

ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ И НЕРАЗРУШАЮЩИЙ КОНТРОЛЬ ОБОРУДОВАНИЯ

В.С. ФРАНЦКЕВИЧ, Д.Ю. МЫТЬКО, Р.И. ЛАНКИН

Белорусский государственный технологический университет

Минск, Беларусь

Искусственный интеллект (ИИ) и машинное обучение (МО) кардинально меняют сферу неразрушающего контроля при диагностике оборудования, делая его более быстрым, точным и прогнозирующим. Традиционно неразрушающий контроль (дефектоскопия, визуальный контроль, ультразвук, рентген и т.д.) требует огромного опыта и внимания человека-оператора. ИИ берет на себя самые рутинные и сложные задачи:

- Автоматическое обнаружение дефектов: алгоритмы компьютерного зрения анализируют изображения (с рентгена, термографии, камер) и с высокой точностью находят трещины, коррозию, каверны и другие аномалии, которые человек может пропустить из-за усталости.

- Классификация дефектов: не просто найти дефект, но и определить его тип (трещина, пора, включение инородного материала), ориентацию и степень серьезности.

- Сегментация: точное определение границ дефекта на изображении, что критично для оценки его размера и роста.

- Снижение ложных срабатываний: ИИ-модели, обученные на больших массивах данных, гораздо лучше отличают реальные дефекты от артефактов, шумов и нерелевантных особенностей материала.

- Прогноз остаточного ресурса (Predictive Maintenance): ИИ анализирует данные неразрушающий контроль за длительный период, с данными датчиков вибрации, температуры и нагрузок. На основе этого он строит прогнозы, когда оборудование достигнет критического состояния и когда именно его нужно обслуживать, предотвращая внезапные остановки.

Практически каждый метод неразрушающего контроля получает мощный импульс от внедрения ИИ. Например:

- Визуальный контроль (ВК). Дроны с камерами осматривают труднодоступные конструкции (мосты, ветряные турбины, нефтепроводы). ИИ в реальном времени анализирует видео и помечает потенциальные проблемные зоны (например, потерявшие герметичность сварочные швы или повреждения изоляции).

– Рентгеновский контроль и радиографический контроль. Анализ рентгенограмм (снимков) – идеальная задача для глубокого обучения. Алгоритмы (например, сверточные нейронные сети — CNN) учатся находить мельчайшие дефекты в сварных швах литья, электронных компонентов.

– Ультразвуковой контроль (УЗК). Анализ сложных А-сканов и данных фазированных решеток (ФРУК). ИИ помогает интерпретировать сигналы от сложных геометрий (например, сварные соединения труб разной толщины), где всегда много помех.

– Контроль проникающими веществами (капиллярный). Автоматический анализ изображений с индикаторными следами для классификации дефектов по размеру и форме.

– Контроль вихревыми токами. Анализ комплексных сигналов (амплитуда и фаза) для разделения влияния различных факторов (зазора, температуры, самого дефекта).

Алгоритм использования ИИ при диагностике оборудования можно представить в следующем виде:

1. Сбор данных: с оборудования с помощью датчиков (вибрации, температуры, давления, тока, ультразвука и т.д.) в непрерывном режиме собираются большие объемы данных.

2. Обучение модели. ИИ-модель (чаще всего нейросети) обучается на исторических данных, которые содержат информацию о работе оборудования до момента его поломки. Модель ищет сложные, неочевидные для человека паттерны и аномалии, которые предшествуют сбою. Можно обучать и на цифровом двойнике – создается виртуальная цифровая копия оборудования, и ИИ обучается на симуляции различных режимов работы и сценариев поломок.

3. Мониторинг и анализ в реальном времени: обученная модель подключается к потоку данных с датчиков. Она непрерывно анализирует текущее состояние и сравнивает его с выученными паттернами.

4. Прогнозирование и диагностика: когда модель обнаруживает признаки будущей поломки, она генерирует прогноз: *Что* выйдет из строя (например, подшипник электродвигателя), *когда* это произойдет (остаточный ресурс, например, через 72-96 часов), *почему* (например, признак усталости металла и дисбаланса).

5. Формирование рекомендаций и выводов: система автоматически создает заявку на обслуживание, формирует рекомендации для ремонтной бригады и заказывает необходимые запчасти.

