

ОТЗЫВ

официального оппонента кандидата физико-математических наук Увакина Максима Александровича на диссертацию Коцюева Константина Игоревича

**«Разработка предиктивных методов и алгоритмов для систем
диагностирования оборудования АЭС с ВВЭР»,**

представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.4.9 «Ядерные энергетические установки, топливный цикл, радиационная безопасность», на 5 страницах

Диссертационная работа Коцюева К.И. направлена на решение актуальной государственной задачи, состоящей в повышении надежности и безопасности эксплуатации энергоблоков АЭС с реакторными установками ВВЭР большой мощности. Предложенные в работе инженерно-технические решения нацелены на превентивное обнаружение аномалий в состоянии оборудования, что позволит существенно снизить или вообще исключить внеплановые остановки энергоблоков и повысить эффективность производства электроэнергии на АЭС.

Поставленная автором задача заключается в разработке и внедрении новых научно обоснованных решений с использованием современных методов интеллектуального анализа. Тема и содержание диссертации полностью соответствует паспорту обозначенной специальности.

Актуальность темы диссертации обусловлена постоянной необходимостью повышения возможностей диагностики неисправностей даже в условиях ограниченной или отсутствующей априорной информации, что позволит своевременно (задолго до выхода измеряемых параметров за эксплуатационные пределы) предоставить эксплуатационному персоналу информацию о возникновении отклонений от режима нормальной эксплуатации РУ или о появлении аномалий в работе оборудования АЭС.

Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, подтверждается результатами экспериментальных исследований и внедрением алгоритмов в системы диагностирования оборудования АЭС с РУ ВВЭР.

Научная новизна работы состоит в разработке нового алгоритма выделения полезного сигнала в измерительных каналах системы акустического

контроля течей и нового алгоритма проверки их работоспособности, создании единого подхода к анализу данных оперативного технического контроля для оценки состояния контролируемого оборудования АЭС. Также автором предложен новый подход по применению нейронной сети для обработки и анализа информации. При создании указанной нейросетевой модели автором впервые решена задача по автоматизации процесса диагностирования электроприводной арматуры, повышению ее эффективности и исключению человеческого фактора.

Практическая значимость подтверждается апробацией разработанных алгоритмов в составе специализированного программного обеспечения для систем технической диагностики комплекса системы контроля, управления и диагностики на энергоблоках № 1 и № 2 НВАЭС-2. Дополнительно следует отметить применение универсальной обработки многоканальных систем контроля независимо от объекта контроля в online- и offline- режимах для различных прикладных областей при решении задач технического диагностирования.

В диссертации обозначен **личный вклад автора**, состоящий определяющей роли в части получения представленных в диссертационной работе результатов.

Объем диссертационной работы составляет 122 страницы. Рукопись состоит из введения, пяти глав, заключения и списка литературы. Результаты работы **опубликованы** в монографии и журналах, рекомендованных ВАК РФ по специальности 2.4.9, а также широко представлены на научно-технических конференциях и семинарах.

Во **введении** представлены основные положения работы.

В **первой главе** проведен обзор методов обработки данных, регистрируемых на АЭС, а также методов машинного обучения, применяемых для анализа большого количества данных. Автор рассмотрел основные методы предварительной обработки данных, а также методы обнаружения неисправностей и прогнозирования развития аномалий. Преимущества и недостатки каждого метода были проанализированы с точки зрения поставленных задач.

Во **второй главе** представлены результаты разработки алгоритма, предназначенного для фильтрации глобальных шумов измерительных каналов в системе контроля течей. В предлагаемом алгоритме исследовано два вида регрессионных моделей: двуслойная нейронная сеть, на основе которой строилась нелинейная регрессия, и линейная байесовская робастная регрессионная модель. Регрессия строилась для каждого сигнала измерительного канала на определенном участке РУ в зависимости от сигналов, регистрируемых на других петлях, а также от сигналов, регистрируемых на других участках той же самой петли. Полученных четырех регрессий на один канал, по мнению автора, вполне достаточно для обеспечения устойчивости алгоритма к изменению состояния или выходу из строя других измерительных каналов.

