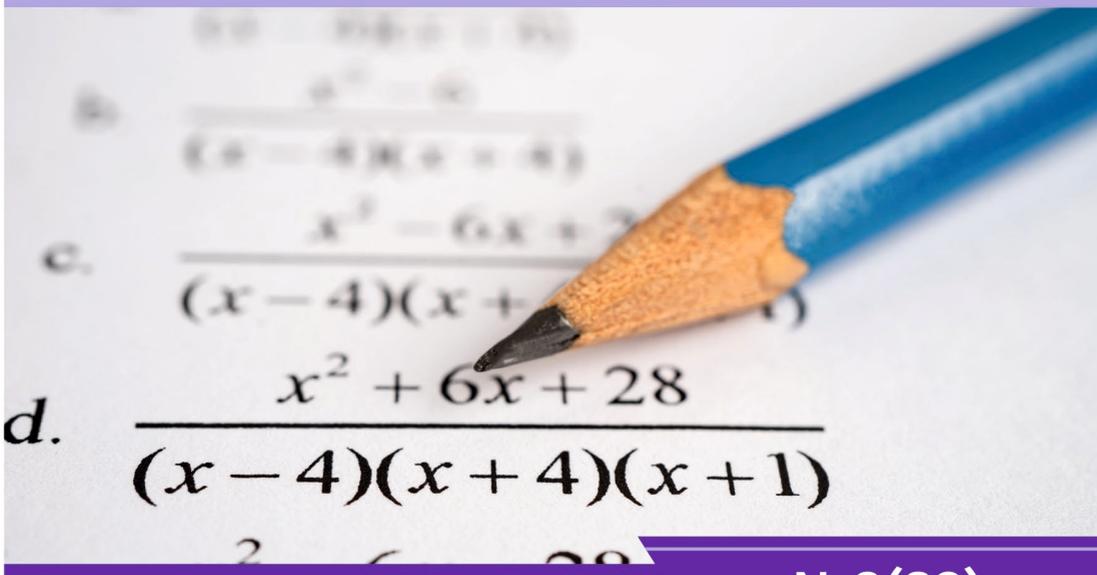




НАУЧНЫЙ
ФОРУМ
nauchforum.ru

ISSN: 2541-8394



№9(89)

**НАУЧНЫЙ ФОРУМ:
ТЕХНИЧЕСКИЕ И ФИЗИКО-
МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ**

МОСКВА, 2025



НАУЧНЫЙ ФОРУМ: ТЕХНИЧЕСКИЕ И ФИЗИКО- МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ

*Сборник статей по материалам LXXXIX международной
научно-практической конференции*

№ 9(89)
Октябрь 2025 г.

Издается с декабря 2016 года

Москва
2025

УДК 51/53+62

ББК 22+3

Н34

Председатель редакционной коллегии:

Лебедева Надежда Анатольевна – доктор философии в области культурологии, профессор философии Международной кадровой академии, член Евразийской Академии Телевидения и Радио.

Редакционная коллегия:

Мартышкин Алексей Иванович – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры «Вычислительные машины и системы» Пензенского государственного технологического университета;

Немирова Любовь Федоровна – канд. техн. наук, доц. кафедры конструирования и технологии изделий легкой промышленности, ГБОУ ВПО «Омский государственный технический университет», ООО «МИНСП»;

Старченко Ирина Борисовна – д-р техн. наук, профессор, эксперт РАН, зам. директора по учебно-научной работе, Политехнический институт (филиал) ДГТУ в г. Таганроге;

Усманов Хайрулла Сайдуллаевич – д-р техн. наук, доцент, Ташкентский институт текстильной и легкой промышленности, Республика Узбекистан, г. Ташкент.

Н34 Научный форум: Технические и физико-математические науки: сб. ст. по материалам LXXXIX междунар. науч.-практ. конф. – № 9(89). – М.: Изд. «МЦНО», 2025. – 28 с.

ISSN 2541-8394

Статьи, принятые к публикации, размещаются на сайте научной электронной библиотеки eLIBRARY.RU.

