

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА ГУ.6
ПО ДИССЕРТАЦИИ
НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА (ДОКТОРА) НАУК**

аттестационное дело № _____
решение диссертационного совета от 19.09.2025 № 25

О присуждении Горбунову Антону Евгеньевичу, гражданину Российской Федерации ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Методы и средства вихретокового контроля нахлесточных паяных соединений электрических машин» по специальности 2.2.8. Методы и приборы контроля и диагностики материалов, изделий, веществ и природной среды принята к защите 17.07.2025, протокол заседания № 18, диссертационным советом ГУ.6 федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II» Минобрнауки России, 199106, Санкт-Петербург, линия 21-я В.О., дом 2, приказ ректора Санкт-Петербургского горного университета о создании диссертационного совета от 06.02.2023 № 154 адм, с изменениями от 31.08.2023 № 1193 адм, с изменениями от 30.07.2024 № 1212 адм.

Соискатель, Горбунов Антон Евгеньевич, 19 января 1998 года рождения, в 2021 году с отличием окончил федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет» по направлению подготовки 12.04.01 Приборостроение.

С 01.10.2021 года по настоящее время соискатель является аспирантом очной формы обучения кафедры метрологии, приборостроения и управления качеством в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II» Минобрнауки России.

Работает инженером в обществе с ограниченной ответственностью «КОНСТАНТА» (ООО «Константа»).

Диссертация выполнена на кафедре метрологии, приборостроения и управления качеством в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II» Минобрнауки России.

Научный руководитель – кандидат технических наук, **Уманский Александр Сергеевич**, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II», кафедра метрологии, приборостроения и управления качеством, заведующий кафедрой.

Официальные оппоненты:

Федоров Алексей Владимирович – доктор технических наук, федеральное государственное автономное образовательное учреждение

высшего образования «Национальный исследовательский университет ИТМО», факультет систем управления и робототехники, профессор;

Сташков Алексей Николаевич – кандидат технических наук, федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт физики металлов имени М.Н. Михеева Уральского отделения Российской академии наук, ведущий научный сотрудник; дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – **учреждение науки «Инженерно-конструкторский центр сопровождения эксплуатации космической техники»**, г. Санкт-Петербург, в своем положительном отзыве, подписанном Быченком Владимиром Анатольевичем, кандидатом технических наук, заместителем директора по НИОКР, и Беркутовым Игорем Владимировичем, кандидатом технических наук, руководителем центра технологий неразрушающего контроля – старшим научным сотрудником, секретарем заседания и утвержденном Красновым Олегом Валерьевичем, доктором технических наук, профессором, директором, указала, что результаты исследования имеют прикладное значение для промышленных предприятий, специализирующихся на изготовлении и капитальном ремонте турбогенераторов.

Соискатель имеет 10 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации опубликовано 7 работ, из них в рецензируемых научных изданиях опубликовано 4 работы, в том числе в 2 статьях - в изданиях из перечня рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук (далее – Перечень ВАК), в 2 статьях - в изданиях, входящих в международную базу данных и систему цитирования Scopus. Получен 1 патент на изобретение.

Общий объем – 3,31 печатных листа, в том числе 2,13 печатных листа - соискателя.

Публикации в изданиях из Перечня ВАК:

1. Горбунов, А.Е. Тангенциальный вихретоковый преобразователь для контроля нахлесточных паяных соединений токоведущих шин электрических машин / А.Е. Горбунов, А.Е. Ивкин, П.В. Соломенчук // Дефектоскопия. – 2023. – № 11. – С. 54-56. (ВАК-МБД (GeoRef), № 554 ред. 30.12.2022).

Соискателем проведен анализ актуальности проблемы выявления дефектов пайки и измерения степени пропаянности нахлесточных паяных соединений статорных обмоток электрических машин. Рассмотрены существующие вихретоковые преобразователи для контроля пайки соединительных шин электрических машин. Для измерения степени пропаянности нахлесточных паяных соединений предложена конструкция двухэлементного вихретокового преобразователя с расположенными тангенциально катушками и активным экранированием.

2. Горбунов, А.Е. Подавление влияния мешающих параметров при

контроле нахлесточных паяных соединений электрических машин / А.Е. Горбунов, П.В. Соломенчук, А.С. Уманский // Контроль. Диагностика. 2025. № 6 (28). С. 4–11. (№ 1568 Перечня ВАК ред. 18.03.2025).

