

разные диапазоны. Это позволяет заранее настраивать лазер на работу с заданными линиями и избежать применения подвижных элементов резонатора, ухудшающих точность настройки на линию. Возможность синхронизации световых импульсов зондирующего лазера с фотоприемниками приемного блока также значительно облегчает последующую обработку сигналов.

**Заключение.** Таким образом, предложена схема получения в ТЕА лазерной системе генерации в заданной последовательности импульсов в диапазонах 1,1–3,5 и 9,2–10,8 мкм за счет использования комбинированного резонатора с поляризационным и спектральным разделением линий генерации. Генерация в двух диапазонах осуществляется на молекулах инертных газов и

CO<sub>2</sub>. Такая система может найти применение в газоанализаторах, работающих по дифференциальному методу (применение «on-» и «off-» линий для каждого измеряемого газа), где требуется попарная одновременная генерация в нескольких спектральных диапазонах.

#### Литература

1. Шавель, С. С. ТЕА лазер, генерирующий в нескольких спектральных диапазонах / С. С. Шавель [и др.] // Журнал прикладной спектроскопии. – 2023. – Т. 90, № 6. – С. 835–842.

2. Кунцевич, Б. Ф. Полевой механизм одновременной генерации на нескольких переходах в ТЕА CO<sub>2</sub>-лазерах / Б. Ф. Кунцевич [и др.] // Квантовая электроника. – 1993. – Т. 20, № 6. – С. 559–566.

УДК 535; 004.032.26

### ПРИМЕНЕНИЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СОВРЕМЕННЫХ ОПТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Шанчук В. А., Артюхина Н. К., Чергейко С. В.

*Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь*

**Аннотация.** В работе представлен обзор основных задач, в рамках которых является целесообразным применять алгоритмы на основе нейронных сетей. Кратко описаны основные особенности работы алгоритмов, а также перспективы их применения для проектирования современных оптических систем.

**Ключевые слова:** нейронные сети, искусственный интеллект, оптическая система, проектирование.

### APPLICATION OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE TO MODERN OPTICAL SYSTEMS DESIGN

Shanchuk V. A., Artiukhina N. K., Charheika S. V.

*Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus*

**Abstract.** This paper provides an overview of the main tasks in which it is advisable to apply algorithms based on neural networks. The basic features of the algorithms are briefly described, as well as the prospects for their application for the modern optical systems design.

**Keywords:** neural networks, artificial intelligence, optical system, design.

*Адрес для переписки: Шанчук В. А., ул. Макаенка 25, г. Минск, 220114, Республика Беларусь  
e-mail: vdmisacnewera@gmail.com*

**Введение.** Проектирование оптических систем – сложный итерационный процесс, требующий глубоких знаний в различных областях оптики и значительных временных, а также вычислительных затрат. С развитием оптических приборов появилась необходимость создания компактных, высокопроизводительных и специализированных оптических систем, что побуждает находить и развивать новые методы проектирования оптических систем на основе искусственного интеллекта (ИИ). Различные методы и виды машинного обучения и глубоких нейронных сетей открывают новые возможности для ускорения разработки и оптимизации различных оптических приборов и компонентов.

**Области применения ИИ.** На сегодняшний день основным направлением является применение ИИ для оптимизации параметров различных видов оптических систем. Традиционные методы проектирования часто требуют сложных итерационных вычислений, тогда как алгоритмы ИИ могут быстро анализировать большие объемы

данных и находить оптимальные решения. Например, нейронные сети успешно применяются для моделирования голографических элементов и метаповерхностей [1].

Одно из ключевых развивающихся направлений – использование машинного обучения для автоматического проектирования оптических линз. ИИ позволяет автоматизировать процесс выбора геометрии и параметров линзы, сокращая временные затраты и снижая количество проводимых итерационных вычислений. Также нейронные сети могут использоваться для быстрого синтеза базовых оптических систем, которые являются хорошей основой для последующей их оптимизации в специализированном программном обеспечении и доведения до состояния рабочего варианта системы, удовлетворяющего предъявляемым к нему требованиям [2].

Также нейронные сети начинают применять в тех случаях, когда инженеру-оптику необходимо выбрать ряд материалов, которые будут использоваться для расчета оптической системы

с определенными требованиями, которые могут ограничивать использование определенных видов материалов. Алгоритмы на основе нейронных сетей могут быстро осуществлять поиск по большим базам данных и предлагать наиболее оптимальные материалы для оптических компонентов [3].