ББК 22+3

ISSN 2541-8394

© «МЦНО», 2025

Оглавление

Технические науки 4

Раздел 1. Технические науки 4

1.1. Авиационная и ракетнокосмическая техника 4

ЭВОЛЮЦИЯ ПОЛЕТА: СРАВНЕНИЕ СИСТЕМ
АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ БПЛА 4

Коваленко Александр Григорьевич

Григоров Никита Анатольевич

Бондарь Богдан Павлович

1.2. Информатика, вычислительная техника и управление 10

УМНАЯ ОПТИКА: КАК НЕЙРОСЕТИ
РЕВОЛЮЦИОНИЗИРУЮТ РАБОТУ ОПТИЧЕСКИХ
ГОЛОВОК 10

Коваленко Александр Григорьевич

Ташенов Руслан Рашидович

Григоров Никита Анатольевич

Зайцев Илья Вячеславович

Физико-математические науки 16

Раздел 2. Физика 16

2.1. Оптика 16

НЕЙРОСЕТИ В ОПТИКЕ: РЕВОЛЮЦИЯ В
НАВЕДЕНИИ И СТАБИЛИЗАЦИИ ОТ КОСМОСА
ДО АТМОСФЕРЫ 16

Коваленко Александр Григорьевич

Ташенов Руслан Рашидович

Григоров Никита Анатольевич

Зайцев Илья Вячеславович

ИНФРАКРАСНЫЕ ОПТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ СВЯЗИ:
НАДЁЖНЫЙ МОСТ МЕЖДУ НЕПОДВИЖНЫМИ
ОБЪЕКТАМИ 22

Ясенков Тимофей Викторович

Коваленко Александр Григорьевич

Григоров Никита Анатольевич

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

РАЗДЕЛ 1.

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

1.1. АВИАЦИОННАЯ И РАКЕТНОКОСМИЧЕСКАЯ ТЕХНИКА

ЭВОЛЮЦИЯ ПОЛЕТА: СРАВНЕНИЕ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ БПЛА

Коваленко Александр Григорьевич

*канд. техн. наук, преподаватель,
Военная академия воздушно-
космической обороны
имени маршала советского
союза Г.К. Жукова,
РФ, г. Тверь*

Григорев Никита Анатольевич

*курсант,
Военная академия воздушно-
космической обороны
имени маршала советского
союза Г.К. Жукова,
РФ, г. Тверь*

Бондарь Богдан Павлович

*курсант,
Военная академия воздушно-космической
обороны имени маршала советского
союза Г.К. Жукова,
РФ, г. Тверь*

INTELLIGENT ALGORITHMS FOR UAVS: A NEW FRONTIER IN AUTONOMOUS FLIGHT EFFICIENCY

Alexander Kovalenko

*University teacher,
Candidate of Technical Sciences,
Military Academy of Aerospace Defense named
after Marshal of the Soviet Union G.K. Zhukov,
Russia, Tver*

Nikita Grigorov

*Cadet,
Military Academy of Aerospace
Defense named after
Marshal of the Soviet Union G.K. Zhukov,
Russia, Tver*

Bogdan Bondar

*Cadet, Military Academy of Aerospace
Defense named after Marshal
of the Soviet Union G.K. Zhukov,
Russia, Tver*

Аннотация. В этой статье проводится комплексный анализ и сравнение современных систем автоматического управления (САУ) беспилотными летательными аппаратами. Рассмотрены три ключевые архитектуры: классические ПИД-регуляторы, адаптивные нейросетевые системы и сложные иерархические модели. Читатель узнает о принципах работы каждой из них, их преимуществах и недостатках, а также о типичных областях применения. Материал поможет понять эволюцию автономности БПЛА – от базовой стабилизации до полноценного искусственного интеллекта, принимающего стратегические решения.

Abstract. This article provides a comprehensive analysis and comparison of modern automatic control systems (ACS) for unmanned aerial vehicles. It explores three key architectures: classical PID controllers, adaptive neural network systems, and complex hierarchical models. The reader will learn about the principles of each architecture, their advantages and disadvantages, and their typical applications. This article helps to understand the evolution of UAV autonomy, from basic stabilization to full-fledged artificial intelligence capable of making strategic decisions.

Ключевые слова: беспилотные летательные аппараты, алгоритм, система автоматического управления, надёжность, ПИД-регуляторы.

Keywords: unmanned aerial vehicles, algorithm, automatic control system, reliability, PID-controllers.

Беспилотные летательные аппараты (БПЛА) прошли путь от простых радиоуправляемых моделей до сложных автономных систем. Сердцем любого современного дрона является система автоматического управления (САУ), которая определяет его интеллект, надёжность и способность выполнять задачи. В этой статье мы сравним основные архитектуры САУ, их преимущества, недостатки и области применения.

Зачем нужна автоматизация?

