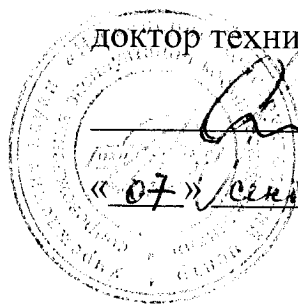


УТВЕРЖДАЮ

Директор Учреждения науки ИКЦ СЭКТ

доктор технических наук, профессор



О.В. Краснов

« 07 » сентября 2026 г.

### ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертационную работу Юхра Ривас Эдди на тему «Обоснование метода автоматического обнаружения и диагностики неисправностей датчиков в системе контроля деформации крепежных шпилек крышки гидротурбины», 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

#### Актуальность темы диссертации

Обеспечение надежной и безопасной эксплуатации современного гидроэнергетического оборудования, в том числе гидротурбин, требует особых подходов к их контролю и техническому диагностированию. Крышка гидротурбины и элементы ее крепления в процессе эксплуатации подвергаются значительным механическим и гидродинамическим нагрузкам, при этом достоверность оценки их фактического технического состояния во многом определяется состоянием систем технического контроля и диагностирования и их элементов. Следует отметить, что в связи с длительными межповерочными интервалами датчиков таких систем возникает задача автоматического обнаружения и диагностики их неисправностей без демонтажа и остановки гидроагрегата.

В связи с этим тема диссертационных исследований, связанная с повышением достоверности контроля осевой деформации крепежных шпилек крышки гидротурбины при длительной непрерывной эксплуатации гидроагрегата, является актуальной и соответствует современным направлениям развития методов и средств контроля и диагностики.

Диссертационная работа Юхра Ривас Эдди имеет как научную, так и практическую значимость, а представленные научно обоснованные технические решения, непосредственно направлены на обеспечение надежности и безопасности гидроэнергетического оборудования.

ОТЗЫВ

ВХ. № 9-553 от 14.09.16  
АУ УС

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

На основе анализа режимов эксплуатации и источников нагрузок (механических и гидравлических) в радиально-осевых турбинах высокого давления, современного состояния методов и приборов контроля деформаций крышки и шпилек, а также основных типов неисправностей датчиков и методов обеспечения результатов измерений автор обоснованно и корректно сформулировал цель и взаимосвязанные задачи исследований. Исследования проводились на основе применения основ теории прочности, теории динамических систем, методов математической статистики и экспериментальных методов. Данный выбор является обоснованным и методически правильным.

**Достоверность и обоснованность** научных положений, выводов и рекомендаций определяется корректностью постановки цели и задач исследований; применением теоретически и экспериментально обоснованных моделей, методов и методик; результатами экспериментальных исследований и их сходимостью с результатами теоретического анализа; признанием основных положений диссертации широким кругом специалистов при апробировании материалов исследований на конференциях, а также результатами их внедрения.

**Научная новизна** результатов диссертации заключается в следующем:

1) предложен метод и алгоритм автоматического обнаружения и диагностики функциональных неисправностей датчиков системы контроля осевой деформации крепежных шпилек крышки гидротурбины, основанный на принципе аналитической избыточности с использованием опорных моделей. На основе аналитической избыточности сформированы восемь опорных моделей, позволяющих оценивать деформацию шпилек и рассчитывать невязки между измеренными и оцененными значениями. Разработана система решающих правил для определения типа неисправности и метрологического состояния датчика. Анализ невязок совместно с изменениями напора воды и электрической мощности позволяет снизить вероятность ошибочной интерпретации изменений технологического режима как неисправности датчика;

2) обосновано использование сочетания эмпирических моделей осевой деформации шпилек и линейного фильтра Калмана, позволяющее формировать опорные значения и диагностические невязки при различных режимах работы гидроагрегата. Для восьми каналов контроля построены индивидуальные опорные модели. Их валидация выполнена при воздействии выбросов, измерительного шума и изменении режимов работы гидроагрегата. Коэффициенты корреляции Пирсона составили не менее 0,94, средняя абсолютная ошибка находилась в пределах от 0,07 до 0,30 мкм. Применение

фильтра Калмана позволило снизить систематическую погрешность оценивания до значения не более 0,03 мкм по абсолютной величине;

3) установлены закономерности изменения невязок при неисправностях датчиков осевой деформации типов «смещение», «дрейф», «деградация прецизионности» и «залипание», а также их взаимосвязь с изменением напора воды и электрической мощности, что позволило разработать алгоритм обнаружения, локализации, классификации и диагностики их неисправностей. Работоспособность алгоритма проверена путем внесения в массивы измерительных данных смоделированных неисправностей различных типов. Полученные результаты подтверждают возможность обнаружения смещения и дрейфа более 5 мкм, деградации прецизионности при среднеквадратическом отклонении (СКО) более 0,3 мкм и залипания при СКО менее 0,1 мкм.

