

## ОТЗЫВ

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

Представленная на отзыв диссертация состоит из введения, семи глав, заключения, списка литературы из 321 наименований. Работа изложена на 402 страницах основного текста, содержит 178 рисунков, 45 таблиц и приложение объёмом 46 страниц.

### 1. Актуальность темы диссертационного исследования

Диссертация Логинова Бориса Михайловича посвящена решению крупной научно-технической проблемы использования цифровых технологий на металлургических заводах. Важной задачей является внедрение цифровых технологий и цифровых двойников (ЦД) на агрегатах, находящихся в эксплуатации. Внедрение цифровых технологий может быть реализовано при реконструкции прокатных станов. Однако процедуры виртуального ввода в эксплуатацию и виртуальных пуско-наладочных работ (ПНР) применяются крайне редко. Основными причинами являются отсутствие разработанных ЦД электротехнических комплексов. Также крайне редко используются технологии виртуальной настройки, в том числе аппаратное моделирование в цикле.

В связи с изложенным, представляется обоснованной разработка относительно простых объектно-ориентированных ЦД. Они должны создаваться на базе известных программ, используемых на промышленных предприятиях и в научных организациях.

Для практических целей необходима разработка ЦД, предназначенных для виртуального ввода в эксплуатацию, наладки и настройки в процессе модернизации электротехнического оборудования, а также для мониторинга технического состояния в режиме штатной эксплуатации.

Предметами изучения являются виртуальный ввод в эксплуатацию, мониторинг координат и технического состояния, совершенствование алгоритмов управления электроприводами с учетом их взаимосвязи через металл. В современных условиях, благодаря развитию цифровых технологий и ЦД, открываются новые подходы к разработке алгоритмов управления.

Разработка комплекса цифровых двойников, наблюдателей координат электротехнического оборудования, систем управления и защиты создаёт предпосылки для реализации концепции «интеллектуальный прокатный стан», обеспечивает возможности производства проката с новым перечнем свойств и



создает условия для импортозамещения продукции предприятий металлургической отрасли.

Таким образом, диссертационная работа Логинова Бориса Михайловича выполнена на актуальную тему, которая соответствует приоритетным направлениям развития науки, техники и технологий РФ.

## 2. Достоверность и новизна основных выводов и результатов диссертации

Соискателем в диссертационной работе получены следующие основные научные результаты:

1. Обоснованы концепции объектно-ориентированных цифровых двойников и цифровых теней электротехнических комплексов с учетом их технологической взаимосвязи, предназначенных для настройки, виртуального ввода в эксплуатацию и мониторинга технического состояния, выполняемых с использованием доступного программного обеспечения.

2. Создан комплекс цифровых двойников электромеханических систем, цифровых симуляторов технологического процесса и цифровых теней – наблюдателей координат электрического оборудования.

3. Разработана методика анализа влияния несинхронного обмена информацией между виртуальной моделью и «физической частью» ЦД на запаздывание сигналов и даны рекомендации по его уменьшению посредством совместного размещения виртуальной модели и алгоритма системы управления в ПЛК с многоядерными процессорами.

4. Обоснованы варианты конфигурации цифровых двойников в структурах ПЛК с многоядерными процессорами и доказана эффективность применения аппаратно-программного комплекса на основе двухъядерного процессора для виртуальной наладки электротехнических систем.

5. Обосновано применение методов нечеткой логики в системах управления взаимосвязанными электротехническими комплексами для синтеза адаптивных и нечетких регуляторов.

6. Разработан наблюдатель на основе фильтра Калмана с дополненным вектором состояния, обеспечивающий повышение точности восстановления параметров многомассовой системы.

7. На основе теории автоматического управления многосвязными системами предложен способ управления, обеспечивающий ограничение взаимодействия электроприводов последовательно расположенных клеток в режиме совместной прокатки.

8. Разработан способ ограничения динамических нагрузок прокатного оборудования средствами автоматизированного электропривода, обеспечивающего снижение амплитуды момента при захвате металла валками.

9. Разработана методика контроля температуры на основе тепловых моделей, на основе которой создан наблюдатель температуры двигателя и система двухэтапной тепловой защиты.

Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций, приведенных в диссертации, подтверждаются:

– корректным применением положений теории электропривода, теории автоматического управления, математических методов, методов компьютерного моделирования;

– анализом ранее выполненных разработок и опыта эксплуатации прокатных агрегатов;

– сопоставлением теоретических и экспериментальных данных, сравнением с результатами, полученными другими авторами;

– успешной настройкой и вводом в эксплуатацию электроприводов стана 1700, длительной эксплуатацией внедренных алгоритмов и систем на прокатных станах 2000, 2500 и 5000.

### 3. Практическая ценность проведенной соискателем работы

Практическая ценность научно-технических решений подтверждается результатами их промышленных испытаний и внедрения.

1. С использованием ЦД и новых алгоритмов управления на стане 5000 внедрены в промышленную эксплуатацию: адаптивный РДН 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) не менее чем в 5 раз и снижение материальных издержек за счет исключения нештатных ситуаций.

3. Комплекс виртуальных ПНР электрооборудования обеспечил трехкратное сокращение времени и трудозатрат при вводе в эксплуатацию нового 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 менее 10-ти часов при плановом показателе – 48 часов.

