

Сказанное подтверждает актуальность и значимость данного научного направления для теории и практики автоматизированных электроприводов.

2. Структура и содержание диссертации

Диссертация состоит из введения, семи глав, заключения, списка литературы, включающего 321 наименование. Работа изложена на 402 страницах, содержит приложения объемом 46 страниц. Структура диссертации отличается логической последовательностью. Работа хорошо иллюстрирована, содержит 178 рисунков и 45 таблиц, качественно оформлена. Каждый раздел представляет законченную часть и играет самостоятельную роль в достижении поставленной цели.

Во введении рассмотрены направления цифровизации прокатного производства, дано обоснование применения цифровых двойников (ЦД) на различных этапах жизненного цикла электротехнических систем. Сформулированы цель и задачи исследований, изложено содержание диссертации по главам.

В первой главе представлен обзор концептуальных направлений создания ЦД, выполнен анализ возможностей их применения на агрегатах прокатного производства. Даны определения цифровых двойников, выполнена их классификация в соответствии с уровнем интеграции данных.

Рассмотрена взаимозависимость цифровых двойников, цифровых теней и цифровых моделей. Дана характеристика цифровых платформ ведущих зарубежных фирм, отмечена сложность их применения для промышленных установок, находящихся в эксплуатации. Обоснована разработка ЦД на базе прикладных программ, входящих в Matlab, и другого доступного программного обеспечения. Предложена методика виртуальной настройки электротехнических систем, включающая предварительное обоснование структуры системы управления и передаточной функции регулятора и дальнейшую настройку средствами аппаратного моделирования в цикле (HIL). При таком подходе необходимость синтеза регуляторов исключается, это сокращает затраты и время ввода объектов в эксплуатацию.

Дано обоснование разработки и внедрения объектно-ориентированных ЦД для промышленных электротехнических систем. Отмечены преимущества подхода: ориентация на конкретный объект и разработка на базе доступного программного обеспечения (ПО) без применения цифровых платформ.

Также в главе рассмотрены объекты исследования – электротехнические комплексы агрегатов ПАО «Магнитогорский Metallургический Комбинат», на примере которых разрабатываются двойники и цифровые тени.

Во второй главе рассматриваются научные положения и методика создания цифровых двойников электротехнических систем прокатных станов. Предложены следующие варианты размещения виртуальной модели: на отдельном вычислительном комплексе; в том же программируемом логическом контролере (ПЛК), где находится отлаживаемая программа; на ПЛК с многоядерным процессором. Методом виртуального моделирования дана оценка времени задержки сигналов в ЦД электромеханических и гидравлических систем. Выполнен анализ реального запаздывания сигналов крутящего момента при их передаче от САР к системе регулирования в ПЛК. Для ограничения величины запаздывания рекомендовано размещение виртуальной модели и структуры системы управления в ресурсах ПЛК на основе многоядерного процессора.

В третьей главе продемонстрирована практическая реализация нового концептуального направления: внедрения объектно-ориентированных ЦД на стадии виртуального ввода в эксплуатацию и пуско-наладочных работ в процессе реконструкции электротехнических комплексов.

Исследованы:

1. *Двухклетевой стан холодной прокатки 1700 «тандем»*. Разработаны двойники-прототипы, двойники-экземпляры и модели их взаимосвязи через металл. При их разработке применены модули, входящие в библиотеки Simulink и Simscape. Проведена серия экспериментов, в которых сравнивались параметры в переходных режимах, полученных на агрегированном ЦД и на реальном объекте. Сделаны выводы об эффективности их использования для настройки электротехнических систем.

2. *Моталки широкополосного стана 2500 горячей прокатки.* Рассмотрены техническая реализация ЦД и виртуальный ввод в процессе реконструкции с заменой оборудования. Алгоритм системы управления и виртуальная модель размещены в контроллерах управления станом. С целью подтверждения адекватности разработанного двойника физическому объекту проведены экспериментальные исследования, в ходе которых сравнивалось изменение параметров электро- и гидроприводов в переходных режимах.

3. *Летучие кривошипные ножницы агрегата поперечной резки горячекатанной полосы.* Рассмотрено применение ПЛ при их реконструкции. Выполнена разработка цифровой системы управления на контроллере типа REGUL с программным обеспечением Astra IDE. Разработан симулятор, создан виртуальный ПЛК, позволяющий выполнить настройку алгоритмов. В результате обосновано новое направление применения ЦД – это совершенствование алгоритмов при настройке и адаптации систем управления.

