

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

аттестационное дело № _____
решение диссертационного совета от 29.09.2026 № 11

О присуждении Юхра Ривас Эдди, гражданину Боливии, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Обоснование метода автоматического обнаружения и диагностики неисправностей датчиков в системе контроля деформации крепежных шпилек крышки гидротурбины» по специальности 2.2.8. Методы и приборы контроля и диагностики материалов, изделий, веществ и природной среды принята к защите 23.07.2026 г., протокол заседания № 7, 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, от 30.07.2024 №1212 адм, от 01.07.2026 № 732 адм.

Соискатель, Юхра Ривас Эдди, 31 августа 1988 года рождения, в 2022 году окончил федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет» по направлению подготовки 27.04.01 Стандартизация и метрология.

С 01.10.2022 г. по настоящее время соискатель Юхра Ривас Эдди является аспирантом очной формы обучения кафедры метрологии, приборостроения и управления качеством федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II» Минобрнауки России.

Диссертация выполнена на кафедре метрологии, приборостроения и управления качеством федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II» Минобрнауки России.

Научный руководитель – кандидат химических наук, **Вячеслав Александр Валерьевич**, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II», кафедра метрологии, приборостроения и управления качеством, доцент кафедры.

Официальные оппоненты:

Костин Владимир Николаевич – доктор технических наук, доцент, федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт физики металлов имени М.Н. Михеева Уральского отделения Российской академии наук, лаборатория комплексных методов контроля, заведующий лабораторией;

Соломенчук Павел Валентинович – кандидат технических наук, ведущий специалист общества с ограниченной ответственностью «КОНСТАНТА»;

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, **Беркутовым Игорем Владимировичем**, кандидатом технических наук, руководителем центра технологий неразрушающего контроля, и, утвержденном **Красновым Олегом Валерьевичем**, доктором технических наук, профессором, директором указала, что теоретическая значимость работы заключается в развитии подходов к применению аналитической избыточности для обнаружения и диагностики неисправностей датчиков в многоканальных измерительных системах. Прикладной характер исследования подтверждается возможностью программной реализации предложенного метода без внесения конструктивных изменений в действующее измерительное оборудование. Разработанный модуль предусматривает обработку данных о деформации шпилек, напоре воды и электрической мощности, расчет диагностических признаков и формирование заключения о состоянии датчиков.

Соискатель имеет 7 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 международные базы данных и системы цитирования Scopus. Получено 1 свидетельство о государственной регистрации программы ЭВМ.

Общий объем – 6,15 печатных листов, в том числе 4,17 печатных листов - соискателя.

Публикации 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:

1. **Юхра Ривас, Э.** Алгоритм обнаружения выбросов в больших массивах результатов измерений (данных) с применением статистических методов анализа / **Э. Юхра Ривас, К.В. Гоголинский** // Приборы. – 2023. – № 9(279). – С. 35-45 (№ 2077 Перечня ВАК ред. 12.10.2023)

Соискателем предложен алгоритм фильтрации измерительных данных, включающий обнаружение аномальных значений на основе Z-статистики и их последующее сглаживание методом экспоненциально взвешенного скользящего среднего. Доказано, что итоговая точность данных и степень снижения среднеквадратического отклонения напрямую зависят от обоснованного выбора порогового параметра β и коэффициента сглаживания α .

2. **Ривас, Э.Ю.** Цифровая метрология как ответ на развитие интеллектуального производства / **Э.Ю. Ривас, А.В. Вячеславов, А.С. Уманский** // Приборы. – 2024. – № 4(286). – С. 41-54 (№ 2160 Перечня ВАК ред. 23.04.2024)

Соискателем выполнен аналитический обзор и сравнительный анализ концепций интеллектуальных датчиков и интеллектуального производства. Установлено, что интеграция процедур метрологического обеспечения непосредственно в процессы обработки измерительных данных способствует повышению их качества и минимизации числа ошибок. По результатам исследования разработана структурно-функциональная схема учета метрологических характеристик и факторов, необходимых для проектирования измерительных систем с функциями самокалибровки и метрологического самоконтроля.

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

3. **Yujra Rivas, E.** Deformation Monitoring Systems for Hydroturbine Head-Cover Fastening Bolts in Hydroelectric Power Plants / **E. Yujra Rivas, A. Vyacheslavov, K.V. Gogolinskiy, K. Sapozhnikova, R. Taymanov** // Sensors. – 2025. – Vol. 25, Issue 8. – Art. 2548. – 26 p.

