

**Фронтиры в организации и управлении производством электронных компонентов на примере выпуска конденсаторов с применением искусственного интеллекта**

**Шоев Р.Н.** (Университет ИТМО), **Петрова Т. А.** (Университет ИТМО)

**Научный руководитель: д.т.н., доцент факультета технологий искусственного интеллекта Духанов А.В.** (Университет ИТМО)

**Введение.** Современные вызовы в сфере производства электронных компонентов, требуют активного внедрения интеллектуальных технологий. Указом Президента РФ от 28 февраля 2024 года №145 "О Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации" ускоренное развитие и внедрение технологий искусственного интеллекта во всех отраслях экономики и социальной сферы обозначены как наиболее значимыми. В условиях растущего импортозамещения, перед отечественными предприятиями стоит задача повышения технологической независимости и конкурентоспособности [1]. В этом контексте, применение искусственного интеллекта в организации и управлении производством электронных компонентов, таких как многослойных керамических конденсаторов (Multilayer ceramic capacitor – MLCC), полностью соответствует национальной стратегии.

В данной работе проведен анализ существующих научных результатов в области применения интеллектуальных методов для организации и управления производством электронных компонентов, а также определены перспективы их внедрения в производство MLCC.

**Основная часть.** Многослойные керамические конденсаторы являются важными компонентами современной радиоэлектронной аппаратуры, обеспечивая высокую надежность, стабильность характеристик и компактные размеры. Благодаря своим свойствам они широко применяются практически во всех областях электроники: в телекоммуникационном оборудовании, автомобильной электронике, промышленной автоматике, медицинских приборах и аэрокосмической технике, что подчеркивает их важность в электронной промышленности [2, 3]. В последние годы наблюдается значительный рост спроса на MLCC, что связано с увеличением функциональности и миниатюризации электронных устройств [4].

Производственный процесс MLCC представляет собой сложный технологический цикл, который включает в себя несколько этапов, требующих высокой степени точности и контроля качества. Каждый из этих этапов критически важен для обеспечения надежности и долговечности конечного продукта. В условиях растущей конкуренции на рынке производители сталкиваются с необходимостью оптимизации процессов, снижения затрат и повышения качества продукции, что требует внедрения современных технологий и инновационных подходов [4].

В последнее десятилетие производство многослойных керамических конденсаторов, как и большинство сфер народного хозяйства, претерпевает значительные изменения под влиянием цифровизации. Этот процесс, обусловленный развитием информационных технологий и потребностью в повышении эффективности и качества производства, охватывает все этапы жизненного цикла изделия – от проектирования и разработки до производства, контроля качества и логистики. Обзор научных публикаций, касающихся цифровизации и автоматизации производства многослойных керамических конденсаторов демонстрирует активное развитие исследований в этой области. На основе анализа существующих научных результатов нами выделено два основных направления применений интеллектуальных методов в организации и управлении производством MLCC: *материаловедение* и *оптимизации технологических процессов*. Так, было показано, что интеллектуальные методы могут быть эффективно применены в поиске и разработке новых диэлектрических материалов с высокой диэлектрической проницаемостью [5, 6]. Наибольшие

достижения наблюдаются в области контроля качества, в частности, контроля внешнего вида и контроля толщины в реальном времени при литье керамической пленки с применением машинного зрения [7, 8].

**Выводы.** Анализ существующих исследований показал, что интеллектуальные методы активно внедряются в производство MLCC, но остаются определенные ограничения:

- Высокий уровень автоматизации контроля качества, но недостаточное применение машинного зрения для выявления скрытых дефектов;
- Использование машинного обучения для оптимизации процессов, но ограниченное распространение предсказательных моделей в прогнозировании деградации материалов;
- Применение цифровых двойников, но нехватка данных для их полноценной интеграции;
- Развитие NLP и LLM для обработки документации, но недостаточное применение этих технологий для формирования производственных заданий и анализа дефектов.

Эти ограничения указывают на необходимость дальнейших исследований в области применения интеллектуальных методов в организации и управления производственных процессов MLCC.

#### **Список использованных источников:**

1. Указ Президента Российской Федерации от 28 февраля 2024 г. № 145 "О Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации" // [Электронный ресурс]. URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/408518353/>.
2. Marati, N., Gupta, R.K., & Vaithilingam, B. (2020). Multilayer Ceramic Capacitors Crisis Management in Automotive Industry. 2020 IEEE International Conference on Power Electronics, Smart Grid and Renewable Energy (PESGRE2020), 1-6.
3. Zhang, J. (2024). The Market Trend Analysis of the MLCC Industry. Highlights in Business, Economics and Management, 30, 334-343.
4. Beak K, Choi M, Kim DH, Yu Y, Theerthagiri J, Al-Mohaimed AM, Kim Y, Jung HJ, Choi MY. Silane-treated BaTiO<sub>3</sub> ceramic powders for multilayer ceramic capacitor with enhanced dielectric properties. Chemosphere. 2022 Jan;286(Pt 2):131734.
5. Shimano, Yuho & Kutana, Alex & Asahi, Ryoji. (2023). Machine learning and atomistic origin of high dielectric permittivity in oxides. Scientific Reports. 13.
6. Riebesell, Janosh & Surta, Wesley & Goodall, Rhys & Gaultois, Michael & Lee, Alpha. (2024). Discovery of high-performance dielectric materials with machine-learning-guided search. Cell Reports Physical Science. 5.
7. Gustafson, J. L. (2017). Methods and systems to minimize delamination of multilayer ceramic capacitors.
8. He, J., Cao, X., Takamasu, K., & Chen, M. (2024). Machine Vision-Based Lightweight Multi-Scale Automatic Defect Segmentation Network for MLCC. IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, 1.