4. *Создание ЦД на основе ПЛК с многоядерными процессорами.* Это дает возможность разместить симулятор объекта на отдельном ядре ПЛК и исполнять операции в цикле менее 1 мс. Предложены конфигурации цифровых двойников на ПЛК с двухъядерным процессором. Результаты исследований показывают, что быстродействие такого ПЛК в комплексе с ПО Codesys 3.5 в несколько раз превышает потребности, возникающие при решении технологических задач. Автор справедливо считает, что это открывает широкие перспективы внедрения, разработок в данном направлении.

Четвертая глава посвящена совершенствованию алгоритмов управления взаимосвязанными электроприводами прокатных станов. *Разработана система управления электроприводами верхнего и нижнего валков (ВГП и НГП) на базе регулятора деления нагрузок (РДН) с переключающейся структурой.* Проведены исследования методом компьютерного моделирования и экспериментальные исследования на стане 5000.

Разработан новый РДН с нечеткой логикой на основе ресурса Fuzzy Logic Toolbox for MatLab. Техническим отличием, определяющим новизну, является

включение двух каналов регулирования скоростей: по разнице моментов двигателей ВГП и НГП и по отфильтрованной производной их разницы. К тому же нечеткий регулятор впервые применен для управления двумя взаимосвязанными электроприводами прокатной клетки.

Разработаны способ управления гидравлическими нажимными устройствами (НУ) в режиме профилированной прокатки. Отличием является автоматическое регулирование положения НУ на участках переменной толщины, а в установившемся режиме прокатки – регулирование толщины раската. По результатам моделирования и экспериментальных исследований подтверждено приближение формы листа в плане (вид сверху) к прямоугольной. В результате достигается снижение отходов с боковой и концевой обрезью.

Разработаны технические решения, направленные на ограничение силового взаимодействия валков универсальной клетки в режиме совместной прокатки. В их числе способ автоматического управления электроприводами в черновой группе клеток непрерывного стана. По результатам экспериментальных исследований даны рекомендации по его внедрению на стане 2500.

Пятая глава посвящена разработке цифровых теней – наблюдателей координат для контроля технического состояния электроприводов.

Разработан наблюдатель упругого момента двухмассовой системы клетки на основе фильтра Калмана с дополненным вектором состояния. Представлена схема наблюдателя в матричной форме, реализованная в электромеханических системах стана 5000. Путем виртуального моделирования с использованием реальных сигналов от электроприводов доказана адекватность процессов, восстановленных наблюдателем, и реальных физических процессов.

Разработан наблюдатель углового зазора в шпиндельных соединениях системы «электропривод-клеть». Выполнена виртуальная настройка наблюдателя, для этого он реализован в Matlab Simulink с использованием доменов пакета Simscape. Подтверждена целесообразность его внедрения на стане 5000.

Разработана тепловая модель двигателя на базе доменов Simscape Thermal Models, содержащая 4 массы: обмотки статора и ротора, железо статора и ротора.

Тепловые массы представлены в виде подсистем передачи теплового потока. Для проверки адекватности выполнено сравнение температур с результатами измерений пирометром в контрольных точках непосредственно на двигателе. Доказано совпадение результатов с удовлетворительной точностью. Разработанный наблюдатель температуры внедрен в эксплуатацию на стане 5000 и рекомендуется для расширенного внедрения на других агрегатах.

Шестая глава посвящена созданию системы ограничения динамических нагрузок электропривода прокатной клетки на основе наблюдателя упругого момента. В результате экспериментальных исследований показано, что амплитуды моментов на шпинделях клетки стана 5000 при захвате раскатов валками кратно превышают установившийся момент при прокатке. Это приводит к перегрузкам электроприводов, накоплению усталостных разрушений и поломкам механического оборудования.

Разработан относительно простой наблюдатель упругого момента. Он представляет собой фрагмент ПО промышленного контроллера и осуществляет восстановление координат неуправляемой массы (валка) и момента шпинделя по параметрам управляемой массы: моменту и скорости двигателя. Доказано, что предложенный принцип измерения обеспечивает максимальное приближение восстановленных сигналов к физическим.