Третья глава посвящена результатам разработки алгоритма для определения неисправности измерительных каналов в системе акустического контроля течей. Предложен способ увеличения длительности тестового воздействия на встроенный в акустический детектор пьезоизлучатель до 60 секунд, а вывод об исправности измерительного канала делать в том числе на основе статистических характеристик отклика детектора на тестовое воздействие. Автором показано, что преимуществом предложенного алгоритма тестирования является как способность детектировать наведенные помехи в измерительном канале, так и возможность определять неисправные детекторы.

В **четвертой главе** описан метод обнаружения аномалий в работе оборудования АЭС, который состоит из двух основных компонентов: модели оценки состояния и модели обнаружения неисправностей. Для оценки состояния автором были рассмотрены две модели: многомерный метод оценки состояния и вариационный автоэнкодер с механизмом внимания на основе двунаправленных рекуррентных сетей. Предложенные модели были протестированы на примере описания режимов работы главного циркуляционного насоса НВАЭС-2, и показали высокую точность определения неисправностей.

В **пятой главе** представлены результаты разработки алгоритма для автоматической сегментации сигналов электроприводной арматуры сверточной

нейронной сетью. Показано, что такой подход позволяет автоматизировать процесс диагностирования и значительно повышает его скорость.

В основных выводах и заключении дается краткое изложение проделанной работы с основными выводами, и перечисляются полученные результаты.

По существу работы необходимо отметить следующие замечания:

1. По тексту практически нет информации, какие функции активации нейронов скрытого слоя применялись автором в автоэнкодерных моделях (функции активации упомянуты только в обзорной части). Это важно для автоэнкодерной архитектуры, поскольку, например, использование линейной функции приведет к линейным осям главных компонент, и нейросеть будет некорректно отображать нелинейные распределения входных данных. Здесь же возникает вопрос о выборе наилучшей функции активации с точки зрения восстановления данных с минимальной потерей информации.

2. Не поясняется, почему для сегментации сигналов электроприводной арматуры (Глава 5) была выбрана архитектура сверточных нейронных сетей (CNN), в том смысле, что не указано, какие основные преимущества ожидаются от такой модели: инвариантность к искажению входного образа, снижение размерности передаваемого массива, задача классификации и т.д. Тем более что распознаваемые сегменты в большинстве практически значимых случаев могут быть связаны друг с другом, и для решения задачи, скорее всего, выбранная архитектура не является единственно верной.

3. В диссертации следовало бы привести некий анализ, насколько возможно практическое применение предложенных моделей без личного участия автора. Такая информация, несомненно, позволила бы лучше понять потенциальные перспективы полученных результатов.

Сделанные замечания не снижают ценности и практической значимости результатов работы и не вызывают сомнений в высокой инженерной и научной квалификации автора.

Изучение материалов автореферата и диссертации, списка литературы, а также опубликованных автором статей и докладов дает основание утверждать, что диссертация представляет собой законченную научную работу, в которой

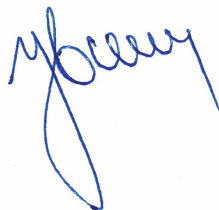
решена важная научно-техническая проблема, имеющая существенное значение для практического повышения эффективности эксплуатации АЭС с ВВЭР большой мощности. Автореферат диссертации в достаточной мере соответствует содержанию и сути проведенных автором исследований, описываемых в рукописи диссертации.

Постановка задачи, методы решения и обоснование результатов соответствуют паспорту специальности 2.4.9 «Ядерные энергетические установки, топливный цикл, радиационная безопасность».

Диссертационная работа полностью соответствует требованиям пунктов 9-11, 13, 14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. №842 (в действующей редакции), предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а Коцоев Константин Игоревич заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.4.9 «Ядерные энергетические установки, топливный цикл, радиационная безопасность».

Заместитель начальника отдела вероятностного анализа безопасности и программных средств, начальник группы, кандидат физико-математических наук

Дата: 02 февраля 2026 г.



Увакин Максим Александрович

АО ОКБ "ГИДРОПРЕСС",
142103, г. Подольск, ул. Орджоникидзе, д. 21
Тел.: 8 (4967) 65-26-68
e-mail: Uvakin_MA@grpress.podolsk.ru
<https://www.gidropress.podolsk.ru>

Подпись Увакина Максима Александровича удостоверяю

Начальник группы *Увакина М.А.*

