

10. **Овсянников, А.В.** Применение искусственного интеллекта в дополнительном профессиональном образовании начинающих учителей / Цифровая трансформация образования и науки: отечественный и зарубежный опыт. Сборник материалов XV Международной научно-практической конференции. Издательство АЭО, Москва, 2025. С. 239-249.

11. **Зимин, Ю.С., Каспаров, И.В., Строганов, Д.А.** Искусственный интеллект в образовании: поиск сбалансированной модели использования / Russian journal of education and psychology. ООО «Научно-инновационный центр». Нижний Новгород 2024. С. 418-423.

12. **Махинова, М.В., Частоедова, А.Ю.** Роль искусственного интеллекта в высшем образовании / Материалы научной и

научно-методической конференции профессорско-преподавательского состава кубанского государственного университета физической культуры, спорта и туризма. Кубанский государственный университет физической культуры, спорта и туризма. 2024. С. 199-204.

13. **Пудалов, А.Д.** Клиповое мышление как инструмент замещённой реальности // Вестник Ангарского государственного технического университета. – 2022. – № 16. – С. 247–250.

14. **Мазур, В.Г., Пудалов, А.Д.** Ручное мастерство как важный элемент трудового воспитания // Современные технологии и научно-технический прогресс // Материалы конференции – Ангарск : Издательство АНГТУ, 2025. – С. 288–289.

УДК 617.57-77

системный инженер, ООО ИК «СИБИНТЕК», e-mail: anzhela_gerasimova_1998@mail.ru

Нечаева Анжела Валерьевна,

Эльхутов Сергей Николаевич,

к.т.н. доцент кафедры «Промышленная электроника и нанoeлектроника»,

ФГБОУ ВО «Ангарский государственный технический университет», e-mail: PE@angtu.ru

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПРОМЫШЛЕННЫХ СИСТЕМ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ

Nechaeva A.V., Elkhutov S.N.

COMPARATIVE ANALYSIS OF INDUSTRIAL NON-DESTRUCTIVE CONTROL SYSTEMS

Аннотация. Рассмотрен анализ промышленных систем неразрушающего контроля, приведены основные методы. Проведен сравнительный анализа различных систем неразрушающего контроля. Определены оптимальные условия систем неразрушающего контроля. Рассмотрены ультразвуковой, радиографический, магнитный и виброакустический методы, и выбор метода в зависимости от специфики производственных процессов.

Ключевые слова: неразрушающий контроль, анализ, промышленность, область применения.

Abstract. The analysis of industrial non-destructive testing systems is considered, and the main methods are presented. A comparative analysis of various non-destructive testing systems is conducted. The optimal conditions for non-destructive testing systems are determined. The ultrasonic, radiographic, magnetic, and vibroacoustic methods are considered, and the choice of method depends on the specific features of production processes.

Keywords: non-destructive testing, analysis, industry, and application.

Современные промышленные системы неразрушающего контроля (НК) играют ключевую роль в обеспечении безопасности и надежности различных материалов и конструкций. Проблема заключается в необходимости выбора наиболее эффективной системы НК, способной обеспечить высокую точность и надежность диагностики без повреждения объекта. В условиях постоянного

роста требований к качеству и безопасности продукции, актуальность данной темы становится особенно заметной. В условиях усиления конкуренции, эффективные системы НК становятся важным инструментом для обеспечения долговечности оборудования и качества продукции.

В рамках работы предполагается решение задачи, связанные с анализом приме-

нимости различных методов НК в зависимости от типа контролируемых материалов и условий эксплуатации, а также оценкой их экономической эффективности. Важно также рассмотреть, как новые технологии и инновации могут повлиять на развитие систем НК.

Рассмотрим основные методы неразрушающего контроля.

Ультразвуковой (акустический) метод основан на способности волн частотой от 0,5 до 25 МГц проникать в структуру материала и отражаются от дефектов (рисунок 1). По параметрам принятого сигнала определяют наличие, расположение и размер дефектов [1].

Область применения: контроль сварных швов трубопроводов и ёмкостей, диагностика оборудования под давлением, контроль литых и кованных деталей.

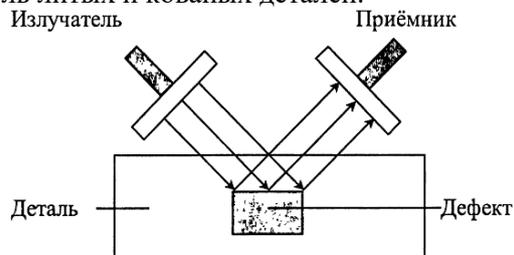


Рисунок 1 - Схема обнаружения дефекта отражением ультразвука.

Достоинства: высокая чувствительность к внутренним дефектам, возможность контроля при одностороннем доступе.

Недостатки: трудности контроля крупнозернистых материалов, тонкостенных изделий толщиной менее 4 мм, а также изделий сложной формы.

Вихретоковый (электромагнитный) метод основан на анализе взаимодействия внешнего электромагнитного поля с полем вихревых токов, наводимых возбуждающей катушкой в электропроводящем объекте контроля (рисунок 2).