Выполнен анализ влияния скорости заполнения очага деформации при захвате раскатов валками на динамические показатели электромеханической системы клетки. Разработан способ управления электроприводом клетки, отличительным признаком которого является адаптивное торможение после захвата с темпом, зависящим от величины нагрузки и скорости ее приложения. В результате анализа осциллограмм, полученных на стане 5000, доказано, что отрицательный динамический момент, создаваемый при торможении с оптимальным темпом, полностью компенсирует динамический момент, вызванный ударным приложением нагрузки.

В седьмой главе представлены результаты экспериментальных исследований и промышленного внедрения разработанных алгоритмов управления электроприводами.

Разработан способ предотвращения аварий, согласно которому предлагается выделять производную упругого момента на шпинделе и при высоком темпе нарастания момента (более 25000 кН·м/с) производить останов стана. Это предотвратит дальнейшее вращение шпинделя и аварийные последствия. Предложена структура системы управления, обеспечивающей экстренное торможение. Для ее реализации разработан адаптивный задатчик интенсивности торможения с переключающейся структурой.

Исследованы осциллограммы для двух предаварийных режимов. В обоих случаях произведен экстренный останов электроприводов, время которого по сравнению с аналогичным показателем при проектной настройке сократилось в 2,4 раза.

Система защиты двигателей от перегрева, разработанная на основе четырех-массовой тепловой модели, внедрена в эксплуатацию на стане 1700. Экспериментально доказано, что предложенный алгоритм двухступенной защиты позволяет обеспечить безаварийный останов агрегата и не допустить превышения температурой предельных значений. Даны рекомендации по ее внедрению на ответственных установках, где есть опасность недопустимого нагрева электрооборудования.

Выполнено обобщение результатов экспериментальных исследований и опытно-промышленной эксплуатации, приведена оценка технико-экономической эффективности внедренных технических решений. Доказано, что преимуществом разработанных алгоритмов является высокая надежность при относительной простоте реализации.

3. Научные результаты работы и их новизна

1. Обоснован концептуальный подход к созданию объектно-ориентированных цифровых двойников промышленных электротехнических комплексов.

Обоснована методика виртуальной настройки на основе технологии НПЛ, включающая создание замкнутого контура между тестируемым оборудованием и моделированием в реальном времени. Благодаря НПЛ становится неактуальной задача строго синтеза регуляторов систем автоматического регулирования технологических параметров и координат электроприводов.

2. Концепция объектно-ориентированных цифровых двойников электротехнических комплексов прокатных станов получила развитие в направлении реализации на основе доступных программных сред (Simulink Real Time, Simscape Hydraulics и др.) и моделирования НПЛ. Создан комплекс двойников-экземпляров электромеханических и гидравлических систем, цифровых симуляторов технологических взаимосвязей и агрегированных ЦД прокатных агрегатов.

3. Впервые исследовано влияние асинхронного обмена информацией и временных задержек на точность воспроизведения физических процессов в структуре ЦД. Дана оценка задержек в электромеханических и гидравлических системах. Сделан вывод, что запаздывание сигнала момента в реальной системе составляет 6...10 мс, что приводит к ошибкам в передаче данных в on-line режиме. Для ограничения запаздываний рекомендовано размещение виртуальной модели и структуры системы управления в ресурсах ПЛК с многоядерными процессорами.

4. Предложены варианты конфигурации ЦД в ПЛК с двухъядерными процессорами. С использованием виртуального симулятора объекта и ПО Codesys 3.5 выполнены исследования различных электроприводов. Подтвержден кратный «запас» по быстродействию, тем самым намечены перспективы применения предложенного подхода в системах автоматизации металлургического производства.

5. Получили развитие научные положения теории автоматического управления в направлении разработки адаптивных и нечетких регуляторов взаимосвязанных электротехнических комплексов. Разработаны РДН с переключающейся структурой и двухканальный нечеткий РДН, содержащий канал регулирования по производной разницы заданий моментов двигателей. Обоснована методика

оптимальной настройки РДН с НЛ по критерию минимального времени согласования моментов.

6. Разработан комплекс цифровых алгоритмов управления электроприводами последовательно расположенных клетей, обеспечивающий выравнивание их нагрузок. Разработан способ управления гидравлическими нажимными устройствами клетки толстолиствого стана в режиме профилированной прокатки, обеспечивающий повышение размерной точности прокатываемых листов.

