

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 75.1.077.01
созданного на базе акционерного общества
«Государственный научный центр Российской Федерации –
Физико-энергетический институт имени А.И. Лейпунского»
(принадлежность - Госкорпорация «Росатом»)
по диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

аттестационное дело № _____
решение диссертационного совета от 25 февраля 2026 года № 3

О присуждении Коцоеву Константину Игоревичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Разработка предиктивных методов и алгоритмов для систем диагностирования оборудования АЭС с ВВЭР» по специальности 2.4.9. Ядерные энергетические установки, топливный цикл, радиационная безопасность принята к защите 12 ноября 2025 года (протокол № 21) диссертационным советом 75.1.077.01, созданным на базе акционерного общества «Государственный научный центр Российской Федерации – Физико-энергетический институт имени А.И. Лейпунского» (принадлежность - Госкорпорация «Росатом») (далее – АО «ГНЦ РФ – ФЭИ»), расположенного по адресу: 249033, г. Обнинск, Калужской обл., пл. Бондаренко, 1. Диссертационный совет создан приказом Минобрнауки России № 663/нк от 09.07.2024.

Соискатель Коцоев Константин Игоревич, дата рождения – 6 февраля 1995 года.

В 2018 г. Коцоев К.И. году окончил федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)» (далее – МГТУ им. Н.Э. Баумана) по специальности 14.05.01 – Ядерные реакторы и материалы. Диплом специалиста 107718 0819974, дата выдачи 02 июля 2018 г., регистрационный номер 163э.

В 2022 году окончил аспирантуру МГТУ им. Н.Э. Баумана по направлению 14.06.01 – Ядерная, тепловая и возобновляемая энергетика и сопутствующие технологии. За период обучения сданы следующие экзамены: история и философия науки; иностранный язык (английский); специальная дисциплина (05.14.03 – Ядерные энергетические установки, включая проектирование, эксплуатацию и вывод из эксплуатации). Кандидатский экзамен по специальной дисциплине по специальности 2.4.9. Ядерные

энергетические установки, топливный цикл и радиационная безопасность сдан в 2025 году. Справки о сдаче кандидатских экзаменов № 04.03-00-22/111 и № 02.07-12/63 выданы МГТУ им. Н.Э. Баумана.

В период подготовки диссертации соискатель Коцоев К.И. работал инженером-программистом в отделе комплексной диагностики в ООО «Квант Программ» (с 01.08.2018 по 31.03.2021), а с 01.04.2021 переведен на должность руководителя направления data science. В настоящее время занимает должность руководителя направления по исследованию данных в отделе комплексной диагностики ООО «Квант Программ».

Диссертация выполнена на кафедре «Ядерные реакторы и установки» МГТУ им. Н.Э. Баумана и в акционерном обществе научно-техническом центре «Диапром» (далее – АО «НТЦД»)

Научный руководитель – Перевезенцев Владимир Васильевич, доктор технических наук по специальности 05.14.03 – Ядерные энергетические установки, включая проектирование, эксплуатацию и вывод из эксплуатации, работает в МГТУ им. Н.Э. Баумана на кафедре «Ядерные реакторы и установки» в должности профессора.

Официальные оппоненты:

Слепов Михаил Тимофеевич, доктор технических наук, начальник отдела технической диагностики филиала АО «Концерн Росэнергоатом» «Нововоронежская атомная станция»;

Увакин Максим Александрович, кандидат физико-математических наук, заместитель начальника отдела, начальник группы АО ОКБ «ГИДРОПРЕСС» дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – акционерное общество «Всероссийский научно-исследовательский институт по эксплуатации атомных электростанций» (далее – АО «ВНИИАЭС») в своем положительном отзыве, подписанном заместителем директора ВНИИАЭС-НТП, директором отделения математического моделирования и тренажеростроения АО «ВНИИАЭС», кандидатом технических наук А.А. Дружаевым и утвержденном заместителем генерального директора – директором по технологическому развитию, доктором технических наук, профессором Н.Н. Давиденко указала, что диссертация Коцоева К.И. полностью соответствует требованиям пунктов 9-14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2012 № 842 (в действующей редакции), предъявляемым к кандидатским диссертациям, а соискатель, Коцоев Константин Игоревич, заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.4.9. Ядерные энергетические установки, топливный цикл, радиационная безопасность.

