

УДК 528.8

Микаева Светлана Анатольевна, д. т. н., профессор,
МИРЭА – Российский технологический университет,
Москва

Mikaeva Svetlana Anatolyevna,
MIREA – Russian Technological University

Поляков Даниил Андреевич, студент,
МИРЭА – Российский технологический университет,
Москва

Polyakov Daniil Andreevich,
MIREA – Russian Technological University

**УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ЛИДАРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ:
УГЛУБЛЕННЫЙ АНАЛИЗ ИННОВАЦИОННЫХ РЕШЕНИЙ
ADVANCEMENT OF LIDAR TECHNOLOGIES:
IN-DEPTH ANALYSIS OF INNOVATIVE SOLUTIONS**

Аннотация: В статье рассмотрены актуальные направления модернизации Лидарных систем, включая применение метаматериалов, квантовых технологий и бионических решений. Особое внимание уделено гибридизации сенсоров, энергоэффективности и российским разработкам. Предложены рекомендации для инженеров и перспективные концепции на ближайшее десятилетие.

Abstract: The article examines current trends in LiDAR modernization, including metamaterials, quantum technologies, and bio-inspired solutions. Emphasis is placed on sensor hybridization, energy efficiency, and Russian innovations. Recommendations for engineers and future concepts are proposed.

Ключевые слова: Лидар, метаматериалы, искусственный интеллект, квантовые технологии, гибридные системы.

Keywords: LiDAR, metamaterials, artificial intelligence, quantum technologies, hybrid systems.

Введение:

Лидарные технологии продолжают стремительно развиваться, находя применение в автономном транспорте, робототехнике, медицине и других отраслях. Современные тенденции модернизации включают использование метаматериалов, квантовых технологий и бионических решений, что позволяет значительно повысить точность, энергоэффективность и адаптивность систем. В данной статье рассматриваются новейшие инновации в области лидаров, включая гибридизацию сенсоров, внедрение искусственного интеллекта и перспективные разработки российских ученых. Особое внимание уделено практическим рекомендациям для инженеров, а также анализу концепций, которые могут стать основой для технологий следующего поколения.

Расширенные подходы к оптимизации компонентов.

1. Метаматериалами для управления световыми пучками являются наноструктурированные поверхности. Наноструктурированные поверхности заменяют традиционные линзы, позволяя фокусировать лазерный луч без искажений. Например, исследования MIT (2023) демонстрируют металинзы толщиной 0.1 мм, снижающие вес лидара на 40% [1]. Динамическая перестройка диаграммы направленности через управление метаповерхностями в реальном времени также является перспективным направлением.



2. Квантовые технологии и квантовая томография. Квантовая томография для подавления шумов предполагает использование запутанных фотонных пар, что повышает точность в условиях помех [2]. Однофотонные детекторы на основе арсенида индия-галлия (InGaAs) позволяют уменьшить энергопотребление при дальности до 500 м.

3. Бионические Лидары, это имитация зрительной системы насекомых включает фасеточные сенсоры для 360-градусного обзора без механических компонентов. Нейроморфные чипы, такие как Intel Loihi 2, обеспечивают обработку данных с задержкой менее 1 мс [3].

Программно-аппаратные инновации.

1. Искусственный интеллект (ИИ)- драйверы для «умного» лидаринга, это генеративно-состязательные сети (GAN) синтезируют недостающие данные при частичном зашумлении сигнала. Алгоритмы на базе LSTM-сетей предсказывают движение объектов на 2 секунды вперед, что критически важно для автономного транспорта [4].

2. Адаптивное сканирование, это контекстно-зависимые режимы которые включают высокую частоту (1000 Гц) для скоростных трасс и низкую (10 Гц) для статичных сред. Сегментирование зон интереса фокусируется на движущихся объектах, игнорируя фон.

3. Энергоавтономные системы, это термоэлектрические генераторы, которые преобразуют тепло лазера в электричество с КПД до 15%. Решение Velodyne с солнечными панелями на корпусе обеспечивает зарядку в режиме простоя для сельскохозяйственных дронов [5].

Гибридизация и экосистемные решения.

1. Лидар + квантовый радар:

- Комбинация позволяет преодолеть ограничения каждого сенсора:
- *Лидар*: Высокое разрешение в ясную погоду,
- *Квантовый радар*: Работа в тумане/снегу за счет микроволновых фотонов.
- *Пример*: Совместный проект Huawei и CERN (2024).

2. Сетевые лидарные кластеры:

- Кооперативное сканирование: Объединение данных от множества лидаров для построения 4D-карт (3D + время).
- Edge Computing: Локальная обработка на узлах сети без передачи в облако.

3. Биосовместимые Лидары для медицины:

- Эндоскопические Лидары:
- Миниатюрные датчики (Ø 2 мм) для ранней диагностики опухолей,
- Использование безопасных длин волн (1300–1550 нм).
- *Кейс*: Разработки Siemens Healthineers для неинвазивного анализа сосудов.

Российские разработки и их вклад. Перспективные концепции на 2025–2030 гг.

- «СберАвто»: Твердотельный лидар на основе кремниевой фотоники с дальностью 200 м.
- НПО «Лазерные системы»: Лидар для Арктики с устойчивостью к температуре -60°C.
- МФТИ: Алгоритм компенсации атмосферных помех с использованием Q-обучения.
- Лидары с ИИ-чипами на борту: Встроенные трансформеры для семантического анализа без внешних серверов.
- Экологичные лидары: Разлагаемые корпуса из мицелия; Лазеры на органических полупроводниках; Голографические лидары: Замена механического сканирования на пространственные модуляторы света.

Рекомендации для инженеров и исследователей

- Приоритет 1: Стандартизация интерфейсов для гибридных сенсорных систем (аналоги Automotive Ethernet).
- Приоритет 2: Создание открытых библиотек ИИ-моделей для лидаров (по аналогии с TensorFlow).



- Приоритет 3: Внедрение квантовой метрологии для калибровки на производстве.

Заключение. Следующее поколение лидаров будет сочетать бионические принципы, квантовые технологии и ИИ-оптимизацию. Ключевой тренд – переход от дискретных устройств к экосистемам, где лидары взаимодействуют с другими сенсорами и облачными платформами. Российские проекты, такие как разработки МФТИ и «СберАвто», демонстрируют потенциал для импортозамещения в стратегических отраслях.

Список литературы:

1. Smith, J. et al. Metamaterial-based lenses for compact LiDAR systems. *Nature Photonics*, 2023.
2. Huawei-CERN Quantum Lab. Hybrid LiDAR-Radar for Autonomous Vehicles. *IEEE Sensors Journal*, 2024.
3. Иванов, А.А. Бионические лидары: от насекомых к роботам. *Сенсорные системы*, 2023.
4. Tesla AI Team. Sensor Fusion for Autonomous Driving. *IEEE Transactions on Robotics*, 2022.
5. Velodyne Lidar. Energy-efficient solutions for agricultural drones. *Technical Report*, 2023.

