

ОТЗЫВ

официального оппонента

профессора факультета систем управления и робототехники Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский университет ИТМО» доктора технических наук Федорова Алексея Владимировича на диссертационную работу Горбунова Антона Евгеньевича на тему: «Методы и средства вихретокового контроля нахлесточных паяных соединений электрических машин», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.2.8. Методы и приборы контроля и диагностики материалов, изделий, веществ и природной среды

На отзыв представлены диссертация на 131 странице машинописного текста (128 страниц основного текста) и автореферат на 22 страницах.

Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы, включающего 95 наименований, и двух приложений. Оформление диссертации соответствует требованиям ГОСТ Р 7.0.11-2011.

Рассмотрение и анализ представленных материалов, а также опубликованных работ по теме диссертации позволили сформулировать следующий отзыв на диссертацию.

Актуальность темы диссертации

На сегодняшний день в условиях возрастающего энергопотребления задачи обеспечения надежности и безопасности электрических машин высокой мощности приобретают крайнюю важность, так как отказ данного оборудования может приводить не только к финансовым потерям и отключению от энергоснабжения потребителей, но и в некоторых случаях к возникновению аварийных ситуаций. Необходимо отметить, что при изготовлении и эксплуатации электрических машин большое значение имеет достаточный уровень пропаянности токоведущих соединений их составных частей и элементов, потому что ухудшение электрического контакта в паяном соединении приводит к увеличению его сопротивления и к локальному увеличению плотности тока, а далее к увеличению температуры контакта и его отказу. При этом особую актуальность приобретают вопросы, связанные с неразрушающим контролем качества паяных соединений, в первую очередь с контролем степени их пропаянности, которые регламентируются действующими нормативными документами.

ОТЗЫВ

ВХ. № 9-69 от 06.09.25
АУ УС

В настоящее время активно исследуются, разрабатываются и совершенствуются методы и средства контроля качества паяных соединений элементов статоров электрических машин. В работах, как отечественных, так и зарубежных ученых указывается, что из-за конструктивных особенностей таких соединений преимущество имеет использование методов и средств вихретокового контроля. Однако, проблема достоверного неразрушающего контроля нахлесточных паяных соединений токоведущих шин статорной обмотки электрических машин в процессе их производства с выявлением непропаев и измерением степени пропаянности не нашла окончательного решения.

В связи с этим тема диссертационной работы Горбунова Антона Евгеньевича, посвященная разработке вихретоковых средств неразрушающего контроля нахлесточных паяных соединений токоведущих шин статорной обмотки электрических машин для измерения степени пропаянности, **является** своевременной и **актуальной**.

Общая характеристика работы

Содержание работы построено в соответствии с решением поставленных задач.

Во введении автор обосновывает актуальность темы работы, определяет ее цель и задачи, освещает методы и средства исследования, достоверность и обоснованность полученных в работе результатов, раскрывает научную новизну, теоретическую и практическую значимость результатов работы, формулирует основные научные положения, выносимые на защиту, приводит сведения об апробации результатов работы.

В первой главе диссертации проведен анализ современного состояния в области неразрушающего контроля качества нахлесточных паяных соединений токоведущих шин статорных обмоток электрических машин. Приведены описание объекта контроля, а именно нахлесточных паяных соединений обмоток турбогенераторов, и дефектов в них, а также анализ видов неразрушающего контроля с точки зрения их применимости для контроля качества нахлесточных паяных соединений токоведущих шин статорной обмотки электрических машин для выявления непропаев и измерения степени пропаянности в процессе их производства. Показана необходимость совершенствования метода и средств вихретокового контроля, что нашло отражение в конкретизации формулировок цели и задач диссертационного исследования.

Во второй главе представлены результаты теоретического обоснования вихретокового контроля качества нахлесточных паяных соединений

токоведущих шин статорной обмотки электрических машин. Показано и научно обосновано, что для контроля степени пропаянности нахлесточных паяных соединений статорных обмоток электрических машин необходимо применение двухэлементного вихретокового преобразователя (ВТП) с расположенными тангенциально катушками и активным экранированием. Представлены результаты компьютерного моделирования процессов взаимодействия тангенциально расположенных катушек и объекта контроля с дефектами, имитирующими реальные, результаты анализа погрешности сигналов модели, результаты исследования влияния мешающих параметров на сигналы ВТП.

В третьей главе представлены результаты создания макета ВТП. Приведены обоснование и описание конструкции ВТП и испытательных образцов с искусственными дефектами, а также результаты экспериментальной отработки макета ВТП.

