

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 212.298.05, СОЗДАННОГО НА
БАЗЕ федерального государственного автономного образовательного учреждения
высшего образования «Южно-Уральский государственный университет (национальный
исследовательский университет)» Министерства науки и высшего образования
Российской Федерации,

ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 18 сентября 2020 г. № 3

О присуждении Балденкову Александру Александровичу, гражданину РФ, учёной
степени кандидата технических наук.

Диссертация «Структурные методы линеаризации динамических характеристик
асинхронных электроприводов с частотным управлением» по специальности 05.09.03 –
«Электротехнические комплексы и системы» принята к защите 12 февраля 2020 г.
(протокол № 2) диссертационным советом Д 212.298.05, созданным на базе федерального
государственного автономного образовательного учреждения высшего образования
«Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский
университет)» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации,
454080, г. Челябинск, пр-т им. В.И. Ленина, 76; приказ о создании диссертационного совета
– № 105/нк от 11.04.2012.

Соискатель Балденков Александр Александрович, 1970 года рождения, в 2013 году
окончил федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего
профессионального образования «Южно-Уральский государственный университет»
(национальный исследовательский университет). В 2018 году соискатель окончил
обучение в очной аспирантуре федерального государственного автономного
образовательного учреждения высшего образования «Южно-Уральский государственный
университет (национальный исследовательский университет)», работает инженером 1-й
категории на кафедре автоматизированного электропривода федерального
государственного автономного образовательного учреждения высшего образования
«Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский
университет)».

Диссертация выполнена на кафедре автоматизированного электропривода
федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего
образования «Южно-Уральский государственный университет (национальный
исследовательский университет)».

Научный руководитель – доктор технических наук Кодкин Владимир Львович, профессор кафедры автоматизированного электропривода федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)».

Официальные оппоненты:

1. **Петушков Михаил Юрьевич**, доктор технических наук, доцент, профессор кафедры электроники и микроэлектроники ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск.

2. **Однокопылов Иван Георгиевич**, кандидат технических наук, доцент отделения энергетики и электротехники ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», г. Томск.

– дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Уфимский государственный нефтяной технический университет» (ФГБОУ ВО «УГНТУ») – в своём положительном отзыве, составленном кандидатом технических наук, доцентом кафедры электротехники и электрооборудования предприятий Хазиевой Р.Т., подписанным зав. кафедрой электротехники и электрооборудования предприятий, д.т.н., доцентом Хакимьяновым М.И. и утверждённом к.т.н. Рабаевым Р.У., проректором по научной и инновационной работе ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет», указала, что диссертационное исследование, в процессе которого проводится изучение асинхронного электропривода, как нелинейной системы управления и линеаризация его статических и динамических характеристик, являются актуальным, а диссертационная работа Балденкова А.А. представляет собой завершённую научно-исследовательскую работу на актуальную тему. По своей актуальности, объёму выполненных исследований, научному содержанию, новизне и практической значимости результатов работа полностью отвечает требованиям «Положения о присуждении ученых степеней», предъявляемым к квалификационным работам на соискание ученой степени кандидата наук.

Соискатель имеет 29 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации опубликовано 29 работ, из них в рецензируемых научных изданиях опубликовано 4 статьи, 9 статей в изданиях, индексируемых базами Scopus и Web of Science, 1 монография, 1 учебное пособие, 3 патента на изобретения. Общий объём опубликованных работ составляет 7,2 п.л.

Наиболее значимые публикации по теме диссертации:

1. Кодкин В.Л. Оптимизация динамических режимов комплекса асинхронных электроприводов технологической линии // В.Л. Кодкин, А.С. Аникин, А.А. Балденков, Цзян Яньмин, Хуан Чжи Чен / Вестник ЮУрГУ. Серия: «Энергетика». – 2018. Т. 18. – № 4. – С. 121–129. (9/3)

2. Кодкин, В.Л. Спектральный состав тока ротора асинхронного двигателя – показатель его эффективности // В.Л. Кодкин, А.С. Аникин, А.А. Балденков / Омский научный вестник. –2019. –№5 (167). – С.39–45. (7/4)