Соискатель имеет 10 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации опубликовано девять научных статей, из них в рецензируемых научных изданиях опубликовано шесть работ.

В представленной диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем ученой степени работах.

Основные работы по теме диссертации:

1. Katser I.D., Kozitsin V.O., **Kotsoev K.I.**, Maksimov I.V., Larionov D.A. Data pre-processing methods for NPP equipment diagnostics algorithms: an overview // Nuclear Energy and Technology. 2021. Т. 7. № 2. С. 111-125 (авторство не разделено).

Соискателем описаны особенности данных, собираемых на АЭС, методы предварительной обработки, которая проводится перед этапами решения основных задач диагностики, а также специфика применения предварительной обработки в режиме реального времени.

2. Трыков Е.Л., Кудряев А.А., **Коцоев К.И.**, Ананьев А.А. Эффективный метод фильтрации глобальных шумов измерительных каналов систем контроля течей АЭС с РУ ВВЭР // Известия вузов. Ядерная энергетика. – 2020. – № 4. – С. 86-95 (авторство не разделено).

Соискателем проведен обзор литературы по имеющимся методом фильтрации глобальных шумов в измерительных каналах системы акустического контроля течи, выполнен анализ возможных общих причин помех и на основании этого предложен метод для группировки каналов необходимой для построения регрессионных моделей. Реализованы робастная байесовская регрессия и полносвязная нейронная сеть.

3. **Коцоев К.И.**, Трыков Е.Л., Кудряев А.А., Перевезенцев В.В. Разработка алгоритма определения неисправности измерительных каналов системы акустического контроля течей // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана – 2021. – № 3. – С. 100-112 (авторство не разделено).

Соискателем проведен анализ дефектов измерительных каналов системы акустического контроля течи и встроенной проверки работоспособности. На основании этого предложен новый метод проверки работоспособности и разработан каскадный нейросетевой классификатор дефектов.

4. Трыков Е.Л., Трыкова И.В., **Коцоев К.И.** Обнаружение аномалий в работе реакторного оборудования с помощью нейросетевых алгоритмов // Известия вузов. Ядерная энергетика. – 2020. – № 3. – С. 136-147 (авторство не разделено).

Соискателем проведен предварительный анализ и предобработка данных, разработан метод анализа данных оперативного технического контроля для оценки состояния оборудования, который состоит из последовательно

примененных метода оценки состояния и модели обнаружения аномалий. Реализован многомерный метод оценки состояния и вариационный автоэнкодер с механизмом внимания на основе двунаправленных рекуррентных сетей в качестве модели оценки состояния и критерий Хотеллинга в качестве модели обнаружения аномалий, позволяющий определять вклад каждого отдельного параметра в общую статистику.

5. **Коцоев К.И.**, Трыков Е.Л., Трыкова И.В. Применение свёрточной нейронной сети для сегментации сигналов электроприводной арматуры // Известия вузов. Ядерная энергетика. – 2021. – № 2. – С. 158-167 (авторство не разделено).

Соискателем предложен метод сегментирования временных рядов сверточными нейронными сетями, проведена предварительная обработка данных, преобразование данных в приемлемый для сети формат, выделены участки сигналов, максимально насыщенные характерными точками (диагностическими признаками), размечены данные. Проведен анализ наиболее подходящих функций потерь и реализована нейронная сеть.

6. Трыков Е.Л., Трыкова И.В., **Коцоев К.И.** Экспертная нейросетевая система диагностирования электроприводной арматуры // Известия вузов. Ядерная энергетика. – 2021. – № 3. – С. 72-83 (авторство не разделено).

В основу экспертной нейросетевой системы диагностирования вошел разработанный алгоритм сегментации сигналов электроприводной арматуры, из которых извлекаются диагностические признаки, на основании которых делается вывод о наличии того или иного дефекта.

На автореферат поступило семь отзывов:

1. **Мелихова Олега Игорьевича**, доктора физико-математических наук, профессора кафедры АЭС НИУ «МЭИ». Отзыв положительный, имеются замечания:

1. В работе в разных разделах используются термины «алгоритм», «метод», «подход». Термины разные по своей сути, но после прочтения работы складывается мнение, что местами они используются как синонимы. Также можно было бы больше внимания уделить теме обучения, валидации сетей и прочих моделей машинного обучения.

