

ГИБРИДНАЯ МОДЕЛЬ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ УЛЬТРАЗВУКОВОГО НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ В ОБЛАСТИ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ

Д. А. ИВАНОВ

*Саратовский государственный технический университет им. Гагарина Ю. А.,
Российская Федерация*

В настоящее время регулярно возникает необходимость в проведении контроля состояния различных промышленных объектов, в том числе железнодорожных путей и элементов подвижного состава, поскольку своевременное выявление дефектов позволяет предотвратить аварийные ситуации и значительно сократить затраты на устранение последствий неисправностей. Для оценки состояния объектов есть возможность использовать неразрушающий контроль – совокупность методов, позволяющих оценивать наличие повреждений без вмешательства в структуру материала. Преимуществом данного подхода является возможность проведения диагностики без демонтажа и перерыва в эксплуатации объекта. Одним из наиболее эффективных и широко применяемых методов неразрушающего контроля является ультразвуковой, так как он сочетает в себе высокую чувствительность к внутренним дефектам и относительную простоту применения.

При обработке данных контроля могут помочь нейронные сети, с помощью которых имеется возможность извлекать сложные зависимости в данных, а также автоматизировать процесс обнаружения дефектов. Для исследования работ, которые уже были проведены в этой области, необходимо обратиться к научным публикациям.

В работе [1] авторы исследуют применение искусственных нейронных сетей с использованием обработки изображений для автоматического выявления и классификации дефектов деталей подвижного состава на основе данных неразрушающего контроля, включая ультразвуковой метод. Такой подход способствует повышению точности диагностики и надежности железнодорожного оборудования за счет автоматизации процессов контроля. Статья [2] представляет систему неразрушающего контроля железнодорожных путей, использующую платформу для обработки изображений в реальном времени. Система включает камеру для захвата изображений рельсов, на которых с помощью свёрточной нейронной сети (CNN) выполняется обнаружение дефектов. Система продемонстрировала точность обнаружения 88,9 %. В статье [3] предложен метод обнаружения дефектов железнодорожного основания с использованием комбинированной нейронной сети, объединяющей CNN и рекуррентную (RNN) архитектуры. Сеть CNN извлекает пространственные признаки, а RNN анализирует временные зависимости для классификации дефектов. Данный подход продемонстрировал высокую точность и эффективность в реальных условиях.

Исследования показывают, что обработка данных ультразвукового неразрушающего контроля элементов железнодорожной инфраструктуры с помощью методов машинного обучения значительно повышает точность выявления дефектов и позволяет автоматизировать диагностику. Комбинирование различных архитектур нейронных сетей улучшает качество обработки сложных сигналов, что способствует более эффективному мониторингу состояния объектов. Однако, несмотря на растущую популярность такого подхода, количество исследований в этой области всё ещё остается довольно ограниченным, что указывает на перспективность и актуальность данного направления. В связи с этим имеется потребность в разработке гибридных моделей, которые могут эффективно извлекать как пространственные, так и временные характеристики сигналов ультразвукового неразрушающего контроля, обеспечивая более высокую точность и устойчивость к шумам по сравнению с традиционными подходами.

В работе [4] была представлена верхнеуровневая архитектура для обработки данных ультразвукового неразрушающего контроля с помощью комбинированной модели, состоящей из свёрточной нейронной сети и сети с управляемыми рекуррентными блоками (GRU). На основе этого подхода была реализована модель, упрощённая архитектура которой представлена на рисунке 1. В качестве объекта контроля для сбора данных использовался стыковой сварной шов трубы из нержавеющей стали, которая содержала в себе три трещины различного размера. Исходными данными для обучения модели являются нормализованные ультразвуковые сканы размером 256×256 пикселей.