Область применения: контроль сварных соединений трубопроводов, резервуаров и оффшорных платформ, проверка деталей двигателей и конструкций самолётов [2].

Достоинства: бесконтактность измерений, высокая скорость контроля, высокая чувствительность к микроскопическим дефектам.

Недостатки: метод применим только для электропроводящих материалов, глубина контроля ограничена несколькими милли-

метрами.

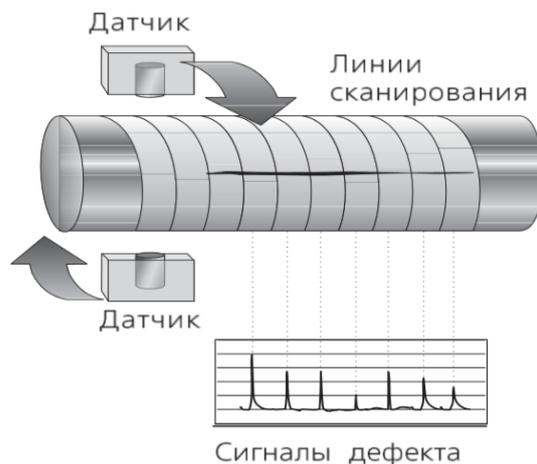


Рисунок 2 – Принцип работы вихретокового дефектоскопа.

Магнитопорошковый (капиллярный) метод функционирует следующим образом: на поверхность детали наносится магнитный порошок или жидкая суспензия, которые под воздействием магнитного поля образуют на поверхности узор (рисунок 3). При наличии дефектов частицы скапливаются вокруг дефекта [4].

Область применения: контроль сварных швов, заготовок, полученных методом литья, деталей грузоподъемных механизмов.

Достоинства: высокая чувствительность, возможность находить несплошности на деталях с защитным немагнитным покрытием толщиной до 50 мкм.

Недостатки: метод ограничен материалами со свойством относительной магнитной проницаемости (должен быть больше или равен 40), возможны ошибки в результатах, если материал обладает магнитной неоднородностью.

Рентгенографический метод в неразрушающем контроле (НК) основан на различной поглощающей способности дефектов и основного материала. Лучи, проникая сквозь различные дефекты (трещины, раковины, включения инородных материалов), в различной степени ослабляются [3]. При регистрации распределения интенсивности проходящих лучей определяется факт наличия и расположение различных неоднородностей и дефектов (рисунок 4).

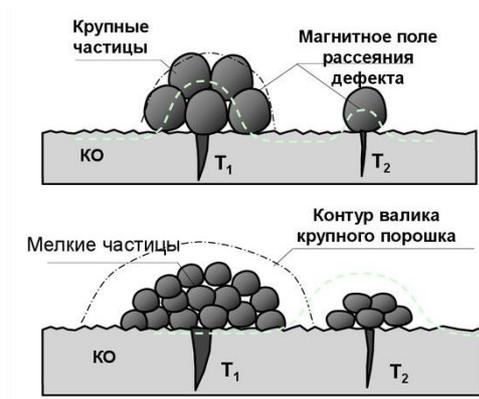


Рисунок 3 – Принцип работы магнитопорошкового метода.

Область применения: контроль сварных соединений трубопроводов, силосов, резервуаров и резервуарного оборудования, противопожарного и нефтеналивного оборудования, дымовых труб, нестандартных металлоконструкций.

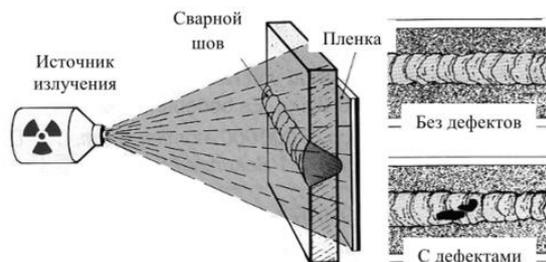


Рисунок 4 – Принцип работы рентгенографического метода.

Достоинства: возможность выявить скрытые дефекты внутри металла, определить их характер и размеры.

Недостатки: из-за использования рентгеновского и гамма-излучения радиографический контроль требует строгого соблюдения правил радиационной безопасности, что влечёт за собой дополнительные расходы на оборудование и обучение персонала.

Виброакустический метод в НК основан на регистрации и анализе параметров виброакустических колебаний, возникающих при работе контролируемого объекта. Дефекты механических, электромагнитных и прочих систем, как правило, отражаются на вибрации, которая изменяет под их влиянием ряд своих параметров. Задача контроля — выявить эти дефекты и определить их расположение.

При проведении НК с использованием такого метода выполняется анализ спектра вибрации (рисунок 5). Изучение спектра позволяет выявить отклонения от нормальных режимов работы оборудования. Часто дефекты или износ приводят к появлению новых частотных компонент в сигнале, что указывает на неисправности. Также проводится оценка амплитуд и фазовых характеристик. Изменения амплитуды могут свидетельствовать о появлении дисбаланса, повреждении или износе компонентов.