Прежде чем перейти к сравнению, важно понять задачи САУ:

- **Стабилизация:** Поддержание заданного положения, высоты и курса, несмотря на внешние возмущения (ветер, турбулентность).
- **Навигация:** Следование по заранее заданному маршруту (миссии) с использованием данных GPS, ГЛОНАСС и других sensors.
- **Управление полетом:** Выполнение специфических задач: взлет, посадка, зависание, облет препятствий.
- **Самодиагностика:** Контроль состояния систем и, в критических ситуациях, выполнение аварийных процедур (например, возврат домой).

Ключевые архитектуры систем автоматического управления

Условно все САУ можно разделить на три основные категории по степени автономности и сложности.

1. ПИД-регуляторы (Пропорционально-Интегрально-Дифференциальные)

Это классическая и наиболее распространенная архитектура, основанная на работе с ошибкой – разницей между текущим и заданным состоянием аппарата.

Принцип работы:

Пропорциональная составляющая (P): Реагирует на текущую величину ошибки. Чем больше ошибка, тем сильнее реакция.

Интегральная составляющая (I): Накопляет прошлые ошибки, чтобы устранить постоянное смещение (статическую ошибку).

Дифференциальная составляющая (D): Предсказывает будущее поведение ошибки, учитывая ее скорость изменения, что добавляет системе "предусмотрительности" и демпфирования.

Преимущества

Простота и отработанность: Алгоритм хорошо изучен, легко реализуется даже на маломощных контроллерах.

Предсказуемость: Поведение системы легко настраивается и прогнозируется для стандартных условий.

Высокая производительность: Для многих стандартных задач (полет по маршруту, зависание) обеспечивает точное и быстрое управление.

Недостатки

Низкая адаптивность: Настройки ПИД-регулятора оптимальны для конкретной модели и условий. При резком изменении массы, аэродинамики или сильном ветре эффективность может drastically снизиться.

Неспособность к сложному поведению: Система не "понимает" среду, не может самостоятельно строить сложные маршруты или обходить неожиданные препятствия.

Область применения: Подавляющее большинство коммерческих и любительских дронов (ДЛ, самодельные коптеры), где полет происходит в предсказуемых условиях.

2. Нейросетевые и адаптивные системы управления

Эти системы используют машинное обучение для создания моделей управления, которые могут адаптироваться к изменяющимся условиям и нелинейным объектам.

Принцип работы: Нейронная сеть обучается на больших массивах данных о поведении БПЛА в различных ситуациях. В процессе полета она может распознавать сложные паттерны и подстраивать параметры управления в реальном времени.

Преимущества

Высокая адаптивность: Система может компенсировать повреждения (например, потерю пропеллера), сильные порывы ветра, изменения массы.

Независимость от точной модели: Не требует создания сложной математической модели аппарата, обучаясь на данных.

Сложное поведение: Позволяет реализовать такие функции, как автономный облет препятствий в динамичной среде, посадка на движущуюся платформу.

Недостатки

"Черный ящик": Сложно понять и предсказать, почему система приняла то или иное решение в критической ситуации.

Требовательность к ресурсам: Обучение и работа требуют значительных вычислительных мощностей.

Сложность верификации: Гарантировать 100% безопасность и надежность нейросетевой системы крайне трудоемко.

Область применения: Перспективные разработки для военных БПЛА, автономные гоночные дроны, сложные исследовательские миссии.

3. Иерархические (гибридные) системы управления

Это наиболее продвинутый подход, который комбинирует несколько уровней управления, разделяя ответственность между ними.

Принцип работы: Система делится на три основных уровня:

Нижний уровень (реактивный): Быстрые ПИД-регуляторы, отвечающие за непосредственную стабилизацию и управление моторами. Работает на высоких частотах.

Средний уровень (тактический): Отвечает за навигацию, следование по точкам, выполнение простых маневров. Использует данные с GPS и IMU (инерциальных измерительных модулей).

Верхний уровень (стратегический): Система искусственного интеллекта, которая занимается планированием миссии, принятием решений, распознаванием образов и обходом сложных препятствий. Может использовать нейросети.

Преимущества

Универсальность и гибкость: Каждый уровень оптимизирован под свою задачу.

Надежность: Отказ системы высокого уровня не всегда приводит к падению аппарата – нижние уровни могут стабилизировать его и выполнить аварийную посадку.

Масштабируемость: Уровни можно развивать и модернизировать относительно независимо.

Недостатки

Высокая сложность проектирования: Требуется глубокой интеграции программного и аппаратного обеспечения.