7. Разработан наблюдатель состояния на основе фильтра Калмана с дополненным вектором состояния, отличительным признаком которого является введение в вектор состояния момента нагрузки 2-й массы двухмассовой системы. Это позволяет учесть скорость заполнения очага деформации при входе раскатов в клеть без применения вычислительных алгоритмов. В результате повышается точность восстановления координат электропривода.

8. Обоснована и технически реализована концепция объектно-ориентированных цифровых теней – наблюдателей координат электромеханической системы прокатной клетки. Разработан наблюдатель углового зазора в шпиндельных соединениях путем интегрирования скорости во время замыкания зазора. Разработан адаптивный наблюдатель упругого момента на шпинделях, обеспечивающий исключение вычислительных операций, что является преимуществом при промышленном внедрении.

4. Практическая значимость и перспективы исследований

1. В развитие концепции ограничения динамических нагрузок средствами автоматизированного электропривода разработан способ ограничения упругого момента в электромеханической системе прокатной клетки, компенсирующий влияние скорости заполнения очага деформации. Реализация способа осуществляется за счет адаптивного торможения после входа раската в клеть.

2. Выполнен анализ упругих моментов на шпинделях в аварийных режимах на стане 5000. Разработан и внедрен способ предотвращения аварий, согласно которому производится форсированный останов стана при превышении темпом

нарастания момента на шпинделе заданного предельного значения. Представлена структура системы экстренного торможения, для ее реализации разработан задатчик интенсивности с переключающейся структурой.

3. В развитие концепции объектно-ориентированных цифровых теней разработан наблюдатель теплового состояния двигателя на основе четырехмассовой тепловой модели. На его основе разработана система двухступенной тепловой защиты двигателей, которая прошла апробацию в электроприводах стана 5000 и внедрена в электроприводах стана 1700.

4. Разработанные цифровые двойники и алгоритмы управления внедрены на станах 5000, 2500 и 2000 ПАО «Магнитогорский Metallургический Комбинат». Методика виртуальных ПНР применена при вводе в промышленную эксплуатацию стана 1700. Основные технические эффекты от внедрения:

- сокращение непроизводительных затрат за счет снижения расходного коэффициента в результате сокращения брака и концевой обрезки;
- снижение аварийности производства за счет увеличения срока службы электрического и механического оборудования;
- расширение сортамента за счет производства полос толщиной до 30 мм сомоткой в рулон.

Это позволяет утверждать, что цели, поставленные в диссертации, достигнуты. Суммарный экономический эффект от внедрения разработок составляет 19,5 млн. руб./год.

Перспективы исследований

В результате решения поставленных задач получены новые знания о взаимосвязанном регулировании координат электромеханических систем непрерывных технологических линий. Это позволит обосновать новые принципы и алгоритмы управления, определить возможности и резервы энерго- и ресурсосбережения.

На перспективу поставлена задача создания комплексных цифровых систем управления взаимосвязанными электроприводами клетки либо группы клеток прокатных станов. При этом наиболее эффективным является применение ПЛК

с многоядерными процессорами. Усовершенствованные системы должны разрабатываться на цифровой основе, для их наладки в промышленных условиях должно быть предусмотрено применение виртуальных моделей и технологии НЛ.

Представленные технические решения рекомендуются для внедрения в электромеханических системах прокатных станов, оснащенных современными ПЛК.

5. Достоверность и обоснованность положений, выводов и рекомендаций

Соискатель ученой степени Логинов Б.М. в представленной диссертации корректно использует современные научные методы для обоснования решаемых задач, анализа полученных результатов и их критического сопоставления с известными положениями и разработками.

Обоснованность результатов и положений, выдвинутых на защиту, базируется на комплексном теоретическом анализе, экспериментах, опыте ПНР и эксплуатации электротехнических систем агрегатов ПАО «Магнитогорский Металлургический Комбинат». Достоверность полученных научных результатов обеспечивается использованием современных апробированных методик и средств проведения исследований. Важным показателем, подтверждающим достоверность практических результатов, является длительная эффективная эксплуатация внедренных алгоритмов на станах 5000, 2500, 1700 и 2000.

6. Апробации и публикации

Научные результаты диссертации опубликованы в 56 научных трудах, в том числе: – 19 статей в рецензируемых изданиях из списка ВАК РФ; – 24 статьи и доклада в изданиях, входящих в базы WOS и Scopus, из них 9 статей – в изданиях, входящих в I и во II квартиль (Q1, Q2); – 9 патентов РФ на изобретения и 2 программы для ЭВМ. Результаты исследований докладывались и обсуждались на 23 конференциях международного уровня.