Соискателем проведен анализ уровня влияния актуальных мешающих параметров на результаты измерений степени пропаянности, выделены мешающие параметры, влияние которых недопустимо велико. Для обеспечения отстройки от влияния мешающих параметров на результаты измерений предложены технические и методические средства. Для настройки и калибровки вихретокового преобразователя разработанной конструкции предложен комплект настроечных образцов степени пропаянности 0% и 100%, предъявлены требования к образцам. Разработаны основные положения методики измерений и оценена погрешность измерений.

Публикации в изданиях, входящих в международную базу данных и систему цитирования Scopus:

3. Gorbunov, A.E. Modeling a Two-Element Tangential Eddy Current Probe with Active Shielding for Soldered Joint Testing / Gorbunov A.E., Solomenchuk P. V., Umanskii A. S. // Russian Journal of Nondestructive Testing. – 2024. – Vol. 60, No. 8. – P. 912-920.

Горбунов, А.Е. Моделирование двухэлементного вихретокового преобразователя тангенциального типа с активным экранированием для контроля паяных соединений / Горбунов А.Е., Соломенчук П.В., Уманский А.С. // Дефектоскопия 2024. № 60. С. 912–920.

Соискателем приводится обоснование применения метода конечных элементов для исследования взаимодействия вихретокового преобразователя и нахлесточного паяного соединения с моделями дефектов, имитирующими реальные. Для обеспечения точности результатов расчетов модели предъявлены требования к качеству модели, проведены исследования влияния параметров моделирования на прецизионность показаний модели и обоснован выбор параметров для обеспечения требуемого уровня точности. В результате разработана конструкция преобразователя и создан макет. В ходе экспериментального исследования характеристик макета преобразователя была подтверждена чувствительность к дефектам нахлесточных паяных соединений.

4. Gorbunov, A. Methods and means of eddy current testing of soldered lap joints of electrical machines / Gorbunov A., Syasko V., Solomenchuk P., Umanskii A. // Applied Sciences (Switzerland). – 2025. – Vol. 15, No. 4. – P. 2036.

Горбунов, А. Методы и средства вихретокового контроля нахлесточных паяных соединений электрических машин / Горбунов А., Сясько В., Соломенчук П., Уманский А. // Прикладные науки. 2025, 15, 2036.

Соискателем проведен всесторонний анализ существующих методов и технических средств неразрушающего контроля пайки элементов статорной обмотки электрических машин, исследована применимость

различных конструкций вихретоковых преобразователей, обоснована применимость тангенциального преобразователя с расположенными тангенциально катушками. Соискателем разработан проект методики измерения степени пропаянности нахлесточных паяных соединений статорной обмотки электрических машин с применением преобразователя разработанной конструкции и образцов степени пропаянности 0% и 100%. В ходе практического применения разработанных основных положений методики в производственных условиях проведены измерения степени пропаянности нахлесточных паяных соединений статора турбогенератора серии ТВФ.

Публикации в прочих изданиях:

5. Горбунов, А.Е. Неразрушающий вихретоковый контроль остаточной толщины стенок трубопроводов под изоляцией с использованием нестационарного электромагнитного поля / А.Е. Горбунов // Актуальные проблемы недропользования : тезисы докладов XVIII Международного форума-конкурса студентов и молодых ученых, Санкт-Петербург, 15–21 мая 2022 года. Том 3. – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский горный университет, 2022. – С. 20-21.

Соискателем проведены исследования методов вихретокового вида неразрушающего контроля для выявления дефектов под изоляцией. Сделан вывод о перспективности применения импульсного метода вихретокового контроля, описаны существующие вихретоковые средства. Предложены основы построения адекватной конечно-элементной модели для исследования характеристик преобразователей для вихретокового контроля.

6. Горбунов, А.Е. Измерение степени пропаянности соединения токоведущих шин турбогенераторов с использованием тангенциального вихретокового преобразователя с активным экранированием / А.Е. Горбунов, А.Е. Ивкин, П.В. Соломенчук // Физические методы неразрушающего контроля (Янусовские чтения) : Тезисы докладов XXXIV Уральской конференции с международным участием, Пермь, 20–21 апреля 2023 года. – Екатеринбург: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт физики металлов имени М.Н. Михеева Уральского отделения Российской академии наук, 2023. – С. 36-37.

