

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 212.082.06,  
СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО  
БЮДЖЕТНОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО  
ОБРАЗОВАНИЯ «КАЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ» МИНИСТЕРСТВА НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ, ПО ДИССЕРТАЦИИ  
НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № \_\_\_\_\_

решение диссертационного совета от 16 марта 2021 г., № 30

О присуждении Малёву Николаю Анатольевичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Метод автоматизированного многопараметрического анализа и контроля функционирования электромеханических преобразователей с применением градиентного алгоритма вычисления оценок параметров» по специальности 05.09.01 – «Электромеханика и электрические аппараты» принята к защите 29 декабря 2020 г. (протокол заседания № 27) диссертационным советом Д 212.082.06, созданным на базе Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования (ФГБОУ ВО) «Казанский государственный энергетический университет» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, 420066, г. Казань, ул. Красносельская, 51, приказ № 552/нк от 23.05.2018 г.

Соискатель Малёв Николай Анатольевич, 1978 года рождения, в 2003 году окончил с отличием Казанский государственный энергетический университет, по направлению «Электротехника, электромеханика и электротехнологии», Министерство образования Российской Федерации (диплом АВМ 0041396);

в период с 2003 г. по настоящее время работает на кафедре «Приборостроение и мехатроника» ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет»; в период 2017 г. по 2018 г. прошел профессиональную переподготовку по направлению «Приборостроение» (диплом №162402624196 от 26.09.2017 №97/2017) и по направлению

«Мехатроника и робототехника».

Диссертация выполнена на кафедре «Приборостроение и мехатроника» ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет», Министерство науки и высшего образования Российской Федерации.

Научный руководитель – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Приборостроение и мехатроника» Погодицкий Олег Владиславович, ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет».

Официальные оппоненты:

1. **Макаров Валерий Геннадьевич**, доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой электропривода и электротехники ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет», г. Казань;

2. **Саушев Александр Васильевич**, доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой электропривода и электрооборудования береговых установок ФГБОУ ВО «Государственный университет морского и речного флота имени адмирала С.О. Макарова», г. Санкт-Петербург

дали **положительные** отзывы на диссертацию.

Ведущая организация: ГБОУ ВО «Альметьевский государственный нефтяной институт», г. Альметьевск, в своем положительном заключении, подписанном Табачниковой Татьяной Владимировной, кандидатом технических наук, доцентом, заведующим кафедрой «Электро- и теплоэнергетика», кандидатом технических наук, проректором по научной работе Бобровским Игорем Николаевичем указали, что диссертация является законченной научно-квалификационной работой. Разработанный в диссертации метод вносит вклад в развитие способов анализа и контроля функционирования электромеханических преобразователей. Выводы и результаты проведенных исследований являются обоснованными и достоверными. Автор владеет темой исследований, умеет обосновать и выполнить теоретические изыскания, а также экспериментально подтвердить результаты, полученные путем моделирования. Уровень и количество публикаций, отражающих полученные результаты, отвечает требованиям пунктов 11 и 13 «Положения о порядке присуждения ученых степеней» постановления Правительства РФ от 24 сентября 2013 г. № 842.

Диссертационная работа Малёва Николая Анатольевича на тему «Метод автоматизированного многопараметрического анализа и контроля функционирования электромеханических преобразователей с применением градиентного алгоритма вычисления оценок параметров», представленная на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.09.01 «Электромеханика и электрические аппараты» по научному содержанию, новизне исследований, объемам выполненных исследований, обоснованности выводов и практической значимости результатов, по изложению и оформлению соответствует всем требованиям Положения о порядке присуждения ученых степеней, утвержденного Постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 г. №842, в части, касающейся диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук. Основные выводы работы полностью соответствуют её целям и положениям, выносимым на защиту. Автор диссертационной работы Малёв Николай Анатольевич заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.09.01 «Электромеханика и электрические аппараты».

Соискатель имеет 22 опубликованных работы по теме диссертации общим объёмом 12,95 печатных листов и авторским вкладом 5,94 печатных листа; работ, опубликованных в рецензируемых научных изданиях, индексируемых в базе данных SCOPUS – 2, объёмом 0,82 печатных листа и авторским вкладом 0,33 печатных листа; в рецензируемых научных изданиях, входящих в перечень ВАК по специальности диссертации – 7, объёмом 3,11 печатных листа и авторским вкладом 1,4 печатных листа; работ, опубликованных в материалах и тезисах международных научных конференций – 12, общим объёмом 1,41 печатных листа и авторским вкладом 0,65 печатных листа.

В диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем ученой степени работах, в которых изложены основные научные результаты диссертации.

Наиболее значимые научные работы по теме диссертации:

1. Малёв Н.А., Погодицкий О.В., Цветкович А.М. Особенности применения теории чувствительности для анализа влияния параметрических возмущений на

динамические свойства электромеханических преобразователей. Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2019, № 21(6). С. 101-110.

2. Малёв Н.А., Погодицкий О.В., Малацион А.С. Метод формирования  $Q$ -таблиц для автоматизированного контроля параметров электромеханических преобразователей с применением линейного интегрального критерия. Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2020, № 22(2). С. 86-97.

3. Малёв Н.А., Погодицкий О.В. Статистический анализ динамических характеристик асинхронного электромеханического преобразователя с изменяющимися параметрами. Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2019. № 21(1-2). С. 120-130.

4. N.A. Malev, A.I. Mukhametshin, O.V. Pogoditsky and W.M. Mwaku. Method of analysis and monitoring of the electromechanical converters parameters based on a linear integral criterion using sensitivity models. International Scientific and Technical Conference Smart Energy Systems 2019 (SES-2019), vol. 124. Режим доступа: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/201912402005>.

5. N. A. Malev, A. I. Mukhametshin and O. V. Pogoditsky. Analysis and Study of the Dynamic Processes of a Permanent Magnet Synchronous Motor with a Wide Range of Parameter Variations Using the Reference Model, 2019 International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies (FarEastCon), Vladivostok, Russia, 2019, pp. 1-6. Режим доступа: <https://doi.org/10.1109/FarEastCon.2019.8934216>.

На диссертацию и автореферат поступило 9 отзывов. Из них положительных – 9. С замечаниями – 9. Отзывы прислали:

1. Доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Энергетика и энергоэффективность горных предприятий» ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС» Бабокин Геннадий Иванович. Замечание: к недостаткам материалов, представленных в автореферате диссертации, можно отнести отсутствие описания, какой мощности должны быть двигатели, исследуемые по векторно-матричной структурной схеме многопараметрического анализа и контроля электромеханических преобразователей, представленной на рис. 10, с. 12.

2. Доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Системы автоматизированного проектирования» ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технический университет имени А.Н. Туполева-КАИ» (КНИТУ-КАИ) Гизатуллин Зиннур Марселевич. Замечания: 1. Из текста автореферата не вполне ясно, что понимается под «...статической и динамической погрешностями полученной математической модели» электромеханического преобразователя. 2. Проводился ли сравнительный анализ мультипликативного способа формирования вектора чувствительности, примененного в работе, с аддитивным способом? 3. В работе говорится о «программной реализации метода многопараметрического анализа и контроля функционирования ЭМП», однако отсутствует документальное подтверждение данного утверждения в виде патента или свидетельства о регистрации программ.

3. Доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Электроснабжение» учреждения образования «Гомельский государственный технический университет имени Павла Осиповича Сухого» Грунтович Надежда Владимировна. Замечания: 1. Реализация метода осуществляется с применением эталонной модели объекта исследования, однако из текста автореферата не ясно, каким образом формируется эталонная модель. 2. На рис. 7 представлена Simulink-модель для вычисления вектора чувствительности асинхронного ЭМП, однако не раскрыты блоки, отвечающие за вычисления отдельных компонент вектора нестабильных параметров. 3. В работе утверждается, что «угловая скорость вращения  $\omega$  ...является наиболее информативной координатой», однако при вычислении вектора чувствительности асинхронного ЭМП в качестве выходной координаты рассматривается электромагнитный момент  $M$ . Данное обстоятельство требует пояснения.

4. Доктор технических наук, профессор, руководитель научно-учебной лаборатории информационных систем в энергетике ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет» Довгун Валерий Петрович. Замечания: 1. Чем обусловлен выбор нестабильных параметров при реализации метода получения компонент функционала? 2. Неясно, почему некоторые положения, выносимые на защиту, не включены в перечень основных результатов работы.

5. Доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Электрические машины и аппараты» ФГБОУ ВО «Ростовский государственный университет путей сообщения» Колпахчян Павел Григорьевич. Замечания: 1. В работе не объясняется, почему при реализации метода выбрано линейное представление обобщённого интегрального критерия, а, например, не интеграл от квадрата невязки. 2. Результаты исследования двигателя постоянного тока, приведенные во второй главе диссертации, представляются тривиальными. С какой целью они приведены? 3. На рис. 5 представлена Simulink-модель вычисления вектора чувствительности ЭМП постоянного тока, однако пояснения к данной схеме в тексте автореферата отсутствуют.

6. Доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Электрооборудование ФГБОУ ВО «Вологодский государственный университет» Немировский Александр Емельянович. Замечания: 1. Отмечается, что в первой главе «приведено математическое описание обобщённой электрической машины ... приведены уравнения электрического и механического равновесия». Данные сведения являются общеизвестными, насколько оправданным является их использование в тексте диссертации? 2. При вычислении обобщённого интегрального критерия в качестве регистрируемой выходной координаты ЭМП используется скорость вращения (рис. 1). Проводились ли подобные исследования для токов ЭМП? 3. В системе уравнений чувствительности (2) матрица свободных членов  $F_x$  входит в уравнение выхода, тогда как на структурной схеме вычисления функций чувствительности (рис. 4) приводится либо ко входу, либо к выходу схемы. Как объясняется данное противоречие?

7. Кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Электрооборудование судов и автоматизация производства» ФГБОУ ВО «Керченский государственный морской технологический университет» Савенко Александр Евгеньевич. Замечания: 1. Автором не даны конкретные практические рекомендации по построению и реализации действующей системы энергоэффективного управления электромеханическими преобразователями в виде предполагаемого контроллера с программным обеспечением, внедряемого

между измерительными датчиками и объектом управления. 2. Из текста автореферата неясно каким методом оценивается снижение запасов устойчивости асинхронного электромеханического преобразователя. 3. На странице 11 описываются графики функций чувствительности  $M_{Ld}(t)$  и  $\omega_{Ld}(t)$ , которые не приведены в тексте.

8. Кандидат технических наук, доцент кафедры «Электропривод» ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет» Синюкова Татьяна Викторовна. Замечания: 1. Чем объясняются отрицательные величины момента и скорости (с. 10)? 2. В каких случаях можно пренебречь влиянием активных сопротивлений статора и ротора на выходную координату асинхронного электромеханического преобразователя (с. 10)?

9. Доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой электроснабжения и электротехники ФГБОУ ВО «Иркутский национальный исследовательский технический университет» Суслов Константин Витальевич. Замечания: 1. Проводилась ли оценка энергоэффективности электромеханических преобразователей с учетом применения разработанного в диссертации метода? 2. Из текста автореферата непонятно, какова погрешность дискретной аппроксимации эталонной модели и моделей чувствительности. 3. Проводился ли анализ погрешности вычисления оценок нестабильных параметров разработанным в диссертации методом по сравнению с другими существующими методами? 4. В автореферате отсутствует информация по вычислительным затратам, необходимым на программную реализацию разработанного метода.

**Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается** их известностью своими достижениями в данной отрасли науки, наличием публикаций в соответствующей сфере исследований и их квалификацией определять научную и практическую ценность диссертации.

Официальный оппонент Макаров Валерий Геннадьевич является доктором технических наук по специальности 05.09.03 – «Электротехнические комплексы и системы», специалистом в области исследования электромеханических преобразователей, электроприводов и систем управления электроприводов,

разработки методов идентификации параметров и координат электроприводов, имеет соответствующие публикации.

Официальный оппонент Саушев Александр Васильевич является доктором технических наук по специальности 05.09.03 – «Электротехнические комплексы и системы», занимается фундаментальными и прикладными исследованиями, направленными на анализ и контроль функционирования электротехнических комплексов и систем, в том числе электромеханических преобразователей, а также является экспертом в области исследования работоспособности электротехнических систем, имеет соответствующие публикации.