В настоящее время нейронные сети также применяются для быстрого анализа чувствительности оптических систем к ошибкам изготовления и сборки, а также к ошибкам, возникающим вследствие воздействия внешних сил. Обычно анализ допусков включает последовательное изменение ряда параметров (радиусы кривизны, наклоны оптических элементов вокруг произвольных осей, осевые расстояния и т.д.) и проведение моделирования, что требует больших вычислительных и временных затрат. Машинное обучение позволяет выявить взаимосвязь между изменением определенных параметров и снижением производительности, позволяя практически мгновенно оценивать допуски. Это позволяет инженерам-оптикам быстро определить, какие допуски являются критичными, а какие – допустимыми. Анализ допусков на основе ИИ также может учитывать множество источников ошибок одновременно, давая более целостную картину надежности системы, чем ручные методы вычислений и анализа [4].

Таблица 1 – Основные типы нейронных сетей

| Тип нейронной сети              | Краткое описание алгоритма работы                                                                                           | Область применения                                                                |
|---------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|
| Оптические нейронные сети (ONN) | Физическая реализация нейронной сети, в которой для вычислений используются фотоны вместо электронов                        | Проектирование сложных оптических элементов (сверхширокополосные фильтры и т. п.) |
| Многослойные перцептроны (MLP)  | Преобразование набора входных данных в выходные данные с нужными параметрами путем аппроксимации сложных нелинейных функций | Проектирование метаповерхностей, волноводов, линз, оптических фильтров            |
| Сверточные нейронные сети (CNN) | Автоматическое и иерархическое извлечение признаков из данных с сеточной структурой                                         | Цифровая голография, обработка оптических изображений                             |

Нейронные сети могут применяться для построения суррогатных моделей. Суррогатная модель – быстрое и понятное приближение к физическому моделированию. Обучаясь на данных моделирования оптических систем, нейронные сети могут прогнозировать их производительность (например, пятна рассеяния, коэффициенты

отражения поверхностей и т. д.) гораздо быстрее, чем при трассировке лучей или расчетах с использованием волновой оптики. Это позволяет оценивать оптические характеристики различных моделей оптических систем с минимальными трудозатратами, значительно ускоряя процесс проектирования. Таким образом, суррогатное моделирование позволяет инженерам-оптикам оценивать допуски и оптимизировать параметры в несколько раз быстрее, чем при использовании классических методов [5].

Также стоит упомянуть использование нейронных сетей для проектирования оптических систем, содержащих компоненты из нелинейных оптических материалов [6].

**Типы нейронных сетей.** Основные типы нейронных сетей, которые могут применяться для проектирования оптических систем, приведены в таблице 1.

Несмотря на стремительное развитие алгоритмов на основе нейронных сетей, существует ряд ограничений и вызовов, которые еще предстоит решить. Например, оптические нейронные сети (ONN) достаточно сложно обучать и калибровать из-за технологической сложности системы. Многослойные перцептроны (MLP), как программные модели, имеют высокое энергопотребление и их скорость ограничена тактовой частотой процессора, а также величиной памяти. Сверточные нейронные сети (CNN), как программные модели, имеют низкое быстродействие. Однако, алгоритмы на основе нейронных сетей постоянно совершенствуются и существует большая вероятность того, что в ближайшем будущем большинство недостатков будет устранено или их влияние будет сведено к минимуму.

**Заключение.** Существующие на сегодняшний день типы нейронных сетей и алгоритмы на их основе позволяют инженерам-оптикам проектировать широкий ряд оптических систем, обладающих высокой производительностью, с высокой скоростью и минимальными трудозатратами.

#### Литература

1. Duan, B. Deep Learning for Photonic Design and Analysis: Principles and Applications / B. Duan [et al.] // *Frontiers in Materials*. – 2021. – Vol. 8. – Art. 791296.
2. Yow, A. P. Artificial intelligence in optical lens design / A. P. Yow [et al.] // *Artificial Intelligence Review*. – 2024. – Vol. 57. – Art. 193.
3. AI Optical System Design // Yenra: [сайт]. – URL: <https://yenra.com/ai20/optical-system-design> (date of access: 20.09.2025).
4. Shi, H. Deep Learning for Polarization Optical System Automated Design / H. Shi [et al.] // *Photonics*. – 2024. – Vol. 11, № 2. – Art. 164.
5. Design of Planar Multilayer Devices for Optical Filtering Using Surrogate Model Based on Artificial Neural Network / D. F. Rêgo [et al.] // *Optics*. – 2024. – Vol. 5, № 1. – P. 121–132.
6. Mondal, S. Machine learning guided discovery of Non-Linear Optical materials / S. Mondal, R. Hammad // *ChemRxiv*. – 2024. – URL: <https://doi.org/10.26434/chemrxiv-2024-k4rsz> (date of access: 20.09.2025).