

ОТЗЫВ

официального оппонента, доктора технических наук, начальника отдела
технической диагностики Филиала АО «Концерн Росэнергоатом»
«Нововоронежская атомная станция»
Слепова Михаила Тимофеевича

на диссертацию Коцоева 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

Тема диссертационной работы К.И. Коцоева, посвященная совершенствованию методов и алгоритмов диагностирования оборудования АЭС с ВВЭР, является безусловно **актуальной**. В условиях современной атомной энергетики, характеризующейся продлением сроков эксплуатации энергоблоков и повышением требований к их безопасности и экономической эффективности, переход от стратегии планово-предупредительных ремонтов к обслуживанию по фактическому состоянию становится приоритетной задачей.

Ключевым барьером на этом пути является сложность извлечения достоверной диагностической информации из огромных массивов данных («Big Data»), генерируемых системами контроля АЭС. Автор справедливо отмечает, что классические детерминированные подходы зачастую не способны выявлять зарождающиеся дефекты на ранних стадиях на фоне промышленных шумов и эксплуатационных помех. В связи с этим разработка новых предиктивных алгоритмов, основанных на методах машинного обучения и нейронных сетях представляет собой важную научно-техническую задачу, имеющую существенное значение для отрасли.

Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, подтверждается использованием хорошо

изученных методов математической статистики и методов машинного обучения.

Достоверность полученных результатов обеспечивается использованием значительного объема реальных эксплуатационных данных, полученных с энергоблоков № 1 и № 2 Нововоронежской АЭС-2 (РУ ВВЭР-1200), а также результатами экспериментальных исследований. Применение современных программных инструментов и методов анализа данных свидетельствуют о высоком уровне проведенных исследований.

Научная новизна работы заключается в следующем:

Разработан алгоритм фильтрации глобальных шумов в измерительных каналах системы акустического контроля течи (САКТ), основанный на регрессионном моделировании сигналов группы датчиков, находящихся в идентичных условиях, что позволило существенно снизить порог чувствительности к малым течам.

Предложен метод автоматической верификации работоспособности измерительных каналов и акустических датчиков с использованием каскада нейросетевых классификаторов, позволяющий дифференцировать аппаратные отказы датчиков от наведенных помех.

Разработан комплексный подход к обнаружению аномалий в работе ГЦН, сочетающий многомерный метод оценки состояния и метод обнаружения аномалий, что обеспечивает раннее выявление отклонений, не фиксируемых штатными системами контроля.

Впервые для задач диагностики электроприводной арматуры (ЭПА) АЭС применена сверточная нейронная сеть для автоматической сегментации циклограмм активной мощности, позволяющий автоматизировать процесс диагностирования ЭПА.

Практическая ценность диссертации состоит в том, что разработанные алгоритмы доведены до уровня программных модулей и внедрены в опытную и промышленную эксплуатацию. В частности:

Алгоритмы фильтрации шумов и контроля исправности датчиков внедрены в составе САКТ на энергоблоке № 1 и № 2 НВАЭС-2.

Алгоритм автоматической сегментации сигналов используется в системе комплексного диагностирования арматуры НВАЭС-2 (энергоблоки № 1 и № 2).

Объем диссертационной работы составляет 122 страницы. Рукопись состоит из введения, пяти глав, заключения и списка литературы. В тексте содержится 33 рисунка и 4 таблицы. Результаты **опубликованы** в научно-технических журналах, рецензируемых ВАК РФ, а также представлены на научно-технических конференциях и семинарах.

Во введении обоснована актуальность темы, сформулированы цель и задачи исследования, показана научная новизна и практическая значимость.

В первой главе проведен качественный аналитический обзор методов предиктивной аналитики, включая методы предварительной обработки данных и современные архитектуры нейронных сетей. Автор демонстрирует глубокое понимание предметной области.

Вторая глава посвящена проблеме повышения чувствительности систем акустического контроля течи. Автором предложен эффективный алгоритм фильтрации глобальных акустических шумов, возникающих при переходных режимах работы РУ, основанный на построении динамических регрессионных моделей.

В третьей главе представлено решение задачи автоматического контроля исправности самих измерительных каналов САКТ. Применение нейросетевых классификаторов для разделения типов неисправностей является удачным техническим решением.

Четвертая глава описывает разработку методов обнаружения аномалий в работе ГДН. Совместное использование многомерных методов оценки состояния и методов обнаружения неисправностей позволило создать робастную модель, чувствительную к малым отклонениям параметров.

В пятой главе рассматривается задача диагностики электроприводной арматуры. Предложенный подход к сегментации временных рядов мощности с помощью сверточных нейронных сетей способствует автоматизации извлечения диагностических признаков.

При общей высокой оценке работы, необходимо отметить некоторые **замечания:**

1. В наименовании работы используется термин «предиктивный», однако в общепринятом понимании данного термина элементов предиктивности (прогнозирования развития неисправностей) в работе нет. Следовало бы дать пояснение определения термина «предиктивный» в контексте данной работы, уточнив, что под предиктивностью понимается раннее выявление аномалий и предпосылок отказов на основе анализа текущих и исторических данных, чтобы обеспечить полноценную связь между наименованием диссертации и её содержанием.

2. В главе 3 на рисунке 3.2 приведены примеры тестовых сигналов ИК, принадлежащим разным классам. Следовало бы дать пояснения, почему вместо одного тестового сигнала (который формируется пьезодатчиком) в показаниях неисправных каналов с периодичностью 100с наблюдается несколько сигналов, похожих на тестовый в отсутствии подачи в этот момент тестовых сигналов.

3. В главе 4 при описании метода обнаружения аномалий ГЦН с использованием вариационного автоэнкодера (стр. 80-85) недостаточно подробно описан выбор гиперпараметров нейронной сети (количество слоев, размерность латентного пространства).

4. В главе 5 (стр. 104) приводится оценка качества работы сверточной нейронной сети для сегментации сигналов ЭПА. Для оценки универсальности предложенного решения следовало бы указать информацию о обучающей выборке: использовались ли данные только с одного типа арматуры или выборка была гетерогенной (регулирующие задвижки, запорная арматура и т.д.).

Заключение.

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

Аннотация диссертации достаточно полно и точно отражает содержание работы. Результаты, основные положения и выводы диссертации в достаточной мере представлены в научных статьях.

Диссертация является законченной научно-квалификационной работой, а ее содержание полностью соответствует паспорту специальности 2.4.9 – Ядерные энергетические установки, топливный цикл, радиационная безопасность. Диссертация удовлетворяет требованиям пунктов 9-14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 г. № 842 (с последующими изменениями), предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук.

Считаю, что работа выполнена на высоком профессиональном уровне, а ее автор, Коцоев Константин Игоревич, заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук.

Официальный оппонент
Начальник отдела технической
диагностики Филиала АО
«Концерн Росэнергоатом»
«Нововоронежская атомная
станция»
доктор технических наук

30.01.2026



Слепов

Михаил Тимофеевич

Подпись Слепова М.Т. удостоверяю
Начальник отдела кадров



Бодрова Н.В.