Стоимость: Реализация такой системы дорога и трудоемка.

Область применения: Сложные автономные робототехнические комплексы: беспилотные такси (eVTOL), БПЛА для доставки грузов в городе, марсианские вертолеты (как Ingenuity). Выбор системы автоматического управления для БПЛА – это всегда компромисс между стоимостью, сложностью, надежностью и требуемым уровнем автономности. [1] ПИД-регуляторы остаются "рабочей лошадкой" индустрии, идеально подходя для

задач, где среда предсказуема, а стоимость является ключевым фактором. Нейросетевые системы – это прорывная технология для экстремальных и динамичных условий, где традиционные методы не справляются. Иерархические системы представляют собой будущее автономных полетов, объединяя надежность классических методов с интеллектом AI для выполнения самых сложных миссий в реальном мире. Эволюция САУ движется в сторону гибридных моделей, где быстрые и надежные контуры нижнего уровня будут служить основой для все более интеллектуальных и самостоятельных систем верхнего уровня, открывая новые горизонты для применения БПЛА.

Список литературы:

1. Randal W. Beard, Timothy W. McLain. "Small Unmanned Aircraft: Theory and Practice".
2. Steven M. LaValle. "Planning Algorithms".
3. Kevin M. Lynch, Frank C. Park. "Modern Robotics: Mechanics, Planning, and Control".

1.2. ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

УМНАЯ ОПТИКА: КАК НЕЙРОСЕТИ РЕВОЛЮЦИОНИЗИРУЮТ РАБОТУ ОПТИЧЕСКИХ ГОЛОВОК

Коваленко Александр Григорьевич

*канд. техн. наук, преподаватель,
Военная академия воздушно-космической
обороны имени маршала советского
союза Г.К. Жукова,
РФ, г. Тверь*

Ташенов Руслан Рашидович

*курсант,
Военная академия воздушно-космической
обороны имени маршала советского
союза Г.К. Жукова,
РФ, г. Тверь*

Григоров Никита Анатольевич

*курсант,
Военная академия воздушно-космической
обороны имени маршала советского
союза Г.К. Жукова,
РФ, г. Тверь*

Зайцев Илья Вячеславович

*курсант,
Военная академия воздушно-космической
обороны имени маршала советского
союза Г.К. Жукова,
РФ, г. Тверь*

INTELLIGENT OPTICS: HOW NEURAL NETWORKS ARE REVOLUTIONIZING THE WAY OPTICAL HEADS WORK.

Alexander Kovalenko

*Candidate of Technical Sciences,
University teacher,
Military Academy of Aerospace Defense named
after Marshal of the Soviet Union G.K. Zhukov,
Russia, Tver*

Ruslan Tashenov

*Cadet,
Military Academy of Aerospace Defense named
after Marshal of the Soviet Union G.K. Zhukov,
Russia, Tver*

Nikita Grigorov

*Cadet,
Military Academy of Aerospace Defense
named after Marshal of the Soviet Union G.K. Zhukov,
Russia, Tver*

Ilya Zaitsev

*Cadet,
Military Academy of Aerospace Defense
named after Marshal of the Soviet Union G.K. Zhukov,
Russia, Tver*

Аннотация. Статья посвящена инновационному применению искусственных нейронных сетей в оптических головках накопителей. Рассматриваются ключевые проблемы традиционных систем: дефекты носителей, вибрации и физические ограничения. Показано, как нейросети решают эти задачи, обеспечивая интеллектуальную фокусировку, подавление шумов, коррекцию ошибок и предиктивную диагностику. Делается вывод о переходе от механики к адаптивным системам, что открывает новые перспективы для надежного хранения данных.

Abstract. The article focuses on the innovative application of artificial neural networks in optical heads of storage devices. It addresses the key challenges of traditional systems, such as media defects, vibrations, and physical limitations. The article demonstrates how ANNs can solve these problems by providing intelligent focusing, noise suppression, error correction, and predictive diagnostics.

The article concludes by highlighting the transition from mechanical systems to adaptive systems, which opens up new possibilities for reliable data storage.

Ключевые слова: нейронные сети, искусственный интеллект, оптические головки, накопители, перспективы.

Keywords: neural networks, artificial intelligence, optical heads, storage devices, and prospects.

