

В диссертационный совет 24.2.324.05
на базе ФГБОУ ВО «Магнитогорский
государственный технический
университет им. Г.И. Носова»,
Челябинская область, Россия

ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Логинова Бориса Михайловича «Совершенствование электротехнических комплексов прокатных станов на основе концепции объектно-ориентированных цифровых двойников», представленной на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности
2.4.2. Электротехнические комплексы и системы

Актуальность работы

Одной из ключевых задач интеллектуального производства является внедрение цифровых технологий и цифровых двойников (ЦД) на агрегатах, находящихся в эксплуатации. Эта масштабная научная проблема является важной для металлургической промышленности, поскольку переход на интеллектуальный путь развития подразумевает использование новых цифровых технологий. Автор представленной диссертации справедливо утверждает, что «использование цифровых технологий, позволяет компаниям снизить операционные риски, быстрее реагировать на изменения, работать эффективно за счет возможностей виртуального выполнения операций». Диссертационная работа Логинова Б.М. направлена на разработку комплекса научно обоснованных технических задач, обеспечивающих решение данной проблемы для электротехнических систем агрегатов прокатного производства, в связи с чем ее актуальность не подвергается сомнению.

Научная новизна

В рамках диссертационного исследования соискатель впервые обосновал концепцию объектно-ориентированных цифровых двойников. Они разрабатываются с использованием доступного программного обеспечения и аппаратного моделирования HIL и предназначены для решения масштабных задач, включающих разработку, виртуальный ввод в эксплуатацию, управление и мониторинг состояния электротехнических систем прокатных станов.

На основе программных сред Simulink Real Time, Simscape Hydraulics, Codesys выполнена разработка цифровых двойников-экземпляров электро- и гидроприводов, двойников-симуляторов технологических взаимосвязей и агрегированных ЦД прокатных агрегатов. Впервые проведен научный анализ влияния несинхронного обмена информацией между виртуальной моделью и «физической частью» на точность обмена информацией.

Предложены варианты конфигурации цифровых двойников в структурах программируемых логических контроллеров (ПЛК) с многоядерными процессорами. Теоретически и экспериментально подтверждена эффективность применения аппаратно-программного комплекса на основе двухъядерного процессора и программного обеспечения Codesys 3.5 для виртуальной наладки электротехнических систем.

Научно обоснованы методы нечеткой логики на основе моделирования HIL в системах управления взаимосвязанными электротехническими комплексами. Предложено совершенствование методик синтеза адаптивных и нечетких регуляторов.

Обоснована методика создания наблюдателей состояния по координатам электротехнических систем, измеряемым в on-line режиме. Впервые разработан

ЗАРЕГИСТРИРОВАНО В ОТДЕЛЕ ДЕЛОПРОИЗВОДСТВА ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова»
за № _____
Дата регистрации <u>19.03.2026</u>
Фамилия регистратора _____

наблюдатель на основе фильтра Калмана с дополненным вектором состояния. Он обеспечивает повышение точности восстановления параметров многомассовой системы.

Эти и другие решения, представленные в автореферате, определяют научную новизну диссертационной работы.

Практическая значимость результатов

Следует особо подчеркнуть практическую направленность разработок. Объектами исследования являются электротехнические комплексы агрегатов ПАО «ММК», к ним относятся электроприводы горизонтальной клетки толстолиствого стана 5000, комплекс моталок широкополосного стана горячей прокатки 2500, взаимосвязанные электроприводы реверсивного стана 1700 холодной прокатки, электропривод летучих ножниц агрегата поперечной резки (АПР) горячекатаной полосы, электромеханические системы клеток черновых групп станов 2500 и 2000. Исследования выполнены в связи с вводом агрегатов в эксплуатацию либо обусловлены их реконструкцией с заменой оборудования. Достаточно заметить, что исследование каждого из названных агрегатов прокатного производства могло бы составить предмет отдельной диссертации.