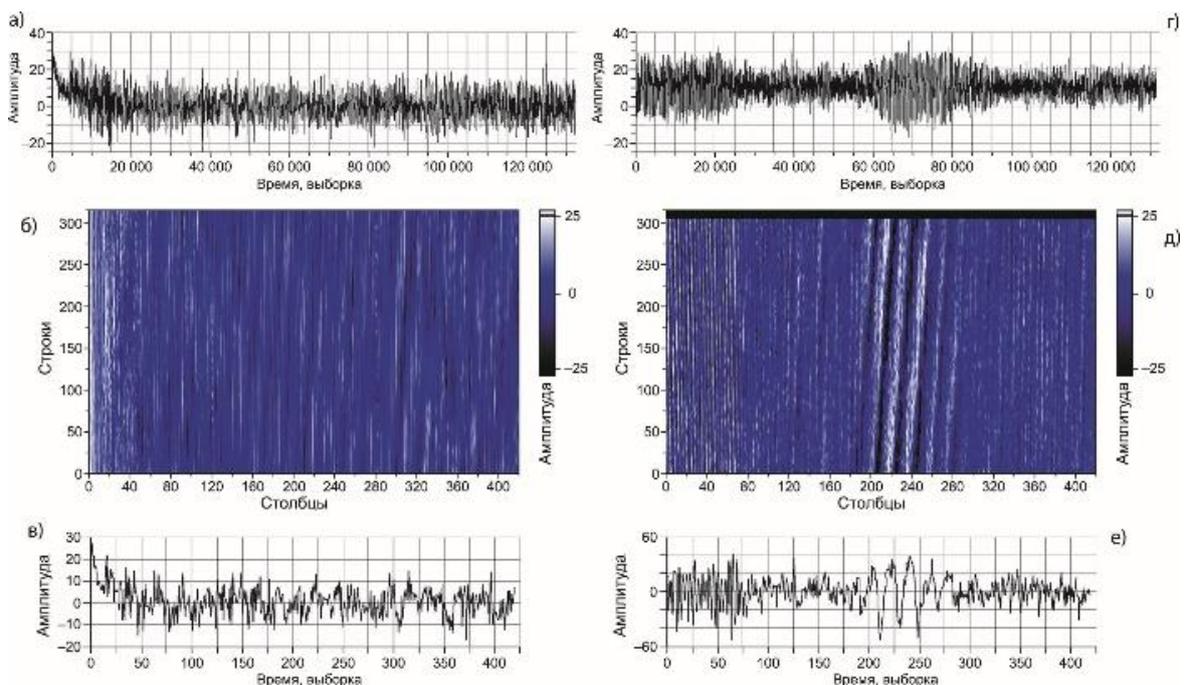


Рисунок 5 – Анализ вибросигнала электродвигателя.

Область применения: в машиностроении — диагностика работы двигателей, турбин, насосов, компрессоров и другого оборудования, подверженного износу. Метод помогает своевременно выявить неисправности, такие как износ подшипников, трещины в корпусах или дисбаланс вращающихся частей, в авиации — контроль состояния двигателей, крыльев и других важных конструктивных элементов, в энергетике — в энергетических установках (например, в газовых и паровых турбинах) виброакустическая диагностика помогает контролировать износ и повреждения важных элементов, в автомобильной промышленности — диагностика двигателей, подвески и других систем автомобилей.

Достоинства: виброакустическая диагностика не требует физического вмешательства в систему, что снижает риск повреждения объектов и упрощает процесс контроля. Высокая чувствительность — современные приборы могут регистрировать очень слабые изменения в вибрациях или акустических сигналах, что позволяет обнаруживать неисправности на самых ранних стадиях. Воз-

можность непрерывного мониторинга во время работы оборудования.

Недостатки: зависимость от условий эксплуатации — результаты диагностики могут искажаться при наличии внешних факторов, таких как шум, температура и вибрации от других источников.

Сравнительный анализ промышленных систем неразрушающего контроля показал, что несмотря на обилие различных подходов, для определения технического состояния оборудования, содержащего движущиеся компоненты, применим только виброакустический метод с использованием спектра вибросигнала. Однако такой метод показывает хорошие результаты только при диагностике оборудования, имеющего в своем составе узлы, совершающие равномерное вращение. В случае с неравномерным вращением узлов, или узлов, совершающих возвратно-поступательные движения, виброакустический метод оказывается недостаточно эффективен. Это позволяет сделать вывод о необходимости проведения исследований для поиска диагностических признаков в вибросигнале без использования его спектра.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Концевой, Ю.А. Методы контроля технологии производства полупроводниковых приборов / Ю.А. Концевой, В.Д. Кудин. - Москва: ИЛ, 2021. - 144 с.

2. Методы и методики неразрушающего контроля / Игорь Быков и Дмитрий Борейко. - М.: LAP Lambert Academic Publishing, 2015. - 204 с.

3. Методы неразрушающих испытаний. Физические основы, практические применения, перспективы развития. - М.: Мир, 2017. - 496 с.

4. ГОСТ Р 56542—2019 Контроль неразрушающий. Классификация видов и методов.