Юхра Ривас, Э. Обнаружение неисправностей в датчиках осевой деформации шпилек крышки гидротурбины с использованием аналитической избыточности/ **Э. Юхра Ривас, А. Вячеславов, К. Гоголинский, К. Сапожникова, Р. Тайманов** // Sensors. – 2026. – Т. 26. – № 801. – С. 1–26.

Соискателем выполнен анализ надежности и безопасности гидротурбин, а также систем контроля деформации крепежных шпилек крышки гидротурбины. Установлено, что в процессе эксплуатации гидроагрегата на различных режимах работы крышка и шпильки подвергаются воздействию знакопеременных нагрузок, приводящих к возникновению как упругих, так и остаточных деформаций. В ходе анализа рассмотрены применяемые на практике системы КМ-Дельта-8-СМ и ПТК КМ-Дельта; при этом показано, что их использование не обеспечивает контроль деформации шпилек. В связи с этим обоснована необходимость модернизации существующих систем путем внедрения в них функций метрологического самоконтроля.

4. **Yujra Rivas, E.** Fault Detection in Axial Deformation Sensors for Hydraulic Turbine Head-Cover Fastening Bolts Using Analytical Redundancy / **E. Yujra Rivas, A. Vyacheslavov, K. Gogolinskiy, K. Sapozhnikova, R. Taymanov** // *Sensors*. – 2026. – Vol. 26, Issue 3. – Art. 801. – 26 p.

Юхра Ривас, Э. Системы контроля деформации крепежных шпилек крышки гидротурбины на Гидроэлектростанциях/ **Э. Юхра Ривас, А. Вячеславов, К. Гоголинский, К. Сапожникова, Р. Тайманов** // *Sensors*. – 2025. – Т. 25. – № 2548. – С. 1–26.

Соискателем предложен метод повышения достоверности контроля деформации шпилек на основе аналитической избыточности, позволяющий обнаруживать и диагностировать неисправности датчиков. Для оценки динамической деформации шпилек созданы восемь опорных моделей (эмпирическая модель + фильтр Калмана). Валидация подтвердила их высокую точность (абсолютная ошибка $\Delta_{\text{асс}} \approx 0,146$ мкм) и помехоустойчивость ($S_A < 0,001$). Анализ невязок обеспечивает идентификацию и классификацию неисправностей датчиков по специфическим паттернам с учетом эксплуатационных ограничений гидроагрегата.

Публикации в прочих изданиях:

5. **Юхра, Р. Э.** Обнаружение и устранение выбросов в больших базах данных измерений с помощью статистических методов / **Р.Э. Юхра** // *Российская наука в современном мире: Сборник статей LVIII международной научно-практической конференции*, Москва, 30 ноября 2023 года. – Москва: Общество с ограниченной ответственностью «Актуальность.РФ», 2023. – С. 86-88.

Соискателем разработан алгоритм идентификации и фильтрации аномальных значений в массивах измерительной информации на основе Z -оценки. Обосновано, что оптимизация порогового параметра β

обеспечивает эффективное исключение выбросов и минимизацию среднеквадратического отклонения результатов измерений.

6. **Юхра, Э.** Умное производство и его связь с цифровой метрологией / **Э. Юхра, А.В. Вячеславов** // Метрологическое обеспечение инновационных технологий: Сборник статей VI Международного форума, Санкт-Петербург, 01 марта 2024 года. – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения, 2024. – С. 406-408.

Доказано, что автоматизация метрологического сопровождения при анализе данных обеспечивает повышение точности измерений и снижение числа погрешностей. Предложена структурная схема учета внешних и внутренних факторов для проектирования систем контроля, реализующих алгоритмы самокалибровки и метрологического самоконтроля.

7. **Юхра Ривас, Э.** Анализ статистических методов обнаружения выбросов при измерениях напора воды в гидроагрегате / **Э. Юхра Ривас, А.В. Вячеславов** // Метрологическое обеспечение инновационных технологий: Сборник статей VII Международного форума, Санкт-Петербург, 04 марта 2025 года. – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения, 2025. – С. 300-302.

Сопоставлена эффективность классической и модифицированной Z-оценок при фильтрации выбросов в данных напора воды гидроагрегатов. Подтверждено преимущество модифицированного метода. Установлено, что полнота выявления аномалий зависит от параметров α , β размера окна анализа, что необходимо учитывать при настройке алгоритмов.