3. Балденков, А.А. Оценка динамики асинхронного привода по нелинейной передаточной функции. Коррекция нелинейности асинхронного электропривода // А.А. Балденков, В.Л. Кодкин, А.С. Аникин / Омский научный вестник. –2019. –№5 (167). –С. 51–57. (7/3)

4. Кодкин В.Л. Моделирование потокосцеплений асинхронного электродвигателя в динамических режимах. Сравнение эффективности различных алгоритмов управления // В.Л. Кодкин, А.С. Аникин, А.А. Балденков, Хуан Чжи Чен / Омский научный вестник. –2019. –№6 (168). –С. 27–33. (7/5)

На диссертацию и автореферат поступили отзывы:

1. ФГБОУ ВО «Южно-Российский государственный политехнический университет им. М.И. Платова», г. Новочеркасск, отзыв подписан профессором кафедры «Электроснабжение и электропривод», д.т.н., проф. Пятибратовым Г.Я. с замечаниями: «1. Требуется пояснения, как проверялась адекватность применяемых математических моделей; 2. Какие и насколько улучшены динамические характеристики асинхронного электропривода со скалярным управлением при применении предлагаемой коррекции».

2. ФГБОУ ВО «Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева», г. Кемерово, отзыв подписан доцентом кафедры электропривода и автоматизации КузГТУ, к.т.н., Григорьевым А.В. с замечаниями: «1. Получение уравнения (2.3) диссертации из уравнения (2.1) не объясняется, а приводится с комментарием «Уравнение 2.1 позволило предложить другой вариант линеаризации, при котором исходное уравнение примет вид (2.3)». Тем не менее, это является важной частью диссертации, поскольку из известных методов линеаризации следуют другие выражения; 2. При частотном анализе электроприводов подразумевается постоянство частоты питающего напряжения («заморожены» в терминологии автора), что в реальных условиях не соблюдается, следовательно, полученные выводы могут быть ошибочными».

3. ФГБОУ ВО «Комсомольский-на-Амуре государственный университет», г. Комсомольск-на-Амуре, отзыв подписан заведующим кафедрой «Электропривод и

автоматизация промышленных установок» к.т.н., доц. Черным С.П. с замечаниями: «1. Из автореферата остаются не понятными преимущества предложенного подхода корректирующего нелинейности по сравнению с классическими методами компенсации, основанными на использовании статических характеристик; 2. В автореферате не приведено сравнение возможностей современных систем электропривода по автоматической и даже интеллектуальной настройке параметров алгоритмов управления с предложенным подходом».

4. Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Казанский государственный энергетический университет», г. Казань, отзыв подписан доцентом кафедры «Электротехнические комплексы и системы», к.т.н., доцентом Бутаковым Валерием Михайловичем с замечаниями: «Из автореферата не ясно, на каком основании произведено уточнение исходного уравнения (1), устанавливающего связь между текущим моментом и скольжением, и получено уравнение (2).»

5. ФГБУ 21 Научно-исследовательский испытательный институт ВАТ МО РФ, Московская область, г. Бронницы, отзыв подписан начальником отдела, канд. техн. наук, Исаевым Д.И. с замечаниями: «1. Из автореферата не ясно, возможно ли применение предлагаемых в работе положений для других типов двигателей переменного тока; 2. Промышленное применение разработанной автором коррекции подразумевает возможность изменения амплитуды напряжения в промышленной сети $\pm 10\%$, в автореферате не показано, насколько корректно будет работать предлагаемая коррекция в таких условиях; 3. Возможность применения метода оценки эффективности формирования момента спектральным анализом токов ротора сильно ограничена в связи с возможностью использования для этих целей только двигателей с фазным ротором; 4. На рисунках 8 и 9 автореферата нечетко видны параметры спектра».

6. Челябинское электротехническое предприятие (АО ЧЭТП), г. Челябинск, отзыв подписан генеральным директором, к.т.н., Сидоренко Б. Ю. с замечаниями: «1. В автореферате нет информации, насколько точно соотносятся теоретические расчеты, результаты моделирования и экспериментальных исследований; 2. Нет четкого определения, какие преобразователи частоты относятся к «среднему технико-экономическому классу»; 3. Не ясно, каким образом производился замер тока статора для реализации обратной связи».