Опубликованные работы соответствуют диссертационной работе и с достаточной полнотой отражают ее содержание.

Основные положения, выводы и результаты соответствуют поставленным задачам и сформулированы автором содержательно. В них убедительно отражены научная новизна и практическая ценность выполненных исследований.

Содержание автореферата соответствует диссертации по всем квалификационным признакам: по цели, задачам исследования, актуальности, новизны, научной и практической значимости.

7. Соответствие диссертации и автореферата установленным критериям

Диссертационная работа Логинова Б.М., представленная на соискание ученой степени доктора технических наук, полностью отвечает критериям, которые установлены пунктами 9–14 Положения о присуждении ученых степеней.

Заявленная автором цель работы – разработка концепции и создание комплекса объектно-ориентированных цифровых двойников и цифровых теней взаимосвязанных электротехнических систем агрегатов прокатного производства, полностью реализована в проведенных исследованиях и отражена в диссертации, 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 решения аргументированы и оценены по сравнению с другими известными разработками по рассматриваемой теме.

Выводы, сформулированные Б.М. Логиновым по результатам выполненной работы, достаточно полно отражают научную и практическую ценность проведенных исследований по разработке и реализации способов, обеспечивающих расширение сортамента, снижение материалоемкости и улучшение качества листового проката.

В диссертации приведены сведения о практическом использовании полученных автором научных результатов, направленных на совершенствование

электротехнических систем прокатных станов на основе концепции объектно-ориентированных цифровых двойников.

Тема и содержание диссертации Логинова Б.М. соответствуют паспорту специальности 2.4.2. Электротехнические комплексы и системы по следующим пунктам:

п. 1. *«Развитие общей теории электротехнических комплексов и систем, анализ системных свойств и связей, физическое, математическое, имитационное и компьютерное моделирование компонентов электротехнических комплексов и систем, включая электромеханические, электромагнитные преобразователи энергии и электрические аппараты, системы электропривода, электроснабжения и электрооборудования»:*

– получила развитие теория электротехнических комплексов на основе концепции объектно-ориентированных цифровых двойников;

– расширены теоретические представления о регулировании координат взаимосвязанных электротехнических систем прокатных станов, методах on-line настройки и виртуального ввода в эксплуатацию, мониторинге технического состояния электроприводов;

– получены новые знания о способах повышения точности двойникования и возможностях применения современных ПЛК с многоядерными процессорами.

п. 2. *«Разработка научных основ проектирования, создания и эксплуатации электротехнических комплексов, систем и их компонентов»:*

– разработан и практически применен в промышленности новый принцип создания промышленных ЦД на основе аппаратного моделирования ННЛ, включающий полунатурное моделирование путем создания замкнутого контура между тестируемым оборудованием и виртуальной моделью;

– разработан комплекс виртуальных моделей в структурах ЦД электротехнических систем на основе модулей Simulink Real Time, Simscape Hydraulics и специально созданных моделей в Matlab Simulinc.

п. 3 «Разработка, структурный и параметрический синтез, оптимизация электротехнических комплектов, систем и их компонентов, разработка алгоритмов эффективного управления»:

– научно обоснована методика настройки регулятора деления нагрузки с нечеткой логикой для взаимосвязанных электроприводов по критерию минимального времени согласования моментов;

– выполнен синтез двухканального регулятора деления нагрузок с нечеткой логикой, отличием которого является включение канала регулирования по производной разницы заданий моментов двигателей;

– разработана методика синтеза наблюдателя упругого момента с новым вычислительным алгоритмом по методу ЛАЧХ по критериям полосы пропускания и желаемой частоты среза системы;

– разработан наблюдатель состояния на основе фильтра Калмана с дополненным вектором состояния, отличительным признаком которого является добавление в вектор состояния момента нагрузки 2-й массы двухмассовой системы;

– разработан комплекс научно обоснованных технических решений, обеспечивающих согласование нагрузок взаимосвязанных электроприводов последовательно расположенных клеток путем автоматической коррекции скоростей в динамических режимах.