Патенты/свидетельства на объекты интеллектуальной собственности:

12. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2024617174 Российская Федерация. Программа для обнаружения и устранения выбросов в больших массивах данных измерений датчиков перемещения. Заявка № 2024614933: заявл. 13.03.2024; опубл. 29.03.2024 / **А.В. Вячеславов, Э. Юхра Ривас, Д.С. Громыка**; заявитель/правообладатель федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II». – 1 с.: ил. – Текст: непосредственный.

Соискателем разработано программное обеспечение для идентификации и исключения аномальных значений из массивов измерительной информации на основе статистических критериев с их последующим экспоненциальным сглаживанием. Данный программный комплекс ориентирован на интеграцию в системы мониторинга

перемещений, функционирующие в условиях жестких требований к точности измерений.

Апробация работы проведена на научных конференциях международного и всероссийского уровня:

1. LVIII Международная научно-практическая конференция «Российская наука в современном мире» (30 ноября 2023 г., г. Москва);
2. VI Международный форум «Метрологическое обеспечение инновационных технологий» (1 марта 2024 г., г. Санкт-Петербург);
3. VII Международный форум «Метрологическое обеспечение инновационных технологий» (4 марта 2025 г., г. Санкт-Петербург);
4. VIII Международный форум «Метрологическое обеспечение инновационных технологий» (4 марта 2026 г., г. Санкт-Петербург).

В диссертации Юхра Ривас Эдди отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем работах, в которых изложены основные научные результаты диссертации.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы от: ведущего инженера-конструктора ООО ПК «Коминтех», к.т.н. **О.П. Пудовкина**; инженера научно-исследовательской лаборатории эталонов в области измерений параметров движения ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева», к.т.н. **В.В. Алехнович**; профессора кафедры «Физика, электротехника, диагностика и управление в технических системах» ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет путей сообщения», д.т.н., доцента **А.Л. Боброва**; ученого секретаря НИЦ «Курчатовский институт» — ЦНИИ КМ «Прометей», к.т.н. **Т.И. Бобковой**; доцента кафедры проектирования судов ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный морской технический университет», к.т.н., доцента **К.Д. Овчинникова**.

В отзывах дана положительная оценка диссертационного исследования, отмечена актуальность выбранной темы, научная новизна, теоретическая и практическая значимость диссертационного исследования, логическое построение работы с использованием актуальной научной и статистической информации, однако отмечены ряд замечаний:

1. Как отмечает сам автор, опорные модели не оценивают корректно осевую деформацию шпилек, когда гидроагрегат переходит в режим 1 (останов). В связи с этим в автореферате целесообразно было бы более подробно обозначить пути расширения работоспособности метода на данный режим (например, путем привлечения дополнительных сигналов, таких как деформация крышки гидротурбины) (**к.т.н. О.П. Пудовкин**);
2. Целесообразно было бы обсудить перспективы и условия адаптации предложенного метода к гидротурбинам иных типов (поворотно-

лопастым, ковшовым), что расширило бы область практического применения разработанных решений (**к.т.н. О.П. Пудовкин**);

3. На странице 15 указывается, что опорные модели S1–S8 не корректно оценивают деформацию шпилек при переходе гидроагрегата в режим 1 (останов). Однако в тексте не приведено четкого пояснения, каким образом предлагается обрабатывать данные в этом режиме или как это ограничение влияет на общий алгоритм диагностики в случае, если неисправность датчика возникает именно в этот период (**к.т.н. В.В. Алехнович**);

4. В автореферате не указан способ формирования обучающей выборки для моделей на этапе первоначального запуска системы контроля для новых гидроагрегатов, где отсутствуют исторические данные о деформации, что могло бы уточнить процедуру ввода алгоритма в эксплуатацию (**к.т.н. В.В. Алехнович**);

5. В автореферате не обоснована необходимость и достаточность числа опорных эмпирических моделей (**д.т.н. А.Л. Бобров**);

6. В выводе 5 написано: «каждый тип неисправности формирует невязки с характерными паттернами». В представленном автореферате не приведены данные о воспроизводимости невязок и на каком количестве они были оценены (**д.т.н. А.Л. Бобров**);