7. Общество с ограниченной ответственностью Научно-производственное предприятие «Резонанс», г. Челябинск, отзыв подписан генеральным директором ООО НПП «Резонанс», доктором технических наук, Коровиным Владимиром Андреевичем с

замечаниями: «В автореферате отсутствует описание лабораторного стенда, применяемого для проведения экспериментов, не совсем понятно, каким образом производился спектральный анализ токов ротора. В автореферате не представлены алгоритм или программа реализации положительной обратной связи по току статора в ПЛК. На некоторых рисунках обозначения очень мелкие, что затрудняет восприятие информации».

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается публикациями авторов по заданной тематике. За последние 5 лет имеются публикации: д-р техн. наук Петушковым М.Ю. – 5 публикаций в изданиях из перечня ВАК, 6 публикаций в изданиях, индексируемых в Scopus; канд. техн. наук Однокопыловым И.Г. – 5 публикаций в изданиях из перечня ВАК, 3 публикации в издании, индексируемом в Scopus; ведущая организация – 7 публикаций в изданиях из перечня ВАК, 8 публикаций в изданиях, индексируемых в Scopus. Сотрудниками ведущей организации являются ученые и специалисты, научная деятельность которых проходит в области использования асинхронных электроприводов с частотным управлением: д.т.н., проф. Хакимьянов М.И., д.т.н. проф. Саттаров Р.Р. д.т.н. проф. Ураксеев М.А. и др.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

разработаны структурная и электрическая принципиальная схемы асинхронного электропривода (АЭП) с динамической положительной обратной связи по действующему значению тока статора, при которой в асинхронном электроприводе компенсируются моментные нагрузки с минимальной ошибкой скорости;

предложен метод расчёта семейств частотных характеристик канала формирования момента в асинхронном электроприводе позволяющий анализировать статические, динамические характеристики и устойчивость асинхронного электропривода, во всем диапазоне его рабочих скоростей и нагрузок;

доказано экспериментами, что предложенный метод коррекции обеспечивает существенно меньшую динамическую ошибку скорости при набросах нагрузки, чем традиционные алгоритмы управления (векторное и скалярное);

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

доказана адекватность нелинейной передаточной функции канала формирования момента асинхронного электродвигателя, вносящей вклад в расширение представлений о работе этих двигателей во всем диапазоне рабочих скоростей и нагрузок;

применительно к проблематике диссертации результативно применены основные положения теории управления асинхронными электроприводами, основ

электротехники, обыкновенных дифференциальных уравнений, быстрых преобразований Фурье, методы компьютерного и физического моделирования, а также проведены эксперименты на лабораторном оборудовании;

изложена идея структурной коррекции (линеаризации) статических и динамических характеристик асинхронных электроприводов с частотным управлением введением динамической положительной обратной связи по действующему значению тока статора;

раскрыты проблемы работы векторного управления, связанные с допущением о синусоидальности процессов в асинхронных электроприводах;

изучены взаимосвязи процессов в токах ротора асинхронных электроприводов и эффективности формирования момента в них;

обоснована методика оценки эффективности привода при набросах нагрузки по величине абсолютного скольжения, определяемого по значению основной гармоники спектра роторных токов;

доказано, что предложенная структурная коррекция АЭП (динамическая положительная обратная связь по действующему значению тока статора) – наиболее эффективный способ управления АЭП, компенсирующий моментные нагрузки;

проведена модернизация существующих компьютерных моделей для исследования процессов, протекающих в асинхронных электроприводах с частотным управлением, в направлении введения структурной коррекции характеристик данных электроприводов.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждаются тем, что:

разработанная методика коррекции статических и динамических характеристик асинхронных электроприводов с частотным управлением **внедрена** в систему управления приводов промышленной линии окраски листового материала ООО «Комплекс» (г. Челябинск), и в систему управления циркуляционными насосами автономного теплового пункта (котельной), смонтированного и обслуживаемого НПФ «Восток-Запад» (г. Челябинск);