В четвертой главе представлены результаты разработки методики контроля качества нахлесточных паяных соединений токоведущих шин статорной обмотки электрических машин. Приведены требования к конструкции (геометрическим параметрам и удельной электрической проводимости) комплекта контрольных образцов.

В пятой главе представлены результаты опытной (экспериментальной) апробации методики вихретокового контроля в условиях производства. Отмечено, что при экспериментальной отработке на турбогенераторах ТВФ-60-2, ТВФ-100-2, ТВФ-120-2 использовались ВТП трех исполнений совместно с вихретоковым дефектоскопом «Константа ВД1». Показано, что разработанные исполнения ВТП и комплекты контрольных образцов применимы для контроля степени пропаянности нахлесточных паяных соединений турбогенераторов серии ТВФ и обеспечивают выявление непропаев и измерение степени пропаянности в диапазоне от 0 % до 100 % с относительной погрешностью измерений не более 5 %.

В заключении представлены основные результаты и выводы по диссертационной работе.

В приложениях приведены Акт внедрения и Патент на изобретение.

Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, их достоверность и новизна

На основе анализа современного состояния в области неразрушающего контроля качества нахлесточных паяных соединений токоведущих шин статорных обмоток электрических машин автор обоснованно сформулировал

цель и взаимосвязанные задачи исследований.

Исследования проводились на основе применения теоретических основ вихретокового контроля, методов компьютерного моделирования, статистической обработки экспериментальных данных. Данный выбор является обоснованным и методически правильным.

В процессе исследований автором были получены следующие основные **результаты**:

- 1) разработана компьютерная модель процессов взаимодействия ВТП с расположенными тангенциально катушками и нахлесточного паяного соединения, включающего искусственные дефекты, имитирующие реальные;
- 2) разработаны и изготовлены ВТП и комплект контрольных образцов для контроля нахлесточных паяных соединений токоведущих шин статорных обмоток;
- 3) разработаны основные положения методики вихретокового контроля, которые на основе применения двухэлементного ВТП с расположенными тангенциально катушками и активным экранированием совместно с вихретоковым дефектоскопом «Константа ВД1» и комплектом контрольных образцов обеспечивают измерение степени пропаянности нахлесточных паяных соединений токоведущих медных шин статорных обмоток электрических машин в диапазоне от 0 % до 100 % с относительной погрешностью не более 5 %.

Достоверность и обоснованность научных положений, выводов и рекомендаций определяется корректностью постановки задач исследований; применением теоретически и экспериментально обоснованных моделей и методов моделирования; стандартизованных методов неразрушающего контроля и аттестованных средств контроля, результатами экспериментальных исследований и их сходимостью с результатами теоретического анализа; признанием основных положений диссертации широким кругом специалистов при апробировании материалов исследований на российских и международных конференциях и форумах, а также внедрением результатов исследований.

Научная новизна результатов диссертации заключается в следующем:

- 1) обосновано использование двух обмоток возбуждения, включенных последовательно синфазно и расположенных тангенциально к плоскости нахлесточного паяного соединения по разные стороны от него, обеспечивающих чувствительность к дефектам пайки за счет формирования вихревых токов, содержащих ненулевую нормальную пространственную составляющую;
- 2) разработана компьютерная модель процессов взаимодействия двухэлементного ВТП с расположенными тангенциально катушками и нахлесточного паяного соединения с заложенными искусственными дефектами,

имитирующими реальными, которая отражает процессы возбуждения вихревых токов с учетом мешающих параметров, обусловленных геометрическими и электрическими параметрами шин статорных обмоток, и позволила рассчитать распределение плотности вихревых токов в контролируемой зоне и значения геометрических и электрических параметров ВТП, а также обосновать применение активного экранирования тыльного магнитного поля ВТП от влияния электропроводящих элементов статорной обмотки, расположенных вне зоны контроля.

Теоретическая ценность научных результатов диссертации характеризуется тем, что разработанная модель расширяет возможности проведения исследований влияния информативных и мешающих параметров на результаты контроля и вносит вклад в развитие теоретических основ вихретокового контроля.

Практическая значимость выполненной диссертационной работы заключается в разработке, изготовлении и экспериментальной отработке двухэлементного ВТП с расположенными тангенциально катушками и активным экранированием; в разработке методики вихретокового контроля качества нахлесточных паяных соединений токоведущих шин статорных обмоток электрических машин.

Следует отметить, что основные прикладные результаты работы ориентированы, в конечном счете, на обеспечение надежности электрических машин высокой мощности. Основные результаты диссертационного исследования реализованы в ООО «Константа», о чем свидетельствует Акт об их внедрении. Данные результаты в дальнейшем могут быть использованы при разработке автоматизированных систем контроля и диагностики, подготовки их для внедрения в цифровые информационные технологии.