7. Из автореферата не очевиден механизм адаптации разработанного метода к длительным периодам нахождения гидроагрегата в режиме «останов» (режим 1), поскольку автором указано, что в этом случае эталонные модели демонстрируют некорректную оценку деформации. Представляется целесообразным уточнить возможность применения дополнительных диагностических сигналов или резервных алгоритмов оценки (**к.т.н. Т.И. Бобкова**);

8. В тексте автореферата не приводится сравнительная оценка эффективности предложенного метода относительно альтернативных подходов (на пример, на основе нейросетевых архитектур или вейвлет-преобразований), что видится целесообразным для обоснования преимущества выбранной автором стратегии (**к.т.н. Т.И. Бобкова**);

9. Отсутствуют сведения о требуемых вычислительных мощностях и минимальной необходимой частоте обновления оцененных параметров, что имеет существенное значение при внедрении метода в системах реального времени (**к.т.н. Т.И. Бобкова**);

10. В автореферате не указаны причины выбора линейного фильтра Кальмана, а также способ подбора расчетных коэффициентов, необходимых для выполнения прогнозирования (**к.т.н. К.Д. Овчинников**);

11. В автореферате указано, что «Результаты исследования использованы для анализа массивов данных измерений деформации шпилек при обнаружении и диагностике неисправностей датчиков...», но не указан опыт применения предложенного метода для диагностики состояния в режиме реального времени (**к.т.н. К.Д. Овчинников**).

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается наличием исследований и публикаций по теме диссертационной работы и их компетенций в данной области.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

разработан новый научный метод реализации принципа аналитической избыточности на базе опорных моделей, позволяющий генерировать дополнительную измерительную информацию для обеспечения обнаружения и диагностирования неисправностей датчиков системы контроля деформации шпилек крышки гидротурбины;

предложен оригинальный подход к построению индивидуальных опорных моделей для каждой контролируемой шпильки, сочетающих эмпирические модели деформации шпильки с линейным фильтром Калмана и обеспечивающих соотнесение полученной информации с технологическими параметрами работы гидроагрегата (напором воды и электрической мощностью) для корректного обнаружения и диагностики неисправностей датчиков;

доказана перспективность практического использования методики построения опорных моделей, позволяющей оценивать динамику деформации шпилек с высокой точностью (погрешность менее одного микрометра) для обнаружения неисправностей типа смещения, дрейфа, деградации прецизионности и залипания;

введён метод, основанный на формировании аналитической избыточности, позволяющий обнаружить неисправности и обеспечить диагностику технического состояния датчиков системы контроля деформации шпилек.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

доказаны эффективность применения принципа аналитической избыточности для обнаружения и диагностики неисправностей датчиков системы контроля осевой деформации крепежных шпилек крышки гидротурбины; возможность построения опорных моделей на основе комбинации эмпирических моделей и линейного фильтра Калмана, обеспечивающих оценку осевой деформации с точностью менее 1 мкм; наличие характерных паттернов невязок для каждого типа неисправности датчиков (смещение, дрейф, деградация прецизионности, залипание).

применительно к проблематике диссертации использованы методы регрессионного анализа, линейный фильтр Калмана, метод Монте-Карло, аналитический метод оценки неопределенности измерений (GUM), численное моделирование в среде MATLAB, методы теории обнаружения и диагностики неисправностей (FDD);

изложены концепции и методические подходы к обеспечению достоверности результатов измерений в измерительных системах; принципы аналитической, временной и структурной избыточности; особенности деформации крепежных шпилек крышки гидротурбины, обусловленные конструкцией крышки и режимами работы гидроагрегата; методика построения опорных моделей и алгоритма обнаружения и диагностики неисправностей;

раскрыты условия применения и ограничения существующих методов обеспечения достоверности результатов измерений (онлайн-мониторинг калибровки, самовалидирующийся датчик, метрологический самоконтроль) применительно к системе контроля осевой деформации крепежных шпилек; противоречия между концепцией структурной избыточности и реальными условиями эксплуатации гидроагрегата; закономерности в динамике невязок при различных типах неисправностей датчиков;

изучены принципы и инструменты обеспечения достоверности результатов измерений в интеллектуальных измерительных системах; физические основы нагружения и деформации крепежных шпилек крышки гидротурбины; связи между деформацией шпилек, напором воды и выработкой электрической мощности; процесс деформации шпилек на различных стадиях эксплуатации гидроагрегата;

проведена модернизация системы контроля осевой деформации крепежных шпилек за счёт применения принципа аналитической избыточности, построения опорных моделей на основе эмпирических моделей и линейного фильтра Калмана, и разработки алгоритма автоматического обнаружения и диагностирования неисправностей датчиков.