2. **Матвеева Евгения Леонидовича**, кандидата физико-математических наук, начальника отдела специальных программных средств АО «НИКИЭТ». Отзыв положительный, имеются замечания:

1. В тексте автореферата указано, что работоспособность алгоритма продемонстрирована на экспериментальных данных и данных эксплуатации, однако примеры обработки сигналов с течью в условиях номинальных

параметров реакторной установки не приведены. Рекомендую дополнить текст соответствующими примерами или скорректировать формулировки.

2. В тексте автореферата сделан недостаточно обоснованный вывод о том, что разработанный алгоритм выделения полезного сигнала «... отличается более высокой надежностью определения протечек трубопроводов РУ». Эффективность алгоритма определяется не промежуточными результатами преобразования сигнала (включая снижение уровня фоновых шумов), а конечным результатом, т.е. обнаружения течи или ее пропуском. Утверждение о более высокой надежности разработанного алгоритма выделения полезного сигнала требует дополнительного обоснования на основе анализа эксплуатационных данных, демонстрирующих его эффективность в обнаружении течей.

3. В тексте автореферата (в обсуждении результатов в главе 3) приведено утверждение о том, что согласно требованиям концепции «течь перед разрушением» установлено требование о минимальном времени фиксации факта течи с помощью систем контроля «... для удовлетворения требованиям концепции ТПР о времени фиксации факта течи (которое не должно превышать 3 минуты) ...». В национальном стандарте ГОСТ Р 58328-2018 «Трубопроводы атомных станций. Концепция «течь перед разрушением» (далее ГОСТ ТПР), который устанавливает обязательные требования к системам контроля течи, отсутствует требование о минимальном времени обнаружения течи. При этом в ГОСТ ТПР (п.Б.2.3) приведено требование, что временной интервал обнаружения и измерения параметров течи не должен превышать одного часа.

4. При описании метода диагностирования на основе нейронной сети U-net отсутствует анализ проблемы переобучения и описание процедуры валидации модели. Целесообразно дополнить работу описанием выбора гиперпараметров, методов обеспечения воспроизводимости и точности модели, например, с использованием рекомендаций стандартов TRIPOD-AI или STARD-AI.

5. Допущена опечатка в формуле ядра Гаусса (формула (6) на странице 15), которая использовалась автором для умножения матриц с целью минимизации остаточного вектора ϵ .

6. В разделе «Общие выводы и заключение» содержатся следующие излишне обобщенные утверждения о значительном вкладе работы в развитие страны «Таким образом, важнейшая техническая задача реализации новых научно обоснованных технических решений, внедрение которых вносит значительный вклад в развитие страны, в сфере разработки, создания методов и алгоритмов диагностирования оборудования и повышения информативности штатных систем контроля оборудования и РУ в целом, имеющих важное

значение для повышения безопасности и эксплуатационной надежности АЭС, решена.». Рекомендуется сформулировать выводы более конкретно, в рамках решаемых в диссертации задач.

3. Росновского Сергея Викторовича, кандидата технических наук, заместителя главного инженера по радиационной защите филиала АО «Концерн Росэнергоатом» «Нововоронежская атомная станция». Отзыв положительный, имеются замечания:

1. Автор использует «алгоритм», «метод», «подход» часто как синонимы, что создаёт терминологическую путаницу.

2. В четвертой главе методы оценки состояния обучаются на «данных нормальной эксплуатации». Если оборудование в процессе эксплуатации медленно деградирует, то обучение модели на «старых» данных из начала кампании может привести к тому, что естественная деградация будет ошибочно классифицирована как аномалия.

4. Фомичева Дмитрия Вадимовича, кандидата технических наук, руководителя программ, директора по математическому моделированию ГК «Росатом». Отзыв положительный, замечаний нет, но отмечен следующий недостаток:

1. В названии используется термин «предиктивные методы», но в работе этот термин не определяется и не уточняется его смысл в контексте именно данной работы. Классические определения «предиктивности» в контексте производства и машинного обучения обычно предполагают предсказание будущих событий или отказов оборудования. Однако из содержания автореферата видно, что это преимущественно задачи обнаружения аномалий в текущих данных и диагностирования состояния. Автору требовалось более точно определить, что именно понимается под «предиктивностью» в работе и на каких теоретических основаниях применяется этот термин к обнаружению аномалий, если они выявляются на текущих данных, а не прогнозируются.