Соискателем проведен анализ проблем вихретокового контроля нахлесточных паяных соединений статорной обмотки электрических машин. На основе анализа выдвинута гипотеза о применении преобразователя тангенциального типа и возбуждении вихревых токов с ненулевой пространственной составляющей.

7. Горбунов, А.Е. Моделирование двухэлементного вихретокового преобразователя тангенциального типа с активным экранированием для контроля паяных соединений / А.Е. Горбунов, П.В. Соломенчук // Умные технологии НК. Единство теории и практики : Сборник трудов XXIII Всероссийской конференции по неразрушающему контролю и технической

диагностике, Москва, 23–25 октября 2023 года. – Москва: Издательский дом "Спектр", 2023. – С. 145-149.

Соискатель приводит результаты изучения взаимодействия вихретокового преобразователя и объекта контроля при помощи метода конечных элементов, описывает актуальные мешающие и контролируемый параметры. Соискателем исследованы и применены средства снижения шума модели, позволив разработать качественную конечно-элементную модель, на основе которой проводилась оптимизация конструкции преобразователя.

Патенты/свидетельства на объекты интеллектуальной собственности:

8. Патент № 2808437 С1 Российская Федерация, МПК G01N 27/90 (2023.08). Вихретоковый преобразователь тангенциального типа с активным экранированием. Заявка №2023116472: заявл. 13.07.2023: опубл. 28.11.2023 / А.Е. Горбунов, А.Е. Ивкин, В.А. Сясько; заявитель/патентообладатель федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Санкт-Петербургский горный университет". – 10с.

Соискателем проведен патентный поиск, разработана конструкция двухэлементного вихретокового преобразователя с расположенными тангенциально катушками и активным экранированием для измерения степени пропаянности нахлесточных паяных соединений статорной обмотки электрических машин.

Апробация работы проведена на:

1. XVIII Международном форуме-конкурсе студентов и молодых ученых «Актуальные проблемы недропользования» (май 2022 года, г. Санкт-Петербург);

2. XXXIV Уральской конференции с международным участием «Физические методы неразрушающего контроля (Янусовские чтения)» (апрель 2023 года, г. Пермь);

3. XXIII Всероссийской научно-технической конференции по неразрушающему контролю и технической диагностике (октябрь 2023 года, г. Москва);

4. Молодежной научно-технической конференции в рамках XII Международного промышленного Форума «Территория NDT 2025» (апрель 2025 года, г. Москва).

В диссертации Горбунова Антона Евгеньевича отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем работах, в которых изложены основные научные результаты диссертации.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы от: генерального директора ООО «Астринсплав СК» **М.А. Пономарева** и коммерческого директора **Э.П. Бляндур**; заместителя начальника НПК-3 НИЦ «Курчатовский институт» - ЦНИИ КМ «Прометей», к.т.н. **К.Е. Садкина** и ученого секретаря, к.т.н. **Т.И. Бобковой**; заведующего кафедрой электроакустики и ультразвуковой техники СПбГЭТУ «ЛЭТИ», к.т.н., доцента **Р.С. Коновалова**; доцента Высшей школы физики и технологий

материалов СПбПУ, к.т.н., доцента **С.Е. Ермакова**; руководителя перспективных разработок ООО «НПЦ «ЭХО+», к.т.н. **В.Ю. Чертищев**.

В отзывах дана положительная оценка диссертационного исследования, отмечена актуальность выбранной темы, научная новизна, теоретическая и практическая значимость работы, а также значимость предложенной методики контроля, однако отмечены следующие замечания:

1. В перечне мешающих параметров не указаны отклонение от параллельности, отклонение толщины слоя припоя и прочие возможные факторы, влияющие на геометрию контролируемого объекта (**М.А. Пономарев**);

2. В эксперименте с макетом преобразователя не обосновывается выбор конкретного количества образцов степени пропаянности и их пропаянности (0%, 100% и 60%) (**к.т.н. К.Е. Садкин и Т.И. Бобкова**);

3. Следует сопоставить эффективность предложенной методики контроля с существующими способами контроля пайки при производстве и капитальном ремонте оборудования (**к.т.н. К.Е. Садкин и Т.И. Бобкова**);

4. В работе не указано, исследовалось ли влияние прочих дефектов нахлесточной пайки, помимо неполного пропая, на результаты измерений. (**к.т.н. К.Е. Садкин и Т.И. Бобкова**);

5. При описании конечно-элементного моделирования процессов взаимодействия тангенциально расположенных катушек и объекта контроля следовало описать какими средствами, а также с какими требованиями и параметрами, оно осуществлено (**к.т.н. Р.С. Коновалов**);