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

разработаны и внедрены в научную деятельность Проблемной лаборатории метрологического обеспечения компьютеризированных датчиков и интеллектуальных измерительных систем ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева» (акт о внедрении от 06.05.2026 г., Приложение А) метод реализации аналитической избыточности и алгоритм обнаружения неисправностей и диагностики метрологической исправности датчиков;

определены границы и перспективы практического использования разработанного метода в системах контроля осевой деформации крепежных

шпилек крышки гидротурбин на гидроэлектростанциях; ограничения при переходе ГА в режим останова; необходимость перестроения моделей после технического обслуживания;

созданы схема применения опорных моделей и невязок для автоматического обнаружения неисправностей и диагностики технического состояния датчиков системы контроля без их демонтажа;

представлены методические рекомендации по интеграции разработанного метода в системы мониторинга ГЭС на программном уровне без внесения конструктивных изменений в измерительное оборудование; предложения по дальнейшему совершенствованию алгоритмов обнаружения и диагностики неисправностей, включая оценку неопределенности измерений в условиях реальной эксплуатации гидроагрегата и анализ связи между деформацией крепежных шпилек и другими сигналами.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

для экспериментальных работ использованы реальные массивы измерений при работе гидроагрегата; шум, выбросы и неисправности датчиков в проверочных сценариях имитированы, поэтому обобщение результатов ограничено испытанными условиями;

теория построена на принципе аналитической избыточности, моделей оценивания состояния и физической связи деформации шпилек с режимами нагружения гидроагрегата;

идея базируется на анализе эксплуатации многоканальной системы контроля (система ПТК КМ-Дельта) и недостаточности прямого сопоставления показаний шпилек, деформирующихся неодинаково;

использованы метод количественной оценки точности по средней абсолютной ошибке и устойчивости к шуму, выбросам по метрике чувствительности, включая проверку моделей на различных режимах работы; использованы современные методики измерений и обработки результатов экспериментов, представительные выборочные совокупности с обоснованием подбора объектов контроля; использованы массивы эксплуатационных измерений, статистические методы обработки и компьютерное моделирование в MATLAB;

установлено, что: разработанный метод позволяет опорным моделям оценивать деформации шпилек в трёх режимах работы гидроагрегата с погрешностью менее 1 мкм; разработанный алгоритм позволяет обнаруживать функциональные неисправности (смещение, дрейф, деградацию прецизионности и залипание) с использованием диагностической информации, формируемой с помощью опорных моделей.

Личный вклад соискателя состоит в: постановке цели и формулировке задач диссертационного исследования; анализе физических основ деформации крепежных шпилек крышки гидротурбины во время работы гидроагрегата; разработке адекватной модели процесса измерения деформации; оценке опорных моделей состояния осевой деформации для каждой контролируемой шпильки и их валидации с помощью испытаний, имитирующих реальные условия эксплуатации на основе экспериментальных данных; интерпретации полученных результатов (поведение характерных невязок); проектировании логики и разработке программно-технического обеспечения автоматического обнаружения и диагностики функциональных неисправностей датчиков.

В ходе защиты диссертации критических замечаний высказано не было.

Соискатель Юхра Ривас Эдди ответил на задаваемые ему в ходе заседания вопросы и привел собственную аргументацию по обоснованию защищаемых положений диссертационного исследования.

На заседании 29.09.2026 диссертационный совет принял решение присудить **Юхра Ривас** Эдди ученую степень кандидата технических наук за решение научно-практической задачи повышения достоверности контроля деформации крепежных шпилек крышки гидротурбины на основе обнаружения неисправностей и диагностики технического состояния датчиков. Данный результат имеет существенное значение для развития методов и приборов контроля, а также для обеспечения безопасности эксплуатации гидроэлектростанций

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 17 человек, из них 6 докторов наук (по специальности рассматриваемой диссертации), участвовавших в заседании, из 19 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за – 17, против – нет, недействительных бюллетеней – нет.

Председатель
диссертационного совета

Ученый секретарь
диссертационного совета

29.09.2026 г.

Назарычев
Александр Николаевич

УСТИНОВ
Денис Анатольевич