

УТВЕРЖДАЮ

Генеральный директор
А.В. Грикуров
05 2025 г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Акционерного общества научно-технического центра «Диапром»
(АО «НТЦД»)

Диссертационная работа «Разработка предиктивных методов и алгоритмов для систем диагностирования оборудования АЭС с ВВЭР» по специальности 2.4.9 – Ядерные энергетические установки, топливный цикл и радиационная безопасность на соискание ученой степени кандидата технических наук выполнена соискателем Коцеевым Константином Игоревичем в акционерном обществе научно-технический центр «Диапром» (АО «НТЦД») и на кафедре «Ядерные реакторы и установки» МГТУ им. Н.Э. Баумана.

В период подготовки диссертации соискатель Коцеев К.И. являлся аспирантом очной формы обучения МГТУ им. Н.Э. Баумана. В настоящее время работает в ООО «КВАНТ ПРОГРАММ» в должности руководителя направления по исследованию данных. Основной род деятельности связан с выполнением договоров АО «НТЦД» поставки оборудования на АЭС различных типов, включающие аналитическое и экспертное программное обеспечение, а также разработки методов контроля и диагностики контролируемого оборудования. В рамках выполнения договоров принимал участие в проектах системы акустического контроля течи, комплексной системы диагностирования арматуры и системы предиктивной аналитики оборудования АЭС.

В 2018 году окончил МГТУ им. Н.Э. Баумана по специальности «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.

Научный руководитель – Перевезенцев Владимир Васильевич, доктор технических наук, работает в федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)» на кафедре «Ядерные реакторы и установки» в должности профессора.

По итогам обсуждения принято следующее заключение:

Окончательная тема диссертации утверждена Учёным советом Научно-учебного комплекса «Энергомашиностроение» МГТУ им. Н.Э. Баумана 28.04.2022, протокол № 02.09-03/227 Э.

Актуальность темы диссертации. Процесс эксплуатации современных АЭС сопровождается регистрацией большого и постоянно растущего числа различных технологических параметров и сигналов системы контроля и систем оперативного диагностирования элементов оборудования. Столь большой поток информации, приходящийся на оператора, не позволяет ему правильно и своевременно распознать возможную неисправность в работе оборудования АЭС. Все это приводит к необходимости развивать и совершенствовать методы диагностики – формирования и выделения характеристик сигналов (диагностических признаков), содержащих информацию о состоянии оборудования и отдельных элементов технических объектов или особенностях протекания тех или иных процессов в них.

Цель диссертационной работы. Целью работы является реализация новых научно обоснованных технических решений, внедрение которых вносит значительный вклад в развитие страны, по разработке, созданию алгоритмов для систем диагностирования оборудования АЭС с РУ ВВЭР. Диссертационная работа Коцоева К.И. «Разработка предиктивных методов и алгоритмов для систем диагностирования оборудования АЭС с ВВЭР» направлена на повышение безопасности и надежности эксплуатации действующих АЭС, за счет организации обработки и анализа получаемой информации с помощью современных интеллектуальных методов и алгоритмов с использованием машинного обучения и нейронных сетей.

Научная новизна. Разработан новый алгоритм выделения полезного сигнала в измерительных каналах системы акустического контроля течи (САКТ) главном циркуляционном контуре, сокрытого в высокоамплитудных посторонних шумах, определяющегося по отношению к общей закономерности поведения во времени множества идентичных каналов, работающих в одинаковых условиях. Алгоритм отличается более высокой надежностью

Адрес: 249031, Калужская обл., г. Обнинск,
ул. Королева, д. 6, пом. 22-23, ч.зд. 2В, эт.2.
Тел.: +7 (495) 690-91-95
Факс: +7 (495) 690-91-95

E-mail: diaprom@diaprom.ru
<http://www.diaprom.com>



Address: 249031, Kaluga region, Obninsk,
Koroleva str., 6, r. 22-23, b. p. 2B, Fl.2.
Phone: +7 (495) 690-91-95
Fax: +7 (495) 690-91-95

E-mail: diaprom@diaprom.ru
<http://www.diaprom.com>

определения протечек трубопроводов РУ, за счет сокращения числа ошибок первого рода (ложных срабатываний) и более высокой чувствительностью, позволяя обнаруживать течи с расходом менее установленного концепцией «течь перед разрушением». Кроме того, исследована устойчивость предложенного алгоритма к различным фоновым акустическим выбросам.

Проведен анализ дефектов измерительных каналов системы акустического контроля течи и встроенной проверки работоспособности. На основании этого предложен и обоснован новый метод проверки работоспособности измерительных каналов САКТ и разработан каскадный нейросетевой классификатор в его основе, отличающийся способностью определять не только дефектные каналы, но и неисправные акустические датчики.

Разработан единый подход к анализу данных оперативного технического контроля для оценки состояния оборудования АЭС в процессе эксплуатации. На основании проведенных исследований сформированы модели (нейросетевой вариационный автоэнкодер и многомерный метод оценки состояния) диагностирования оборудования на примере главных циркуляционных насосов. В отличие от имеющихся систем диагностирования, направленными на симптомы аварии или их проявления, предложенный метод позволяет своевременно выявлять аномалию и дает возможность более тщательно оценить ситуацию и принять правильно решение. Помимо этого, отличительной особенностью также является возможность определения покомпонентного вклада отдельного параметра в общее отклонение, что поможет эксперту в анализе первопричины и в составлении симптомно-ориентированной аварийной инструкции.