5. Нахабова Александра Владимировича, кандидата технических наук, доцента, заместителя начальника отделения ядерной физики и технологий ИАТЭ НИЯУ МИФИ. Отзыв положительный, имеются замечания:

1. При получении зависимости общей части сигнала каждого измерительного канала как функции сигналов других каналов (формула (1) на странице 11) не пояснены весовые коэффициенты β_i .

2. Какие именно особенности конструкции ВВЭР учтены в алгоритмах и какие адаптации потребуются для других типов реакторов?

3. Методы оценки состояния, описанные в четвертой главе, требуют данные репрезентативной выборки нормальной эксплуатации. Какой объем такой выборки критичен? Как используется данный подход для новых

энергоблоков, у которых отсутствует накопленная предыстория данных эксплуатации?

6. Яшникова Дмитрия Аркадьевича, кандидата технических наук, начальника лаборатории отдела экспертизы программ для ЭВМ ФБУ «НТЦ ЯРБ». Отзыв положительный, имеются замечания:

1. В автореферате не приведено описание «обучающих множеств» для искусственных нейронных сетей, на использовании которых основаны разработанные диссертантом алгоритмы фильтрации глобальных шумов измерительных каналов систем контроля течи теплоносителя и определения неисправности измерительных каналов системы акустического контроля течей теплоносителя.

2. Приведенное на странице 15 утверждение о том, что параметры сигналов измерительных каналов систем контроля течи теплоносителя «обладают нормальным распределением, что позволяет строить доверительные интервалы», некорректное, поскольку в автореферате не представлены результаты проверки гипотез о виде функции распределения указанных параметров с использованием статистических критериев согласия. Кроме того, построение доверительных интервалов возможно и для параметров распределений (среднего значения, среднеквадратичного отклонения), отличных от нормального.

3. В пункте 3 раздела «Общие выводы и утверждения» указано, что с использованием методики, предложенной диссертантом, разработаны критерии диагностирования оборудования энергоблока № 1 Нововоронежской АЭС-2, которые «позволяют выявлять аномалии в работе оборудования и принимать меры по их устранению». Однако в автореферате не представлены указанные критерии, в том числе не приведены их обоснование и результаты практического применения.

7. Хрипачева Юрия Борисовича, кандидата технических наук, инженера-конструктора 1 категории отдела теплогидравлики АО ОКБ «ГИДРОПРЕСС». Отзыв положительный, имеются замечания:

1. Диссертация носит название «Разработка предиктивных методов и алгоритмов для систем диагностирования оборудования с АЭС с ВВЭР» но содержит исключительно детектирующие аномалии методы.

2. В формуле 6, где приводится выражение ядра Гаусса, допущена опечатка в записи показателя экспоненты. В числителе дроби показателя степени отсутствуют скобки вокруг разности. Кроме того, в коэффициенте перед экспонентой сигма ошибочно попала под знак корня.

По всем замечаниям соискателем были даны детальные разъяснения.

Выбор официальных оппонентов обосновывается тем, что д.т.н. М.Т. Слепов является признанным специалистом в области технического диагностирования оборудования АЭС с ВВЭР, а к.ф.-м.н. М.А. Увакин – признанный специалист в области математического моделирования реакторов ВВЭР.

Выбор ведущей организации обосновывается тем, что АО «ВНИИАЭС» является одним из ведущих научно-исследовательских институтов в атомной отрасли, где осуществляются работы по предиктивному диагностированию состояния оборудования АЭС.

Кроме этого, выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается списком публикаций оппонентов и сотрудников АО «ВНИИАЭС», подготовивших заключение по диссертации.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

- реализован алгоритм выделения полезного сигнала в измерительных каналах системы акустического контроля течей (далее – САКТ), который обладает улучшенными показателями надежности (в плане снижения частоты ложных срабатываний) и чувствительности, по сравнению с исходно реализованным в системе алгоритмом;

- реализован метод проверки работоспособности измерительных каналов САКТ, который обладает расширенными функциональными возможностями, по сравнению с исходно реализованным в системе алгоритмом;

- реализован метод обнаружения неисправностей, который позволяет универсальным образом заблаговременно выявлять отклонения (аномалия) в состоянии оборудования с возможностью локализации неисправности на основе определения сигналов, внесших наибольший вклад в ее развития;

- реализован алгоритм сегментации активной мощности электроприводной арматуры, который позволяет автоматизировать процесс диагностирования арматуры и увеличить скорость диагностирования и выявления неисправностей.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что доказаны положения о целесообразности и эффективности использования комплекса современных методов интеллектуального анализа данных для решения задач предиктивного диагностирования оборудования атомных электростанций с реакторными установками ВВЭР, что расширяет существующие представления о возможностях предиктивной аналитики в технической диагностике энергоблоков АЭС.

