническая сущность решаемой проблемы, поставлены задачи дальнейших исследований.

Тема и содержание диссертации Енина С.С. соответствуют паспорту специальности 05.09.03 - Электротехнические комплексы и системы (далее выделено курсивом по тексту паспорта):

– представлена работа объединяющая, исследования электроприводов крановых механизмов, как взаимодействующих электротехнических систем *«по общим закономерностям использования электрической энергии и электротехнической информации, а также принципы и средства управления объектами, определяющие функциональные свойства действующих или создаваемых электротехнических комплексов и систем промышленного... назначения»;*

– объектами изучения являются электропривода передвижения телеки и моста крана рассматриваемые как *«электротехнические комплексы и системы, ... электропривода, ... электрооборудования ... промышленных ... предприятий»*, которые *« ... являются неотъемлемыми составными частями систем более высокого уровня...и должны обеспечивать эффективное и безопасное функционирование этих систем в широком диапазоне внешних воздействий»*.

– по области исследования:

Пункт 1 *«Развитие общей теории электротехнических комплексов и систем, изучение системных свойств и связей, математическое ...моделирование компонентов электротехнических комплексов и систем»*.

Пункт 3 *«Разработка, структурный и параметрический синтез электротехнических комплексов и систем, их оптимизация, а также разработка алгоритмов эффективного управления»*.

Пункт 4 *«Исследование работоспособности и качества функционирования электротехнических комплексов и систем в различных режимах, при разнообразных внешних воздействиях»*.

### Дискуссионные положения и замечания по диссертационной работе и автореферату

1. На стр. 23 диссертации соискатель заявляет об исследовании математической модели двухмассовой системы «механизм передвижения – подвешенный груз», однако собственную частоту колебаний груза определяет как в одномассовой системе, используя выражение (1.2) для математического маятника.
2. Для получения уравнений движения механических систем используют функцию Лагранжа, которая определяется кинетической, потенциальной энергий и функцией рассеяния. Соискатель на стр. 37 для получения математического описания механической части исследуемой системы использует уравнение Лагранжа в виде (2.1), в котором без пояснений учитывает только изменение кинетической энергии системы, что методологически неправильно и требует пояснений.
3. Форма представления разработанной математической модели механической части системы в виде уравнений (2.23) – (2.27) позволяет выполнить только анализ исследуемой системы и не позволяет осуществить решение задачи синтеза системы управления.
4. В диссертации для повышения коэффициента на стр. 83 рассматривается возможность применения гибкой обратной связи по углу, а на стр. 85 - пропорционально-дифференцирующего регулятора. Однако на стр. 88 без обоснования и пояснения предлагается для демпфирования колебаний груза при управлении электроприводами тележки и моста крана использовать жёсткую обратную связь по углу отклонения груза от вертикали.
5. Требуется пояснения переход от математической модели, описывающей качания груза, полученной в разделе 2 в виде дифференциальных уравнений, к передаточной функции  $W_{\text{груз}}(p)$ , приведенной на стр. 82.
6. Не понятно появление в структурной схеме на рис. 3.10 передаточной функции  $W_{\text{эп}}(p)$  и её связь с передаточной функцией на  $W_{\text{груз}}(p)$ , приведенной на стр. 82.
7. В разделе 4 отсутствует оценка влияния квантование по уровню сигнала в канале измерения угла отклонения груза и нет обоснования выбора разрядности АЦП при реализации датчика отклонения груза.
8. Имеется ряд грамматических и стилистических ошибок.

Например, в тексте диссертации:

- на стр. 36 неправильно написана фамилия Ключева В.И.;
- на стр. 43 слово «кинетическая».

В автореферате на стр. 7 используется некорректное выражение «частота собственных колебаний механических упругих связей»

#### Заключение

Диссертационная работа Енина Сергея Сергеевича является законченной научно-квалификационной работой, выполненной на высоком научном уровне и обладающей признаками актуальности, новизны и практической значимости. В ней изложены научно обоснованные технические решения и разработки по реализации способов демпфирования крановым электроприво-

дом колебаний подвешенного груза, имеющие существенное значение для развития кранового машиностроения страны.

Представленная диссертационная работа «Совершенствование системы управления электроприводами мостового крана для демпфирования колебаний подвешенного груза», соответствует критериям п.п. 9 – 14 Положения о присуждении ученых степеней, а её автор Енин Сергей Сергеевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.09.03 – Электротехнические комплексы и системы.

Официальный оппонент

доктор технических наук, профессор,  
профессор кафедры «Электроснабжение и электропривод»  
ФГБОУ ВО «Южно-Российский государственный  
политехнический университет (НПИ) имени  
М.И. Платова»



Георгий Яковлевич Пятибратов

12 декабря 2020 г.

Подпись Пятибратова Г.Я. заверяю

Ученый секретарь ученого совета ЮРГПУ(НПИ) Н.Н. Холодкова

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова» (ЮРГПУ(НПИ))

346428, Россия, Ростовская область, г Новочеркасск, ул. Просвещения, 132.

тел.: +7 (8635)255 210,

адрес сайта: <https://www.npi-tu.ru>

E-mail: [rektorat@npi-tu.ru](mailto:rektorat@npi-tu.ru), [G.pyatibratov@mail.ru](mailto:G.pyatibratov@mail.ru).