

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию **Аль-Текрити Ватбана Халида Фахми** «Оценка воздействия вибрации на механическое оборудование электростанций комбинированного цикла» (Analysis of the vibration effects on combined cycle power plants' mechanical parts)», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.4.7 «Турбомашины и поршневые двигатели»

Актуальность темы исследования не вызывает сомнения, так как исследование направлено на решение задачи раннего обнаружения отклонений в работе газовых турбин, предотвращения аварийных отказов и повышении коэффициента готовности. В диссертации представлен новый подход к разработке и внедрению модели LSTM (Long short-term memory, долгая краткосрочная память), предназначенной для обнаружения неисправностей в газовых турбинах с использованием анализа вибраций в качестве основного диагностического инструмента. Метод эффективно позволяет выявлять характерные признаки дефектов из сложных временных рядов вибрационных данных, позволяя точно воссоздавать как общие, так и нештатные профили вибрации. Разработанная модель LSTM играет ключевую роль в прогнозировании возникновения неисправностей, что является существенным прогрессом в методологии обнаружения дефектов. В диссертации показана эффективность модели при обработке многомерных временных рядов данных. При нехватке маркированных данных, особенно для аварийных ситуаций, в исследовании используются техники расширения данных - симметричное отражение и джиттер.

Методика расширяет набор данных, повышая обучаемость и прогностические способности модели. В работе изучается оптимальная конфигурация автоэнкодера модели LSTM с использованием машинного обучения. Результаты исследования подчеркивают эффективность модели при обнаружении отклонений. Успешность применения модели при выявлении отклонений соответствует реальным условиям эксплуатации, подтверждая ее практическую применимость.

Таким образом тема диссертации Аль-Текрити Ватбана Халида Фахми является актуальной.

Структура диссертации

Диссертация Аль-Текрити Ватбана Халида Фахми изложена на 203 страницах и состоит из введения, пяти глав, заключения и списка цитируемой литературы, содержащего 112 источников.

Автореферат соответствует положениям и содержит основное содержание диссертации.

Во введении обосновываются актуальность и новизна темы диссертации, ее теоретическая и практическая значимость, формулируется цель и ставятся задачи исследования. Представлены положения, выносимые на защиту, даны сведения об апробации работы, приведены данные о публикациях автора и его личном вкладе в выполненные исследования.

В первой главе диссертации рассмотрены и проанализированы публикации по теме исследования, выполнен литературный обзор. В этой главе рассматривается важность проблемы вибрации турбомашин и вспомогательного оборудования, установленного на электростанциях комбинированного цикла. Описывается комплексный подход к анализу вибрации, нацеленный на определение узлов, наиболее подверженных вибрации, определение основных причин этих вибраций и изучение существующих предиктивных методик и технологических решений для снижения или устранения вибрации. Автор рассмотрел задачу разработки более надежных и экономически целесообразных методик технического обслуживания, направленных на снижение рисков повреждения оборудования, более раннее выявление отклонений в вибросостоянии турбоагрегата и снижении затрат на эксплуатацию и техническое обслуживание.

Во второй главе проведен структурный анализ вибрационных сигналов и системы мониторинга. Эта глава посвящена сложным взаимосвязям между наличием вибрации и ее воздействием на различные элементы оборудования электростанции. Описан комплексный подход к анализу вибрации и обоснована необходимость проведения анализа при помощи элементов искусственного интеллекта и нейросетей. Рассмотрены типовые примеры отказов и повреждений элементов газовых турбин, приводящие к изменению параметров вибрации, в частности: дисбаланс, несоосность роторов и т.д.

В третьей главе рассматривается технологии сбора и анализа данных о вибрационном состоянии роторных машин. В качестве объекта исследования выбрана электростанция, расположенная в г. Киркук, Ирак. Набор данных для данного исследования включает статистику по вибрации для газовой турбины Siemens SGT5-4000F по двум ключевым параметрам – виброскорости и относительной вибрации вала. Системы мониторинга отображают данные о вибрациях в режиме реального времени, а исследование использует этот набор данных для улучшения моделей машинного обучения для предиктивного анализа, обеспечивая эффективную и надежную работу оборудования.

В четвертой главе представлены различные алгоритмы глубокого обучения, которые разработаны автором, для улучшения обнаружения аномальных ситуаций в газовых турбинах. Также проведены сравнительные оценки результатов работы предлагаемых алгоритмов, чтобы определить наиболее эффективное решение для планирования профилактического обслуживания и надежности обнаружения аномалий.

В заключении сформулированы основные результаты диссертации. Выводы полностью отражают результаты диссертационной работы. Все выводы достоверны и подтверждены количественными показателями.