разработаны алгоритм, программное обеспечение и принципиальная схема внедрения, предлагаемой в работе, структурной коррекции асинхронных электроприводов на промышленных объектах. На устройство получены 2 патента на изобретения;

представлены рекомендации: использовать усовершенствованную модель АЭП и стенд, с возможностью регистрации спектров токов ротора, для оценки эффективности

алгоритмов формирования момента в асинхронных электроприводах с частотным управлением.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

установлено качественное совпадение результатов моделирования и экспериментальных исследований асинхронных электроприводов в статических и динамических режимах при различных алгоритмах управления (традиционных – скалярного, векторного, и с предложенной в работе структурной коррекцией);

теория построена на известных проверяемых результатах, в том числе для традиционных алгоритмов скалярного и векторного управления, и согласуется с опубликованными данными, представленными в работах российских и зарубежных ученых;

идея базируется на интерпретации динамических процессов в асинхронном электродвигателе передаточной функцией с переменными параметрами, зависящими от частоты статорного напряжения и абсолютного скольжения;

использованы современные методики сбора и обработки экспериментальных данных при помощи оборудования лабораторных стендов кафедры «Автоматизированный электропривод» ФГАОУ ВО «ЮУрГУ (НИУ)».

Личный вклад автора состоит в:

Автором проведены экспериментальные исследования асинхронных электроприводов с частотным управлением, построенных на базе преобразователей частоты среднего технико-экономического класса, а именно, разработана методика регистрации переходных процессов в скорости и токах статора и ротора при набросах моментной нагрузки, разработана конструкторская документация исследовательского стенда и изготовлен стенд, разработана методика исследований и проведены исследования, проведен анализ результатов исследований. Получена нелинейная передаточная функция канала формирования момента асинхронного электродвигателя, описывающая его динамику более точно, чем традиционные методы (векторные диаграммы и уравнения); по указанной нелинейной передаточной функции автором рассчитаны семейства частотных характеристик и разработаны устройства коррекции и методика оценки эффективности асинхронных электроприводов по этим семействам. Предложен метод коррекции динамических характеристик асинхронных электроприводов положительной динамической обратной связью по действующему значению тока статора. Автором разработано корректирующее устройство, изготовлен его макетный образец и внедрено в опытные образцы электропривода, проведен комплекс экспериментальных исследований,

доказывающих эффективность предлагаемой коррекции. Автором разработана конструкторская документация, алгоритм и программное обеспечение для внедрения предлагаемой коррекции и проведения экспериментальных исследований в условиях промышленных предприятий. Разработана модель асинхронного электропривода со скалярным управлением и контуром динамической положительной обратной связи по действующему значению тока статора, получены результаты моделирования статических и динамических режимов в асинхронных электроприводах, подтверждающие эффективность предлагаемого метода коррекции. Предложен метод оценки эффективности асинхронного электропривода по абсолютному скольжению, необходимому для создания момента. Показано, что абсолютное скольжение наиболее точно определяется по величине основной гармоники тока ротора.

Диссертация Балденкова А.А. «Структурные методы линеаризации динамических характеристик асинхронных электроприводов с частотным управлением» является научно-квалификационной работой, в которой содержится решение научной задачи – улучшение статических и динамических характеристик асинхронных электроприводов с частотным управлением. Диссертационная работа имеет значение для развития отрасли знаний – электротехники.

На заседании 18 сентября 2020 г. диссертационный совет принял решение присудить Балденкову А.А. учёную степень кандидата технических наук.

При проведении открытого голосования диссертационный совет в количестве 17 человек, из них 6 – докторов наук по специальности 05.09.03 – «Электротехнические комплексы и системы», участвовавших в заседании, из 23 человек, входящих в состав совета, дополнительно введены на разовую защиту **НЕТ** человек, присутствовали дистанционно 6 человек, проголосовали: за – 17, против – **НЕТ**, воздержались – **НЕТ**.

Председатель

диссертационного совета

Учёный секретарь

диссертационного совета

18.09.2020

Радионов Андрей Александрович

Григорьев Максим Анатольевич