Вместе с тем, исходя из анализа содержания текста диссертации и автореферата, диссертационная работа содержит ряд **недостатков и замечаний**:

1. При формулировке цели работы автору диссертации следовало бы конкретизировать основной положительный эффект, который достигается на основе разработки вихретоковых средств неразрушающего контроля качества нахлесточных паяных соединений токоведущих шин статорной обмотки электрических машин.

2. Недостаточно исследованы факторы, влияющие на результаты контроля (влияние краевого эффекта на сигналы ВТП, адгезии припоя, отклонения геометрии).

3. Вызывает сомнение безошибочность и состоятельность формул (3.1), (3.2) в тексте диссертации и формул (1), (2) в тексте автореферата,

используемых для оценки степени пропаянности, а также формулы (3.3) в тексте диссертации, используемой для расчета погрешности измерений степени пропаянности.

4. Недостаточно корректно сформулирован 5-й вывод по главе 3 (с. 94), в котором утверждается, что «Произведена оценка метрологических характеристик макета ВТП при оценке степени пропаянности ОК. С целью снизить инструментальную погрешность измерений предложен способ усреднения результатов измерений».

5. Некорректно приведены записи формул (4.1) – (4.4) в тексте диссертации, формулы (3) в тексте автореферата.

6. Из содержания главы 5 диссертации непонятно какой конкретно ВТП (ПП-37, ПП-42 или ПП-58) использовался при контроле качества нахлесточных паяных соединений статорной обмотки турбогенераторов ТВФ-60-2, ТВФ-100-2, ТВФ-120-2. Какое количество турбогенераторов подвергалось контролю? Чем обусловлено различие статистик результатов контроля степени пропаянности нахлесточных паяных соединений статорной обмотки турбогенератора ТВФ-120-2, представленных на рисунках 5.2 и 5.3 текста диссертации?

7. В текстах автореферата и диссертации присутствуют некорректные формулировки, например, «поэтому на начальном этапе чувствительность может быть определена с отклонением $\pm 30\%$ на основе субъективных эмпирически определенных значений» (с. 50), «Полученные зависимости могут говорить о том, что...» (с. 57). На рисунке 4.1 отсутствует надпись по оси абсцисс.

Приведенные выше недостатки и замечания не оказывают существенного влияния на общую положительную оценку диссертационной работы.

Результаты исследований достаточно полно опубликованы в 7 печатных работах, из них 2 статьи – 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), 2 статьи – в изданиях, входящих в международную базу данных и систему цитирования Scopus. Получен 1 патент на изобретение. В совместных работах вклад соискателя является определяющим. Достижения других авторов использованы корректно с указанием ссылок на конкретные публикации.

Содержание автореферата достаточно полно отражает содержание диссертации и позволяет составить целостное представление о проделанной работе. Автореферат диссертации соответствует требованиям ГОСТ Р 7.0.11-2011. Материалы диссертации и автореферата диссертации

изложены достаточно грамотно, логически последовательно и представлены в лаконичной форме.

Заключение

Диссертация Горбунова Антона Евгеньевича является завершенной научно-квалификационной работой, в которой поставлена и решена актуальная научная задача обеспечения надежности электрических машин высокой мощности на основе разработки вихретоковых средств неразрушающего контроля нахлесточных паяных соединений токоведущих шин статорной обмотки электрических машин для измерения степени пропаянности. По научному содержанию, глубине и полноте выполненных исследований, а также значимости и ценности полученных результатов, выводов и рекомендаций диссертация соответствует требованиям раздела 2 «Положения о присуждении ученых степеней» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II», утвержденного приказом ректора Санкт-Петербургского горного университета Екатерины II от 20.05.2021 № 953 адм, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор, Горбунов Антон Евгеньевич, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.2.8. Методы и приборы контроля и диагностики материалов, изделий, веществ и природной среды.

Официальный оппонент,
профессор факультета систем управления и робототехники,
доктор технических наук

« 4 » сентября 2025 года



Федоров Алексей Владимирович

Почтовый адрес: 197101, Санкт-Петербург, Кронверкский пр., д. 49, лит. А.
Телефон: +7(911) 925-18-86. Адрес электронной почты: avfedorov@itmo.ru

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский университет ИТМО»
197101, Санкт-Петербург, Кронверкский пр., д. 49, лит А.

Официальный сайт в сети Интернет: <https://itmo.ru/>

Телефон/факс: +7 (812) 480-00-00, +7 (812) 232-23-07.

Адрес электронной почты: od@mail.ifmo.ru

Подпись Федорова АВ
удостоверяю
Менеджер ОПС