п. 4. «Исследование работоспособности и качества функционирования электротехнических комплексов, систем и их компонентов в различных режимах, при разнообразных внешних воздействиях, диагностика электротехнических комплексов»:

– проведены исследования электротехнических систем и цифровых алгоритмов управления, разработанных для прокатных станов и их отдельных технологических узлов в основных динамических режимах при разнообразных внешних воздействиях;

– разработаны и исследованы системы диагностирования технического состояния на основе наблюдателей состояния и координат электроприводов;

– в ходе экспериментальных исследований и длительной промышленной эксплуатации доказаны работоспособность и качество функционирования электротехнических комплексов и цифровых систем управления.

Структура диссертации построена в строгой последовательности с решением поставленных задач. Редакционное оформление диссертации и автореферата соответствуют требованиям, предъявляемым к данным документам. Стиль изложения корректен с научной и технической точек зрения, соискатель ссылается на авторов и источники заимствования материалов.

Следует особо отметить масштабность работы, которая определяется комплексом объектов и методов исследований. В их числе электротехнические системы станов горячей и холодной прокатки, сложные электротехнические комплексы моталок и другие объекты. Подобные масштабные исследования в современных диссертациях встречаются редко.

8. Замечания и дискуссионные положения

1. Направление, принятое в диссертации, является новым и востребованным. Вместе с тем, автором не раскрыты возможности применения цифровых двойников на стадиях проектирования и обучения персонала. Что может дополнить автор по этому вопросу?

2. Насколько универсальными являются цифровые двойники-прототипы и экземпляры, разработанные для двухклетевого стана, представленные в табл. 3.6? Какие дополнительные исследования должны быть проведены при их применении на других объектах?

3. В параграфе 3.2.3 утверждается, что разработанная виртуальная модель и подход НПЛ применены для совершенствования алгоритмов управления электро- и гидроприводами моталок. Однако информация по этим важным разработкам в диссертации отсутствует. Дайте пояснения по этому вопросу.

4. Регулятор деления нагрузок с нечеткой логикой обеспечивает максимальное быстродействие при согласовании нагрузок двигателей клетки стана 5000.

Насколько перспективно его промышленное внедрение с учетом сложности технической реализации? Насколько перспективно применение разработанного нечеткого регулятора для других электроприводов?

5. Насколько правомерно использовать упрощенную модель контура регулирования момента в виде инерционного звена взамен сложной многомерной системы регулирования токов синхронного привода (рисунки 3.30, стр. 164 и 4.1, стр. 173)?

6. Автором перечислены несколько разработок, направленных на снижение амплитуд упругих моментов, вызванных замыканием зазора при ударной нагрузке (страница 244, ссылки на литературу). Этот вопрос не выглядит законченным, почему эти разработки не рассмотрены в диссертации?

7. Рекомендация: автору следует уделить внимание проблеме создания и заполнения баз данных о параметрах электроприводов и состоянии оборудования. Какими совершенными ни были бы методы обработки результатов, без такой информации глобальная проблема цифровизации производства не может быть решена.

9. Заключение

Диссертация Логинова Бориса Михайловича является законченной научно-квалификационной работой, выполнена на высоком научном уровне и обладает признаками актуальности, новизны и практической значимости. В ней изложены новые научные положения, разработаны научно-обоснованные технические решения по созданию и реализации на практике способов управления электротехническими систем прокатных агрегатов, что имеет важное значение для развития промышленности Российской Федерации.

Сделанные замечания не имеют принципиального значения и не оказывают влияния на общее положительное впечатление о работе.

Представленная диссертационная работа «Совершенствование электротехнических комплексов прокатных станов на основе концепции объектно-ориен-

тированных цифровых двойников» соответствует критериям п.п. 9 - 14 Положения о присуждении ученых степеней, а ее автор Логинов Борис Михайлович заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 2.4.2. Электротехнические комплексы и системы.

Официальный оппонент
доктор технических наук, доцент,
профессор кафедры «Электроснабжение
и электропривод» ФГБОУ ВО
«Южно-Российский государственный
политехнический университет
имени М.И. Платова», г. Новочеркасск



Микитинский Александр Петрович

26 февраля 2026 г.

Служебный адрес: 346428, Ростовская обл., г. Новочеркасск,
ул. Просвещения 132, тел.
Телефон (рабочий) +7(863) 522-33-44
Адрес электронной почты: rektorat@npi-tu.ru

Подпись Микитинского Александра Петровича заверяю
Ученый секретарь ученого совета ЮРГПУ (НПИ)



Холодкова Нина Николаевна

26 февраля 2026 г.