**Теоретическая ценность** научных результатов диссертации заключается в развитии подходов к применению аналитической избыточности для контроля метрологической исправности датчиков в многоканальных измерительных системах.

**Практическая значимость** выполненной диссертационной работы заключается в том, что в рамках выполнения диссертационного исследования автором осуществлена программная реализация предложенного метода без внесения конструктивных изменений в действующее измерительное оборудование. Разработанный программный модуль предусматривает обработку данных о деформации шпилек, напоре воды и электрической мощности, расчет диагностических признаков и формирование заключения о состоянии датчиков. Получено свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2024617174. Основные результаты работы реализованы в ФГУП «Всероссийский научно-исследовательский институт метрологии им. Д.И. Менделеева» и Санкт-Петербургском горном университете императрицы Екатерины II, о чем свидетельствуют Акты о внедрении.

Диссертационная работа содержит ряд **замечаний и вопросов**:

1) опорные модели не обеспечивают корректного оценивания деформации при переходе гидроагрегата из режима холостого вращения в режим останова, что может приводить к ложным срабатываниям. Представляется целесообразным более подробно рассмотреть алгоритмический способ автоматического учета данного переходного режима;

2) при исследовании неисправности типа «дрейф» основное внимание уделено линейному характеру изменения сигнала. В дальнейшем целесообразно оценить работоспособность предложенного метода при нелинейном и переменном во времени дрейфе датчиков;

3) валидация диагностического алгоритма проведена путем имитации

неисправностей в экспериментальных наборах данных. Представляется целесообразным уточнить: планируется ли в дальнейшем подтверждение полученных диагностических признаков на реальных неисправностях датчиков, возникающих в процессе длительной эксплуатации гидроагрегата?

Приведенные выше **замечания не оказывают существенного влияния на общую положительную оценку диссертационной работы**, не снижают научную и практическую ценность полученных результатов и могут рассматриваться как направления дальнейшего развития исследования.

Результаты исследований достаточно полно опубликованы в 7 печатных работах, 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 (WoS и SCOPUS). Получено свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ. Результаты работы апробированы на 4 международных научно-практических мероприятиях.

В совместных публикациях 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. Материалы диссертации изложены достаточно грамотно, логически последовательно и представлены в лаконичной форме.

### **Рекомендации по использованию результатов работы**

Результаты диссертационной работы могут быть рекомендованы для совершенствования программного обеспечения систем непрерывного контроля деформации крепежных шпилек крышек гидротурбин на гидроэлектростанциях, оснащенных измерительными системами типа ПТК КМ-Дельта или аналогичными. Полученные результаты также представляют интерес для научных и метрологических организаций, выполняющих исследования в области интеллектуальных измерительных систем, метрологического самоконтроля и диагностики датчиков.

### **Заключение**

Диссертационная работа Юхра Ривас Эдди на тему «Обоснование метода автоматического обнаружения и диагностики неисправностей датчиков в системе контроля деформации крепежных шпилек крышки гидротурбины»

является завершенной научно-квалификационной работой, в которой решена актуальная задача разработки метода автоматического обнаружения и диагностики функциональных неисправностей датчиков, направленного на повышение достоверности контроля деформации крепежных шпилек при длительной эксплуатации гидроагрегата.

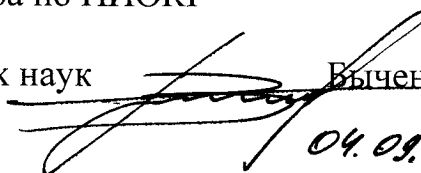
Автореферат отражает основное содержание диссертации, ее научные положения, результаты и выводы.

Диссертация Юхра Ривас Эдди полностью отвечает 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 от 20.05.2021 № 953 адм, а ее автор Юхра Ривас Эдди заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.2.8 – Методы и приборы контроля и диагностики материалов, изделий, веществ и природной среды.

Отзыв на диссертацию и автореферат диссертации Юхра Ривас Эдди обсужден и утвержден на заседании научно-технического совета Учреждения науки ИКЦ СЭКТ, протокол № 89 от 04.09. 2026 г.

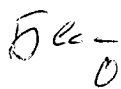
Заместитель директора по НИОКР

кандидат технических наук

 Выченок Владимир Анатольевич  
04.09.2026.

Руководитель центра технологий неразрушающего контроля

кандидат технических наук

 Беркутов Игорь Владимирович  
04.09.26

### **Сведения о ведущей организации:**

Учреждение науки «Инженерно-конструкторский центр сопровождения эксплуатации космической техники» (Учреждение науки ИКЦ СЭКТ)

Почтовый адрес: 197343, Санкт-Петербург, ул. Матроса Железняка, 57, литера А

Официальный сайт в сети Интернет:

Эл. почта: [mail@ikc-sekt.ru](mailto:mail@ikc-sekt.ru); [ikcsektspb@yandex.ru](mailto:ikcsektspb@yandex.ru); [ikcsever2@yandex.ru](mailto:ikcsever2@yandex.ru)

Телефон: +7 (812) 640-66-92