Ведущая организация – государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Альметьевский государственный нефтяной институт», г. Альметьевск, занимается научной деятельностью по приоритетным направлениям развития науки, техники и технологий. Научными направлениями деятельности сотрудников кафедры «Электро- и теплоэнергетика» – исследование и решение технических и технологических проблем электромеханических систем и электротехнических комплексов, в том числе связанных с имитационным моделированием электромеханических преобразователей. Сотрудники кафедры имеют соответствующие публикации.

**Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:**

**разработан** метод и алгоритм многопараметрического анализа и контроля состояния электромеханических преобразователей на основе обобщённого интегрального критерия  $Q$  с применением машины постоянного тока, обеспечивающий высокую точность оценки ее параметров;

**предложены** новые научно-обоснованные решения, позволяющие осуществить анализ нестабильных параметров и контроль функционирования электромеханических преобразователей на этапе опытно-конструкторских и послеремонтных испытаний, а также в процессе эксплуатации в составе рабочих комплексов;

**доказана** достоверность разработанных Simulink-моделей электромеханических преобразователей различных типов, отражающих



динамические свойства объектов исследования с требуемой точностью и предоставляющих возможность контроля нестабильных параметров в процессе эксплуатации.

**Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:**  
**доказано**

а) что полученные научные результаты позволяют расширить теоретическую базу в области разработки подходов, методов, алгоритмов и программ, обеспечивающих анализ и контроль функционирования электромеханических преобразователей;

б) что разработанные алгоритмы и программы, составляющие основу метода многопараметрического анализа и контроля функционирования электромеханических преобразователей с применением градиентного алгоритма вычисления оценок параметров, будут полезны на этапах проектирования и анализа электромеханических преобразователей, функционирующих в составе рабочих комплексов;

**применительно к проблематике диссертации результативно**

**использован** комплекс существующих базовых методов теории чувствительности, теории систем, теории дифференциальных и разностных уравнений, а также методы аппроксимации и сглаживания экспериментальных данных, численные методы решения систем дифференциальных уравнений, метод наименьших квадратов, метод пространства состояний;

**изучены** динамические свойства электромеханических преобразователей в условиях параметрических возмущений, определены наиболее чувствительные к этим возмущениям координаты, регистрация которых позволяет реализовать разработанный метод, а также выявлены допустимые пределы изменения нестабильных параметров, характеризующие работоспособность исследуемых объектов;

**Значение полученных соискателем результатов исследования для практики** подтверждается тем, что:

**разработан и внедрен** комплекс технических решений, который используется:

а) в деятельности ООО «Стэк Мастер» (г. Казань) для определения отклонений параметров электрических машин в системе «преобразователь частоты – двигатель» на этапе опытно-конструкторских испытаний;

б) в деятельности электрического цеха Казанской ТЭЦ-1 (г. Казань) на этапе послеремонтных испытаний электромеханических преобразователей в целях контроля качества ремонтных работ путем проверки соответствия параметров электрических машин требуемым значениям;

в) в учебном процессе ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет» (г. Казань) для синтеза цифровых фильтров и исследования чувствительности динамических моделей электромеханических преобразователей к вариациям нестабильных параметров при построении микропроцессорных измерительных систем и систем управления электроприводов:

**определены** технические решения по совершенствованию методов, алгоритмов и программ, обеспечивающих контроль функционирования электромеханических преобразователей, которые позволяют обеспечить высокую робастность предложенного метода многопараметрического анализа и контроля электромеханических преобразователей к наличию шумов и импульсных помех в измерительном канале;

**представлены** рекомендации по применению метода многопараметрического анализа и контроля функционирования объектов исследования, позволяющие производить проверку отклонений параметров электрических машин от требуемых значений на этапах опытно-конструкторских и послеремонтных испытаний, а также обеспечить формирование алгоритма активной коррекции процесса функционирования электромеханических преобразователей в составе рабочих комплексов за счет построения блока настройки, позволяющего оптимизировать параметры регулятора на основе вычисления оценок нестабильных параметров.