6. Из текста автореферата остается не вполне понятным объем проведенных экспериментальных исследований, количество задействованных в измерениях образцов (**к.т.н. Р.С. Коновалов**);

7. При обсуждении выводов и результатов работы автор не упоминает, даже схематически, о возможных путях продолжения и совершенствования проведенных им исследований (**к.т.н. Р.С. Коновалов**);

8. На стр. 16 автореферата в формуле допущена ошибка в записи формулы (3) (**к.т.н. С.А. Ермаков**);

9. Из текста автореферата не ясно, как был получен коэффициент t в формуле (3) для корректировки показаний (**к.т.н. С.А. Ермаков**);

10. В тексте реферата не приводится описание метода, на основе которого работает разработанный преобразователь для контроля пайки (**к.т.н. С.А. Ермаков**);

11. Не в полной мере отражены вопросы расчета параметров обмоток преобразователя (**к.т.н. В.Ю. Чертищев**);

12. Не исследовано влияние адгезии припоя к поверхности медной шины, отклонения от параллельности установки шин и толщины слоя припоя на результаты контроля (**к.т.н. В.Ю. Чертищев**);

13. Указано, что разработанный преобразователь использует амплитудный метод вихретокового контроля, однако результаты

экспериментов представлены в виде годографов, на которых видно, что у выходного сигнала существенно меняется только реальная составляющая комплексного сигнала. Отсутствует ясность для чего измеряется комплексный сигнал при использовании амплитудного метода (к.т.н. **В.Ю. Чертищев**);

14. В работе не приводится обоснование выбора частоты возбуждения вихревых токов в преобразователе, а также причины использования разных частот для разных типоразмеров преобразователей (к.т.н. **В.Ю. Чертищев**);

15. Искусственные дефекты в работе моделируются как сквозные прямоугольные воздушные полости. Нет данных о том насколько адекватно такая модель описывает реальные дефекты пайки (несмачивание, усадочные раковины, поры, включения флюса), которые могут иметь сложную объемную форму и не быть сквозными (к.т.н. **В.Ю. Чертищев**).

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается их работой в ведущих профильных организациях, занимающихся исследованиями в области неразрушающего контроля материалов и изделий, а также высоким профессиональным авторитетом и компетенцией в области приборостроения.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

разработана новая концепция построения модели двухэлементного вихретокового преобразователя с активным экранированием, позволяющая прогнозировать распределение вихревых токов в зоне паяного соединения, оценить метрологические характеристики на этапе проектирования и оптимизировать конструкцию преобразователя;

предложен оригинальный подход к контролю нахлесточных паяных соединений статоров электрических машин, основанный на измерении степени пропаянности паяных соединений и учёте отклонений удельной электрической проводимости и геометрических параметров контролируемого паяного соединения, что позволяет повысить достоверность измерений;

доказана перспективность и адекватность разработанной высокоточной модели взаимодействия вихретокового преобразователя тангенциального типа и паяного соединения с заложенными дефектами, позволяющей проводить исследование взаимодействия измерительных преобразователей и объектов контроля с обеспечением требуемой точности измерений;

введены новые анализируемые параметры сигналов конечно-элементной модели процессов взаимодействия вихретокового преобразователя и объекта контроля, учитывающей параметры, обусловленные условиями проведения контроля.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

доказана возможность контроля степени пропаянности нахлесточных паяных соединений статоров электрических машин при помощи вихретокового преобразователя с тангенциально расположенными обмотками и активным экранированием;

применительно к проблематике диссертации результативно **использованы** методики анализа первичных преобразователей и их сигналов с использованием метода конечно-элементного моделирования;

изложены доказательства возможности применения двух обмоток возбуждения вихретокового преобразователя, установленных тангенциально по разные стороны нахлесточного паяного соединения, симметрично относительно плоскости возникновения дефектов и включенных последовательно синфазно, для создания вихревых токов с ненулевой нормальной составляющей, что обеспечивает чувствительность к дефектам в плоскости паяного соединения;

раскрыты основные ограничения вихретоковых преобразователей, применяемых при контроле нахлесточных паяных соединений электрических машин;

изучены процессы формирования вихревых токов в нахлесточных паяных соединениях, наведенных двухэлементным вихретоковым преобразователем с тангенциально установленными катушками и активным экранированием с учетом параметров объекта контроля;