Основные преимущества внедрения искусственного интеллекта для диагностики оборудования:

– Объективность и воспроизводимость: ИИ не устает, его не отвлекают, он всегда выдает результат по одним и тем же алгоритмам. Это убирает "человеческий фактор".

– Скорость: обработка данных и принятие решений происходят в разы быстрее. Можно проверять 100% продукции на конвейере вместо выборочного контроля.

– Точность: глубокое обучение позволяет находить дефекты, которые не описаны в стандартных методиках и которые не заметил бы даже опытный оператор.

– Обработка больших данных: ИИ может непрерывно анализировать терабайты данных с множества датчиков, выявляя сложные и скрытые зависимости.

– Цифровая документация: Все результаты автоматически протоколируются и сохраняются, что удобно для отслеживания истории состояния объекта.

Однако, есть и определенные ограничения, не позволяющие быстро и эффективно внедрять такие технологии:

– Качество данных: ИИ нужны для обучения большие размеченные датчики (тысячи изображений с отмеченными экспертами дефектами). Создание их – дорогая и трудоемкая задача.

– "Черный ящик": не всегда понятно, по каким именно признакам нейросеть приняла решение. В ответственных отраслях (авиация, АЭС) это может быть проблемой для сертификации.

– Доверие и внедрение: специалисты-дефектоскописты с большим опытом могут скептически относиться к решениям ИИ. Требуется изменение процессов и переподготовка кадров.

– Стоимость: разработка и внедрение AI-решений требуют значительных первоначальных инвестиций в оборудование, ПО и специалистов.

Нельзя не привести и реальные примеры применения ИИ для диагностики оборудования:

– Авиация: Siemens, GE, Airbus используют ИИ для анализа рентгеновских снимков лопаток турбин и композитных материалов фюзеляжа.

– Нефтегазовая отрасль: Анализ данных УЗК и ВТ для диагностики трубопроводов и резервуаров.

– Энергетика: Инспекция лопастей ветрогенераторов с помощью дронов и ИИ, контроль теплообменных труб на АЭС.

– Машиностроение: 100% контроль качества сварных швов на автомобильных конвейерах.

ИИ трансформирует неразрушающий контроль из задачи *найти дефект* в *запланировать и предупредить*. То есть вместо простого поиска поломок неразрушающий контроль становится системой непре-

рывной оценки «здоровья» оборудования и прогнозирования его будущего состояния. Это ключевой элемент концепции «Цифрового двойника» (Digital Twin) и Индустрии 4.0.

Таким образом, инженер-механик будущего, специалист по неразрушающему контролю – это не только человек с датчиками и приборами, но и оператор, который работает с AI-системами, интерпретирует их выводы и принимает финальные ответственные решения.

УДК 004.051

КРИТЕРИИ ЭФФЕКТИВНОСТИ АЛГОРИТМОВ ОБФУСКАЦИИ И ДЕОБФУСКАЦИИ ПРОГРАММНОГО КОДА И ИХ СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ НА ОСНОВЕ ОНЛАЙН-ОБФУСКАТОРОВ

В.С. КАНТАРОВИЧ, П.П. УРБАНОВИЧ

Белорусский государственный технологический университет
Минск, Беларусь

Растёт количество случаев несанкционированного копирования и использования интеллектуальной собственности, что создает необходимость в эффективных механизмах защиты уникальных алгоритмов и логики работы программ. Одним из таких важных инструментов в сфере информационной безопасности является обфускация, которая направлена на защиту интеллектуальной собственности и предотвращение несанкционированного доступа к исходному коду. Процесс обфускации особенно важен в контексте программного обеспечения и безопасности беспилотных аппаратов, поскольку он не только защищает внутреннюю логику и структуру кода, затрудняя анализ и реверс-инжиниринг, но и служит дополнительным слоем защиты от кибератак. В условиях растущих угроз обфускация минимизирует вероятность успешного обнаружения и эксплуатации уязвимостей, что является важным для надежности и устойчивости беспилотных систем. Таким образом, применение обфускации является необходимым шагом для повышения безопасности программного обеспечения и защиты от несанкционированного использования кода [1].

Обфускация – это процесс преднамеренного усложнения исходного кода программы и внесение в него модификаций с целью затруднения его анализа и понимания. Оригинальные алгоритмы обфускации