**Оценка достоверности результатов исследований выявила:**

Для экспериментальных работ применены апробированные методики и аппаратура, прошедшая метрологические поверки; показана воспроизводимость

результатов измерений для различных условий проведения эксперимента, в том числе при целенаправленном формировании параметрических возмущений;

**теория** основана на фундаментальных научных концепциях, не противоречит известным из литературы данным и согласуется с опубликованными теоретическими и экспериментальными работами других авторов; получены векторно-матричные структурные схемы вычисления функций чувствительности электромеханических преобразователей различных типов. а также соответствующие оригинальные Simulink-модели, позволяющие реализовать разработанный метод;

**идея базируется** на аналитическом методе контроля функционирования электромеханических преобразователей с вычислением обобщённого интегрального критерия  $Q$  на основе беспойскового градиентного алгоритма, реализованном с применением программной среды *Matlab-Simulink* и экспериментального подтверждения метода на примере электромеханического преобразователя постоянного тока;

**установлено** соответствие полученных данных результатам, представленным в независимых источниках по данной тематике; соответствие результатов экспериментальных работ, полученных автором при исследовании электромеханического преобразователя постоянного тока, результатам моделирования в программной среде *Matlab-Simulink*;

**использованы** современные методики экспериментальных исследований, сбора и обработки получаемых данных.

**Личный вклад соискателя** состоит в непосредственном участии во всех этапах получения результатов, представленных в диссертации, в разработке имитационных моделей электромеханических преобразователей, учитывающих нестабильные параметры, в разработке алгоритмов и программ для анализа и контроля функционирования электромеханических преобразователей, в самостоятельном проведении теоретических и экспериментальных исследований, в моделировании в программной среде *Matlab-Simulink*, в анализе и сравнении теоретических и экспериментальных результатов исследования, подготовке докладов, выступлений на конференциях и написании статей.

Диссертационный совет рекомендует использовать результаты диссертационного исследования Малёва Н.А. в научно-исследовательских учреждениях и лабораториях, занимающихся исследованием, разработкой и применением силовых электромеханических преобразователей энергии, а также в научно-образовательном процессе в образовательных учреждениях с математическим и техническим уклоном, в профильных высших учебных заведениях. Полученные в работе результаты могут быть использованы в ЗАО «Росэннергомаш» (г. Москва), ОАО «Силовые машины» (г. Санкт-Петербург), ООО «Воронежский электроремонтный завод» (г. Воронеж), ОАО «Электромашина» (г. Челябинск), ОАО «Карпинский электромашиностроительный завод» (г. Карпинск) и других предприятиях и организациях, занимающихся производством, эксплуатацией и ремонтом электромеханических преобразователей.

Диссертация Малёва Н.А. «Метод автоматизированного многопараметрического анализа и контроля функционирования электромеханических преобразователей с применением градиентного алгоритма вычисления оценок параметров» соответствует критериям п. 9 – 14 Положения о порядке присуждения ученых степеней, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, является законченной научно-квалификационной работой, выполненной на актуальную тему, в которой содержится решение задачи разработки научно-обоснованного инструментария, позволяющего осуществить анализ нестабильных параметров и контроль функционирования электромеханических преобразователей на этапе опытных и послеремонтных испытаний, а также в процессе эксплуатации в составе рабочих комплексов.

На заседании 16 марта 2021 года диссертационный совет принял решение присудить Малёва Николаю Анатольевичу ученую степень кандидата технических наук.

Заседание диссертационного совета проводилось в удаленном интерактивном режиме, в соответствии с Приказом Министерства науки и высшего образования России №734 от 22.06.2020 г.

При проведении открытого поименного голосования диссертационный совет в количестве 14 человек (из них присутствовало на заседании лично 10, в удаленном интерактивном режиме 4), из них 6 докторов наук по специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 20 человек, входящих в состав совета, дополнительно введены на разовую защиту 0 человек, проголосовали: за 14, против 0, не голосовавших 0.

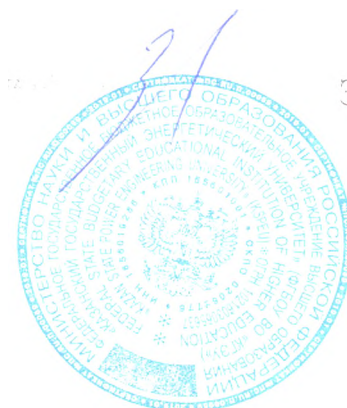
Председатель

диссертационного совета

Ваньков Юрий Витальевич

Ученый секретарь

диссертационного совета



Зиганшин Шамиль Гаязович

16 марта 2021 г.