проведена модернизация вихретокового амплитудного метода вихретокового контроля для контроля паяных соединений токоведущих шин электрических машин путем использования двух обмоток возбуждения вихретокового преобразователя, установленных тангенциально по разные стороны нахлесточного паяного соединения, симметрично относительно плоскости возникновения дефектов и включенных последовательно синфазно;

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

разработаны и внедрены методика измерения степени пропаянности нахлесточных паяных соединений статорных обмоток электрических машин, основанная на применении двухэлементного вихретокового преобразователя с тангенциально установленными обмотками возбуждения и активным экранированием и комплекта контрольных образцов степени пропаянности 0% и 100%, позволившая обеспечить выявление непропаев и измерение степени пропаянности нахлесточных паяных соединений в диапазоне от 0% до 100% с относительной погрешностью не более 5% при производстве электрических машин;

определены параметры, позволившие спроектировать измерительный преобразователь для контроля нахлесточных паяных соединений статорной обмотки электрических машин, и перспективы практического применения разработанного измерительного преобразователя, а также направление

дальнейших исследований с целью повышения достоверности и эффективности измерения степени пропаянности.

создана система практических рекомендаций по использованию результатов диссертационного исследования в практике;

представлены методические рекомендации по внесению дополнений в нормативную документацию в области контроля токоведущих паяных соединений электрических машин.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

для экспериментальных работ применялось поверенное, калиброванное и аттестованное оборудование с применением современных методик исследования, проведенные экспериментальные измерения выполнены в достаточном количестве;

теория построена на известных физических принципах, которые согласуются с международными стандартами и современными исследованиями в этом направлении;

идея базируется на анализе большого объема научных исследований, передового опыта и практики в области вихретокового контроля пайки токоведущих соединений;

использовано качественное и количественное сравнение полученных данных в диссертационной работе, а также результатов зарубежных исследований по тематике неразрушающего контроля пайки токоведущих соединений;

установлено качественное и количественное совпадение авторских результатов с результатами, представленными в независимых источниках по контролю паяных соединений статорных обмоток турбогенераторов;

использованы современные методики сбора исходной информации и методы обработки результатов полученных измерений в контексте поставленных и решенных задач в диссертационном исследовании.

Личный вклад соискателя состоит в: проведении обзорных исследований научной литературы по вопросам неразрушающего контроля паяных соединений турбогенераторов; построении конечно-элементной модели взаимодействия двухэлементного вихретокового преобразователя тангенциального типа с активным экранированием и нахлесточного паяного соединения с дефектами, учитывающей мешающие параметры контроля; разработке и оптимизации конструкции преобразователя; разработке основных положений методики контроля степени пропаянности нахлесточных паяных соединений статорных обмоток электрических машин; проведении экспериментальных исследований характеристик преобразователя; участии в подготовке публикаций по теме исследования.

В ходе защиты диссертации критических замечаний высказано не было.

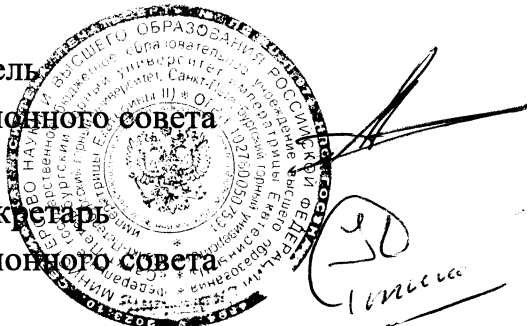
Соискатель Горбунов А.Е. ответил на задаваемые ему в ходе заседания вопросы и привел собственную аргументацию.

На заседании 19.09.2025 диссертационный совет принял решение присудить **Горбунову Антону Евгеньевичу** ученую степень кандидата технических наук за новые научно обоснованные технические и методические решения задачи измерения степени пропаянности нахлесточных паяных соединений статорных обмоток электрических машин, обеспечивающей надежность нахлесточных паяных соединений статорных обмоток электрических машин, внедрение которых вносит вклад в развитие энергетической отрасли страны.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 13 человек, из них 5 докторов наук (по научной специальности рассматриваемой диссертации), участвовавших в заседании, из 17 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за – 13, против – нет, недействительных бюллетеней – нет.

Председатель
диссертационного совета

Ученый секретарь
диссертационного совета



Назарычев
Александр Николаевич

Устинов
Денис Анатольевич

19.09.2025 г.