В приложениях приводятся Сведения о государственной регистрации программ для ЭВМ, использовавшихся при проведении экспериментов.

Научная новизна диссертационной работы:

1. Разработка модели LSTM, представляющей собой новый подход в области обнаружения аномалий в данных временных рядов для применения в сложных промышленных условиях.
2. Интеграции слоев LSTM в структуру автоэнкодера, вносящее новое измерение в процесс обнаружения аномалий.

Теоретическая значимость диссертационной работы заключается в представлении новых методологий для обнаружения аномалий в данных временных рядов, собранных из промышленных сред через различные системы мониторинга.

Практическая значимость диссертационной работы заключается в том, что применение результатов работы, обеспечивает:

1. Раннее обнаружение отклонений в вибрационном состоянии оборудования, что способствует быстрому выявлению неисправностей.
2. Сокращение времени простоя ГТУ на электростанции, происходящее за счет своевременного устранения выявленных дефектов.
3. Снижение затрат на техническое обслуживание, достигающееся за счет предиктивного анализа вибросостояния и более раннего выявления дефектов.
4. Предотвращение аварийных остановов оборудования на электростанции, повышающее безопасность работы, в том числе защиту жизни персонала.

Апробация работы и публикации

Основные научные и практические результаты исследования докладывались и обсуждались на международных конференциях: Инженерные системы: труды международной конференции, РУДН, Москва, 5–7 апреля 2023 г.; 4-я

Международная конференция по искусственному интеллекту и его будущим перспективам в области электротехники, вычислительной техники, механики и телекоммуникаций, Иран, декабрь 2024 г.; 3-ая Международная конференция студентов-инженеров-механиков и аэрокосмической техники, Иран, декабрь 2024 г.

Научные результаты автора нашли отражение в 14 печатных трудах, из них 1 статья в РИНЦ, 5 статей в Scopus/Web of Science (3 статьи в Q1, 1 статья в Q2 и 1 статья в Q3); 3 статьи в сборниках материалов конференции, 1 в другом издании и 4 свидетельств о государственной регистрации программ для ЭВМ.

Замечания:

1. В работе указано, что использование предиктивного анализа вибросостояния может привести к существенной экономии операционных и ремонтных расходов, однако не приведен анализ затрат и потенциальной экономии. Стоило бы привести данные по тому, какова потенциальная стоимость ложного положительного (ложный останов) срабатывания системы по сравнению с ложным отрицательным (аварийный останов) на электростанции типа Киркук.

2. Предложенная стратегия увеличения данных очень важна, но непонятно каким образом обеспечивается, чтобы "вывихнутые" (jittered) и "перевернутые" (flipped) данные реалистично представляли физические явления фактических механических дефектов (например, дисбаланс, несоосность роторов, трение), обсуждаемые в главе 2.

3. Тестовые модели (Isolation Forest и т.д.) показали очень плохие результаты. Стоило бы подробно описать процесс настройки ключевых параметров для этих моделей. Возможно ли, что с другими ключевыми параметрами могло быть получено лучшее соответствие модели набору данных?

Отмеченные недостатки не влияют на существо основных результатов диссертации и не уменьшают их научную значимость в рамках решаемой научной задачи. Считаю, что диссертация соискателя **Аль-Текрити Ватбана Халида Фахми «Оценка воздействия вибрации на механическое оборудование электростанций комбинированного цикла»**, представленная для оппонирования, соответствует требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук, отвечает критериям II Положения о присуждении ученых степеней Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Российский Университет Дружбы Народов имени Патриса Лумумбы», утвержденного ученым советом РУДН им. Патриса Лумумбы от 22.01. 2024г., протокол №УС-1, а е автор - Аль-Текрити Ватбан

Халид Фахми - заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.4.7 «Турбомашины и поршневые двигатели».

Официальный оппонент д.т.н.,
старший научный
сотрудник НИИ ЭМ НИУ
МГСУ, доктор технических
наук (05.03.05 - Технологии и
машины обработки
давлением), доцент
Телефон +79104226845
Anna44@yandex.ru
KornilovaAV@mgsu.ru



Подпись

Корнилова Анна Владимировна
« 5 » 12 2025 г.

Научно-исследовательский институт экспериментальной механики Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет»

Почтовый адрес: 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26 Телефон: +7 (495) 781-80-07; Факс: +7 (499) 183-44-38

Email: kantz@mgsu.ru

Подпись Корниловой А.В. заверяю.



Начальник отдела
кадрового делопроиз-
водства УРП
А.В. ПИНЕГИН