5. На стане 2500 обеспечены: повышение качества смотки полосы и устранения дефектов на полосе за счет реализации усовершенствованных алгоритмов регулирования координат электромеханических систем формирующих

роликов; расширение сортамента за счет производства полос толщиной до 30 мм со смоткой в рулон.

6. На стане 1700 внедрены алгоритм и программа автоматизированного анализа тепловых режимов электроприводов, система двухступенной защиты двигателей от перегрева.

#### 4. Апробация положений диссертационной работы.

Результаты диссертационной работы неоднократно обсуждались на Международных и Всероссийских научных конференциях.

По содержанию диссертации опубликовано 56 научных трудов, в том числе 19 статей в рецензируемых изданиях, рекомендованных ВАК РФ, 24 публикации в изданиях, индексируемых в наукометрических базах Scopus и WOS. Получено 9 патентов РФ на изобретения, зарегистрированы 2 программы для ЭВМ.

Опубликованные работы достаточно полно раскрывают основное содержание диссертации.

#### 5. Содержание автореферата.

Автореферат диссертации полностью отражает содержание, методы исследования и результаты работы.

#### 6. Конкретные рекомендации по использованию результатов и выводов диссертационной работы

Разработанный комплекс цифровых двойников, наблюдателей координат электротехнического оборудования, систем управления и защиты рекомендуется использовать при разработке «интеллектуальных» электроприводов для металлургического производства.

#### 7. Замечания по диссертационной работе

7.1. В диссертации утверждается, что повсеместно распространенным программным средством является Matlab. Поэтому делается вывод, что это направление является перспективным как для действующих, так и для вводимых в эксплуатацию прокатных агрегатов, поэтому оно принято за основу. Однако в настоящее время широкое применение находят также отечественные программные продукты, например SimInTech, REPEAT. Однако в диссертации отсутствует их рассмотрение.

7.2. В диссертации большое внимание уделяется определению цифрового двойника. Приводятся существующие определения цифрового двойника (таб-

лица 1.1). На наш взгляд в работе надо было дать более подробный анализ этих определений и на основе этого анализа уточнить определение цифрового двойника, что представляло бы несомненный теоретический интерес.

7.3. В работе обосновывается объектно-ориентированный подход к созданию ЦД электротехнических систем как альтернатива структурному подходу (стр. 78). На наш взгляд эти подходы не являются альтернативными. Наоборот, они дополняют друг друга.

7.4. Не понятно, что из себя представляют пуско-наладочные работы, выполняемые во время виртуального ввода в эксплуатацию (стр. 54).

7.5. Применение цифровых двойников позволяет осуществить виртуальный ввод в эксплуатацию производственных систем. В этом случае физический объект заменяется его моделью, которая должна адекватно описывать процессы на реальном объекте. Поэтому в работе необходимо было дать не только качественный, но и количественный анализ точности предлагаемых моделей при виртуальном вводе в эксплуатацию.

7.6. Не понятна связь между рисунком 2.9 и рисунками 2.10, 2.11, 2.12.

7.7. В разделе 2.3.1 необходимо было дать структуру формирования сигналов задания токов статора по продольной и поперечной осям и тока возбуждения от сигнала задания на момент (рис. 2.11).

## 8. Заключение

Диссертация Логинова Б. М. выполнена на высоком теоретическом и экспериментальном уровне, полученные результаты являются новыми и имеют научную и практическую значимости. Достоверность результатов подтверждается их согласованностью с проектными и экспериментальными данными, успешной апробацией на металлургических предприятиях.

Диссертация написана четким и понятным языком. Качество оформления соответствует требованиям, предъявляемым к структуре и правилам оформления диссертационных работ в соответствии с ГОСТ Р 7.0.11–2011.

В диссертации отсутствует использование заимствованного материала без ссылки на автора и источник заимствования, отсутствуют результаты научных работ, выполненные соискателем учёной степени в соавторстве, без ссылок на соавторов.

Диссертационная работа соответствует паспорту специальности 2.4.2. Электротехнические комплексы и системы.

Предоставленная на рецензирование диссертационная работа удовлетворяет требованиям, предъявляемым к докторским диссертациям действующим Положением о порядке присуждения ученых степеней, утверждённым постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842.

В соответствии с пунктом 9 Положения о порядке присуждения ученых степеней, диссертация является законченной научно-квалификационной рабо-

той, где изложены новые научно обоснованные технические решения по совершенствованию электротехнических комплексов прокатных станков, внедрение которых вносит значительный вклад в развитие страны.

Автор диссертации Логинов Борис Михайлович заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 2.4.2. Электротехнические комплексы и системы.

Официальный оппонент

профессор кафедры «Энергетика и энергоэффективность горной промышленности» Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС»,  
доктор технических наук, доцент

Шевырëв Юрий Вадимович  
5 февраля 2026 г.

Служебный адрес: 119049, г. Москва, Ленинский проспект, д. 4, стр. 1  
Телефон (рабочий) 8 (499) 230-23-35  
Адрес электронной почты: [uvshev@yandex.ru](mailto:uvshev@yandex.ru)

Подпись Шевырëва Юрия Вадимовича заверяю

ПОДПИСЬ \_\_\_\_\_ ЗАВЕРЯЮ  
Проректор по безопасности  
и общим вопросам  
НИТУ \_\_\_\_\_ И.М. Исаев