Исследован новый подход к использованию сверточной нейронной сети для сегментации временных рядов, представленных сигналами активной мощности ЭПА, для разбиения циклограмм на однородные характерные интервалы времени, из которых извлекаются диагностические признаки. Проведен анализ наиболее подходящих для данной задачи функций потерь, для решения проблемы дисбаланса данных – когда один или несколько классов значительно превышают остальные. В результате разработан алгоритм, который, в отличие от имеющихся, позволяет автоматизировать процесс диагностирования ЭПА, значительно увеличить скорость диагностирования и выявление неисправности, а также исключить ошибки, связанные с человеческим фактором. За счет автоматизации процесса, диагностирование ЭПА стало возможно проводить в онлайн формате.

Практическая значимость. Все разработанные методы прошли проверку на реальных независимых экспериментальных данных и в реальных условиях эксплуатации АЭС. Анализ реальных данных оперативного контроля действующих

Адрес: 249031, Калужская обл., г. Обнинск,
ул. Королева, д. 6, пом. 22-23, ч.зд. 2В, эт.2.
Тел.: +7 (495) 690-91-95
Факс: +7 (495) 690-91-95

E-mail: diaprom@diaprom.ru
<http://www.diaprom.com>



Address: 249031, Kaluga region, Obninsk,
Koroleva str., 6, r. 22-23, b. p. 2B, Fl.2.
Phone: +7 (495) 690-91-95
Fax: +7 (495) 690-91-95

E-mail: diaprom@diaprom.ru
<http://www.diaprom.com>

АЭС показал эффективность представленных разработок. Все решения доведены до алгоритмов и программных продуктов, которые либо внедрены, либо проводятся работы по их внедрению на действующих блоках АЭС:

– в составе системы акустического контроля течей Нововоронежской АЭС алгоритм фильтрации глобальных шумов в измерительных каналах систем контроля течей в модуле комплексного анализа течи. Практическая работоспособность алгоритма продемонстрирована на данных, полученных на основе экспериментального обоснования САКТ на специализированном стенде, а также имеющихся данных по протечкам на номинальных параметрах, эксплуатируемых РУ;

– в составе системы акустического контроля течей алгоритм выявления неисправностей измерительных каналов и акустических датчиков, прошедший, прошедший проверку на реальных данных САКТ Нововоронежской АЭС;

– в составе системы предиктивной аналитики алгоритмы обнаружения аномалий в работе реакторного оборудования. Эффективность разработанных алгоритмов демонстрируется на примере работы главных циркуляционных насосов Нововоронежской АЭС. В процессе исследования были использованы данные различных типов датчиков, включая вибрационные, датчики температуры и давления. На основе этих данных были разработаны критерии диагностирования, которые позволяют выявлять аномалии в работе оборудования и принимать меры по их устранению;

– в составе комплексной системы диагностирования арматуры Курской АЭС алгоритм сегментации временных рядов. Для обоснования эффективности алгоритма использовались данные КСДА Нововоронежской АЭС.

Анализ реальных данных оперативного контроля действующих АЭС показал эффективность представленных разработок. Системы либо внедрены, либо проводятся работы по их внедрению на действующих блоках АЭС, что подтверждает практическую ценность работы.

Полнота изложения материалов диссертации является достаточной и обеспечена публикацией шести работ в рецензируемых научных журналах, относящихся к перечню ВАК, а также одной монографии (в соавторстве).

Достоверность представленных в диссертационной работе основных положений подтверждаются результатами экспериментальных исследований, и внедрением алгоритмов в системы диагностирования оборудования АЭС с РУ ВВЭР. Все разработанные методы прошли проверку на экспериментальных данных и в реальных условиях эксплуатации АЭС.

Личный вклад и апробация работы. Автор принимал непосредственное личное участие в получении основных результатов диссертационной работы.

Подготовка к публикации полученных результатов проводилась совместно с соавторами, причем вклад диссертанта был определяющим. Основные положения и результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на научно-технических семинарах кафедры «Ядерные реакторы и установки» МГТУ им Н.Э. Баумана в период 2019-2023 гг, на 8-ой международной молодежной научной конференции «Физика. Технологии. Инновации. (ФТИ – 2021)» (Екатеринбург – 2021), на научно-технической конференции «Теплофизика реакторов нового поколения (Теплофизика – 2022)» (Обнинск, 2022), на научно-техническом семинаре, проводимом в АО «СНИИП» «Развитие систем диагностирования реакторных установок (РУ)» (Москва – 2022).

Диссертационная работа Коцоева Константина Игоревича «Разработка предиктивных методов и алгоритмов для систем диагностирования оборудования АЭС с ВВЭР» соответствует специальности 2.4.9 – Ядерные энергетические установки, топливный цикл, радиационная безопасность и представляет собой самостоятельную законченную научно-квалификационную работу, в которой изложены новые научно обоснованные технические решения, внедрение которых вносит значительный вклад в обеспечение безопасности современных проектов АЭС с ВВЭР.

Диссертационная работа соответствует требованиям пп. 9-14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 года № 842 (в действующей редакции).

Диссертационная работа Коцоева Константина Игоревича «Разработка предиктивных методов и алгоритмов для систем диагностирования оборудования АЭС с ВВЭР» рекомендуется к защите на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.4.9 – Ядерные энергетические установки, топливный цикл, радиационная безопасность.

Заключение принято на заседании НТС АО «НТЦД» 22.05.2025. Присутствовало на заседании – 12 чел. Результаты голосования: «за» – 12 чел., «против» – 0 чел., «воздержалось» – 0 чел., протокол № 1 от 22.05.2025.

Председатель НТС,
научный руководитель АО «НТЦД»
профессор, д.т.н, к.ф-м.н



Крошилилин А.Е.

Ученый секретарь НТС



Николаева И.С.