Получены следующие важные практические результаты:

1. С использованием ЦД и новых алгоритмов управления на стане 5000 внедрены в промышленную эксплуатацию: адаптивный регулятор деления нагрузок с переключающейся структурой, обеспечивающий форсированное согласование скоростей электроприводов верхнего и нижнего валков; наблюдатель упругого момента и способ ограничения момента при ударном приложении нагрузки, включающий алгоритм адаптивного торможения двигателей клетки после захвата.

2. Комплекс цифровых двойников, внедренный в структуре агрегированного ЦД группы моталок широкополосного стана 2500, позволил произвести их виртуальный ввод в эксплуатацию при реконструкции с заменой оборудования. Это обеспечило сокращение времени пуско-наладочных работ (ПНР) и снижение материальных издержек за счет исключения нештатных ситуаций.

3. Комплекс виртуальных ПНР электрооборудования обеспечил кратное сокращение времени и трудозатрат при вводе в эксплуатацию реверсивного стана 1700 холодной прокатки.

4. Технология ПНР, предусматривающая размещение симулятора и отлаживаемого ПЛК на виртуальных машинах, применена при реконструкции летучих ножниц АПР. В результате время реконструкции составило несколько часов.

Суммарный экономический эффект от внедрения разработок составил 19,5 млн. руб./год. Они рекомендуются для внедрения на прокатных станах независимо от рода тока и типа электроприводов. Это важный практический вывод, сделанный в диссертации.

Соответствие установленным требованиям

Содержание диссертации соответствует паспорту специальности 2.4.2. «Электротехнические комплексы и системы» практически по всем пунктам. Обоснованность и достоверность научных положений также не вызывают сомнений.

Содержание диссертации подробно изложено в 56 научных публикациях, доложено и обсуждено на 23 международных конференциях. В числе публикаций 9 статей в международных изданиях, входящих в квартили Q1, Q2, что свидетельствует о высоком уровне научных исследований. Это также подтверждают 9 патентов РФ на изобретения.

Решение задач, поставленных в диссертации, продемонстрировало глубокую математическую подготовку Логинова Б.М., а также владение современными языками программирования. Стиль изложения материала логической, последовательный. Автореферат написан грамотным техническим языком, снабжен достаточным количеством рисунков, поясняющих содержание.

Вместе с тем, по содержанию автореферата возникли замечания.

1. Судя по автореферату диссертация хорошо структурирована. Однако наблюдатель углового зазора на основе фильтра Калмана и так называемый наблюдатель с упрощенным вычислительным алгоритмом рассматриваются в 5-й и 6-й главах. Аналогично разнесена информация о тепловой модели и системе тепловой защиты на ее основе: наблюдатель рассмотрен в 5-й главе, а система защиты – в 7-й. При прочтении автореферата это вызвало затруднения.

2. Не кажется ли Вам, что термин «наблюдатель упругого момента с упрощенным вычислительным алгоритмом» является неинформативным и поэтому неудачным?

3. Какие выводы сделаны по результатам оценки теплового состояния двигателей клетки стана 5000 по результатам восстановления температуры с помощью наблюдателя на основе четырехмассовой модели?

Заключение

Представленная работа удовлетворяет требованиям, предъявляемым к диссертациям, согласно «Положению о присуждении ученых степеней», утвержденному постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842, а ее автор Логинов Борис Михайлович заслуживает присуждения ему ученой степени доктора технических наук по специальности 2.4.2. Электротехнические комплексы и системы.

Заведующий лабораторией «Информационно-измерительные системы»
Института машиноведения, автоматки и геомеханики
Национальной академии наук Кыргызской Республики,
Заслуженный работник НАН КР,
доктор технических наук, профессор

Брякин Иван Васильевич

03.03.2026 г.

Национальная академия наук Кыргызской Республики
720072, Кыргызстан, г. Бишкек, пр. Чуй, 265-а,
Институт машиноведения, автоматки и геомеханики
[http: www.kruia.gov.kg](http://www.kruia.gov.kg), e-mail: bivas2006@yandex.ru, тел.: +996-312-39-23-66

Подпись профессора И.В. Брякина удостоверяю:

Ученый секретарь ИМАГ НАН КР, к.т.н.



Квитко С.И.