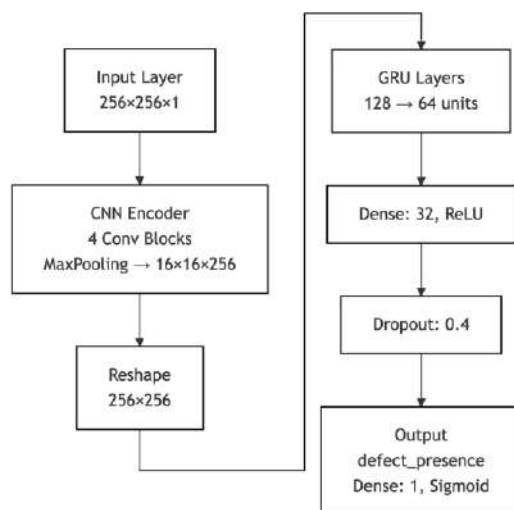


Рисунок 1 – Упрощенная архитектура CNN-GRU модели

Модель начинается с входного слоя для изображений 256×256 пикселей, затем проходит через CNN сеть из четырех сверточных блоков с пулингом для извлечения пространственных признаков и уменьшения размерности до $16 \times 16 \times 256$, после чего данные преобразуются в последовательность и обрабатываются двумя слоями GRU для выявления временных зависимостей. Завершается классификацией Dense слоя с Dropout для предотвращения переобучения и выходным слоем с сигмоидальной активацией для предсказания наличия дефекта. На текущем этапе точность определения наличия дефекта составляет 90 %. Далее планируется увеличить этот показатель для более точного определения наличия или отсутствия дефектов с помощью улучшения модели. Среди преимуществ стоит отметить способность улавливать пространственно-временные зависимости, устойчивость к переобучению и шуму, а также гибкость и настраиваемость. Впоследствии имеется возможность адаптировать эту модель для исследования повреждений объектов железнодорожной инфраструктуры.

Таким образом, была рассмотрена гибридная CNN-GRU модель с точностью определения дефектов в 90 %, которая в перспективе может использоваться для исследований объектов железнодорожной инфраструктуры.

Список литературы

- 1 Холодилов, О. В. Использование нейронных сетей в неразрушающем контроле деталей подвижного состава / О. В. Холодилов, Д. В. Шкороедов // Современные проблемы машиноведения : сб. науч. тр. : в 2 ч. / М-во образования Респ. Беларусь, Гомельский гос. техн. ун-т им. П. О. Сухого ; под общ. ред. А. А. Бойко. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2025. – Ч. 1. – С. 164–167.
- 2 An Edge AI System Based on FPGA Platform for Railway Fault Detection / W. Zhou, M. Li, X. Li [et al.] // arXiv preprint arXiv:2408.15245. – 2024. – URL: <https://arxiv.org/abs/2408.15245> (date of access: 10.08.2025).
- 3 Combined CNN and RNN Neural Networks for GPR Detection of Railway Subgrade Diseases / W. Zhou, M. Li, X Li [et al.] // Sensors. – 2023. – Vol. 23, № 12. – P. 5383. – DOI: 10.3390/s23125383.
- 4 Иванов, Д. А. Обзор подхода к обработке данных ультразвукового неразрушающего контроля с помощью машинного обучения / Д. А. Иванов // Научно-технический вестник Поволжья. – 2025. – № 6. – С. 29–33.

УДК 539.3

НЕКОТОРЫЕ СТАТИЧЕСКИЕ ЗАДАЧИ БЕЗМОМЕНТНОЙ ТЕОРИИ ОБОЛОЧЕК ИЗ Ni–Ti СПЛАВА С ПАМЯТЬЮ ФОРМЫ

И. А. ИСАЧЕНКО, А. С. КУРБАТОВ, С. И. ЖАВОРОНОК

Институт прикладной механики Российской академии наук, г. Москва, Российская Федерация

Усовершенствование технологий производства сплавов с эффектом памяти формы и изделий из них, в том числе аддитивных методов производства [1], дает возможность разрабатывать новые конструктивные элементы адаптивных систем, опирающиеся на эффект памяти. Одним из исследу-