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

– реализованный алгоритм выделения полезного сигнала в измерительных каналах САКТ внедрен в САКТ энергоблоков № 1 и № 2 Нововоронежской АЭС-2;

– реализованный метод проверки работоспособности измерительных каналов САКТ внедрен в САКТ энергоблоков № 1 и № 2 Нововоронежской АЭС-2;

– реализованный метод обнаружения неисправностей внедрен в состав специализированного программного обеспечения, разработанного ООО «Квант Программ» и предназначенного для решения задач технического диагностирования оборудования;

– реализованный алгоритм сегментации активной мощности электроприводной арматуры внедрен в состав комплексной системы диагностирования арматуры энергоблоков № 1 и № 2 Нововоронежской АЭС-2.

Достоверность полученных в работе результатов подтверждается тем, что разработанные решения реализованы в виде алгоритмов и программных продуктов, которые прошли проверку на экспериментальных данных и в реальных условиях эксплуатации АЭС.

Личный вклад соискателя в получении изложенных в диссертации материалов заключается в:

- постановке целей и задач диссертационной работы;
- анализе, обработке и подготовке эксплуатационных данных;
- анализе современных и наиболее применимых подходов предиктивной аналитики для решения поставленных задач;
- разработке методов и алгоритмов;
- реализации разработанных методов и алгоритмов в виде программных продуктов.

В ходе защиты были высказаны следующие критические замечания: о возможности локализации места течи в контуре и о величине течи, которую способна обнаружить система акустического контроля (д.т.н. Кочнов О.Ю.); об отсутствии в работе примеров обнаружения течей и вышедшей из строя арматуры с использованием системы акустического контроля (д.т.н. Кочнов О.Ю.); об отсутствии численных значений на представленной в работе циклограмме работы электроприводной арматуры (д.т.н. Хрячков В.А.); о вероятностях ложной идентификации аварийного события с использованием разработанного алгоритма (д.т.н. Хрячков В.А.); об отсутствии результатов сравнения разработанного соискателем алгоритма с ранее использованными для решения подобных задач математическими моделями (д.т.н. Чусов И.А.); об используемой в тексте работы терминологии и аббревиатурах (д.т.н. Чусов

И.А.); об отсутствии сравнения результатов работы созданного алгоритма выделения полезного сигнала в измерительных каналах системы акустического контроля течи с экспериментальными данными (д.т.н. Чусов И.А.); о степени достоверности полученных результатов (д.т.н. Чусов И.А.); об использовании оператора Гаусса в качестве ядерного оператора в многомерном методе оценки состояния (д.т.н. Чусов И.А.).

Соискатель Коцоев К.И. аргументировано ответил на задаваемые ему в ходе заседания вопросы.

Диссертационный совет пришел к выводу, что диссертация Коцоева К.И. является законченной научно-квалификационной работой, которая соответствует критериям, установленным Положением о присуждении ученых степеней, утвержденным Постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 № 842.

На заседании 25 февраля 2026 года диссертационный совет принял решение за разработку и обоснование предиктивных методов и алгоритмов для систем диагностирования оборудования АЭС с ВВЭР присудить Коцоеву Константину Игоревичу ученую степень кандидата технических наук по специальности 2.4.9. Ядерные энергетические установки, топливный цикл, радиационная безопасность.

При проведении тайного электронного голосования диссертационный совет в количестве 14 человек (в том числе присутствовали дистанционно 2 человека), из них 14 докторов наук по специальности диссертации, участвовавших в заседании, из 17 человек, входящих в состав совета, проголосовал: за присуждение учёной степени – 13, против присуждения учёной степени – 1, не голосовали – 0.

Протокол о результатах тайного электронного голосования утвержден открытым голосованием единогласно.

Председатель
диссертационного совета



Троянов
Владимир Михайлович

Ученый секретарь
диссертационного совета

Морозов
Андрей Владимирович

25 февраля 2026 года