

УДК 681.5.08

Оценка подходов к обработке изображений при капиллярном контроле металлических изделий

Никитина Ольга Артемовна¹

s255040@pers.spmi.ru

Кленин Владислав Леонидович¹Котовщиков Илья Олегович²

¹ Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II,
Санкт-Петербург, Россия

² ООО «АктивТестГруп», Санкт-Петербург, Россия

Аннотация. Представлен обзор современных подходов к обработке изображений, получаемых при флуоресцентном капиллярном контроле металлических изделий, с целью автоматизации выявления поверхностных дефектов. Рассмотрены методы, основанные на классических алгоритмах обработки изображений, машинном обучении и нейросетевых архитектурах глубокого обучения. Выполнена оценка результатов зарубежных и отечественных научных групп, выявлены преимущества и ограничения различных подходов. Показано, что существующие решения остаются чувствительными к вариациям условий съемки и качеству исходных данных, что определяет необходимость дальнейшего развития автоматизированных систем анализа изображений при капиллярном контроле.

Ключевые слова: капиллярный контроль, флуоресцентный контроль, обработка изображений, машинное зрение, нейронные сети, неразрушающий контроль

Введение. Капиллярный метод неразрушающего контроля широко применяется для обнаружения поверхностных несплошностей материала благодаря высокой чувствительности и относительной простоте реализации. Использование автоматизированных систем серии КАМА позволило обеспечить высокую повторяемость проведения контроля за счет нанесения пенетранта под вакуумом методом распыления через систему форсунок. Несмотря на высокий уровень автоматизации технологического процесса, принятие решения об отбраковке изделий по-прежнему во многом зависит от опыта оператора. В связи с этим, актуальной является задача автоматизации анализа изображений, получаемых после флуоресцентного капиллярного контроля.

Целью работы является оценка подходов к обработке изображений при флуоресцентном капиллярном контроле металлических изделий для выявления их преимуществ, ограничений и перспектив применения в составе автоматизированных систем серии КАМА.

Методы и материалы; результаты. В рамках данной работы были рассмотрены результаты исследований трех независимых научных групп, представляющих различные методологические подходы к решению данной задачи.

В работах британской исследовательской группы Imperial College London рассмотрены классические алгоритмы машинного обучения, реализованные

с использованием метода Random Forest, и сверточных нейронных сетей архитектуры ResNet [1]. Полученные результаты показали преимущество архитектуры ResNet, при котором доля обнаруженных дефектов достигает 95 %, тогда как для методов машинного обучения данный показатель составляет около 76 % [2, 3]. Ограничением подхода является выраженный дисбаланс классов, обусловленный малым числом дефектных объектов контроля. Показано, что включение в обучающую выборку объектов без дефектов является необходимым условием повышения устойчивости нейросетевых моделей.

Исследования группы Shanghai Jiao Tong University направлены на разработку каскадных нейронно сетевых решений для автоматизации флуоресцентного капиллярного контроля [4]. Проведена сравнительная оценка архитектур MobileNetV2 и ResNet, которая показала, что на сбалансированном наборе данных наилучшие показатели корректной классификации достигаются при использовании MobileNetV2 (99,2 %), тогда как при работе с несбалансированной выборкой более устойчивые результаты демонстрирует архитектура ResNet (96,4 %) [5]. Ограничением данного подхода является использование неадаптивного этапа предварительного выделения областей интереса, параметры которого задаются эмпирически и зависят от условий съёмки и характеристик поверхности.

Работы исследовательской группы Рыбинского государственного авиационного технического университета им. П.А. Соловьева ориентированы на инженерную автоматизацию люминесцентного капиллярного контроля лопаток газотурбинных двигателей и основаны преимущественно на классических алгоритмах обработки изображений и геометрического анализа [6]. Нейронно сетевые методы применяются локально, в частности для сегментации загрязнений и сложных участков поверхности. [7, 8]. Ограничениями данного подхода являются использование преимущественно тестовых и искусственных образцов, а также высокая зависимость результатов от качества съёмки и стабильности условий контроля [9].

Заключение. Проведенный анализ показывает, что, несмотря на достигнутые успехи, существующие решения в области автоматизации флуоресцентного капиллярного контроля остаются чувствительными к вариациям условий освещения и качеству исходных данных. Это указывает на необходимость дальнейших исследований, направленных на разработку автоматизированных систем анализа изображений, включающих стандартизацию процессов регистрации изображений и формирование репрезентативных обучающих выборок для повышения устойчивости и надежности результатов контроля.

Список источников

- [1] Shipway N.J., Huthwaite P., Lowe M.J.S., Barden T.J. Using ResNets to perform automated defect detection for fluorescent penetrant inspection. NDT & E International, 2021, vol. 119, art. 102400. <https://doi.org/10.1016/j.ndteint.2020.102400>

- [2] Shipway N.J., Huthwaite P., Lowe M.J.S., Barden T.J. Performance based modifications of Random Forest to perform automated defect detection for fluorescent penetrant inspection. *Journal of Nondestructive Evaluation*, 2019, vol. 38, art. no. 37. <https://doi.org/10.1007/s10921-019-0574-9>
- [3] Shipway N.J., Barden T.J., Huthwaite P., Lowe M.J.S. Automated defect detection for fluorescent penetrant inspection using Random Forest. *NDT & E International*, 2019, vol. 101, pp. 26–35. <https://doi.org/10.1016/j.ndteint.2018.10.008>
- [4] Yu H., Kang M., Ding C., Liu Y., Wang J. An automated fluorescent defect detection system in precision castings by convolutional neural network. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 2023. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-3337794/v1>
- [5] Yu H., Zhang Y., Li Z., Wang J. Low cost and highly sensitive automated surface defects identification method of precision castings using deep learning. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 2024, vol. 43, art. no. 105. <https://doi.org/10.1007/s10921-024-01121-5>
- [6] Котляр Д.И., Ломанов А.Н., Корнейчук В.С., Медведев Е.Ю. Применение машинного зрения для вычисления размеров дефектов при люминесцентном проникающем контроле лопаток ГТД. *Вестник Череповецкого государственного университета*, 2022, № 1 (106), с. 31–41. <https://doi.org/10.23859/1994-0637-2022-1-106-3>
- [7] Алексеев Е.А., Ломанов А.Н. Метод поиска дефектов лопаток газотурбинного двигателя под видимым светом с использованием сети U-NET. *Вестник Самарского университета. Аэрокосмическая техника, технологии и машиностроение*, 2025, т. 24, № 1, с. 85–93. <https://doi.org/10.18287/2541-7533-2025-24-1-85-93>
- [8] Алексеев Е.А., Ломанов А.Н. Разработка методики определения расстояния между свечениями и классификация свечений при люминесцентном контроле лопаток газотурбинных двигателей. *Вестник МГТУ «Станкин»*, 2025, № 1 (72), с. 116–125.
- [9] Алексеев Е.А., Ломанов А.Н., Иванов Д.С. Методика автоматизированного анализа поверхности лопатки на наличие дефектов под УФ-светом. *Информатика, телекоммуникации и управление*, 2025, т. 18, № 1, с. 36–47. <https://doi.org/10.18721/JCSTCS.18103>