Оптические накопители, от компакт-дисков до Blu-ray, долгое время были символом цифровой эры. Сердцем любого такого привода является оптическая головка – сложное устройство, состоящее из лазера, линз, сервоприводов и фотодетекторов. Её задача – с ювелирной точностью считывать или записывать информацию с микроскопических питов (углублений) на поверхности диска. Традиционно эта работа управлялась специализированными аналоговыми и цифровыми схемами. Однако сегодня на сцену выходит новый игрок – искусственный интеллект, способный кардинально повысить точность, скорость и надёжность этого процесса.



Рисунок 1. Вызовы, которые не под силу классическим системам

Прежде чем говорить о решениях, нужно понять проблемы, с которыми сталкивается обычная оптическая головка:

1. Дефекты носителя: Царапины, пыль, отпечатки пальцев. Они искажают лазерный луч, вызывая ошибки чтения.

2. Термический шум и вибрации: При записи, особенно на высоких скоростях, лазер нагревает материал диска, что может привести к неидеальной форме питов. Вибрации от двигателя или внешней среды сбивают фокусировку.

3. Несовершенство трекинга: Следящий сервопривод должен удерживать луч точно в центре дорожки. Любое отклонение (эксцентриситет диска, биение) ведёт к потере данных.

4. Физические ограничения: При переходе к более плотным форматам хранения (например, Blu-ray и далее) допуски становятся нанометровыми. Здесь любая, даже самая малая погрешность, критична.

Классические системы обратной связи, основанные на заданных алгоритмах, часто не успевают адаптироваться к быстро меняющимся неидеальным условиям.

Нейросети на страже данных: ключевые применения

Искусственные нейронные сети (ИНС), особенно их современные архитектуры, идеально подходят для решения этих задач благодаря своей способности обучаться на данных, выявлять сложные, неочевидные закономерности и работать в режиме реального времени.

1. Интеллектуальная фокусировка и трекинг:

Самая важная задача – удержание лазерного пятна в фокусе и на дорожке. Нейросеть может анализировать сигнал с фотодетектора не по жёстким правилам, а учитывая контекст.

Как это работает? На вход нейросети (например, сверточной – CNN) подаётся многомерный сигнал с матрицы фотодетекторов. На этапе обучения её "кормят" тысячами примеров: "вот сигнал при идеальном фокусе", "вот при расфокусе +100 нм", "вот при -150 нм", "вот когда луч смещён влево от дорожки" и так далее.

Результат: Нейросеть обучается не просто вычислять ошибку, а предсказывать её тенденцию. Она может компенсировать вибрации упреждающе, а не реактивно. Это похоже на опытного водителя, который чувствует занос машины раньше, чем электронный стабилизатор, и плавно его парирует.

2. Подавление шумов и коррекция ошибок "на лету":

Даже современные алгоритмы коррекции ошибок (например, Reed-Solomon) могут не справляться с массивированными помехами от крупных царапин.

Как это работает? Рекуррентные нейросети (RNN) или сети с вниманием (Attention), которые эффективно работают с последовательностями, анализируют поток считанных данных.

Результат: Нейросеть, обученная на огромных массивах данных с дефектами, учится "достраивать" потерянные биты по контексту. Она не просто пытается исправить ошибку математически, а "понимает", какой сигнал должен был быть на этом участке, основываясь на предыдущих и последующих данных. Это значительно повышает вероятность успешного чтения повреждённых носителей.

3. Интеллектуальная запись и управление мощностью лазера:

Каждый тип диска и даже каждая партия может иметь slightly different отражающие свойства. Температура окружающей среды также влияет на процесс записи.

Как это работает? Нейросеть в режиме реального времени анализирует форму импульса отражённого сигнала во время записи и динамически подстраивает мощность лазера.

Результат: Это гарантирует, что биты будут записываться идеальной формы и глубины, что минимизирует уровень ошибок при последующем чтении и увеличивает долговечность записи.

4. Диагностика и прогнозирование отказов:

Оптическая головка – это механическое устройство с ограниченным ресурсом (например, лазерный диод со временем деградирует). [1]

Как это работает? Нейросеть может постоянно мониторить рабочие параметры: ток лазера, скорость отклика сервоприводов, уровень сигнала. Накопив исторические данные, ИИ может обнаружить аномалии, указывающие на износ конкретного компонента.

Результат: Пользователь или сервисный инженер получает уведомление: "Лазерный диод деградирует, рекомендуем замену через 3 месяца". Это переход от реактивного обслуживания к предиктивному.

Использование нейронных сетей в оптических головках знаменует переход от "тупой" механики к интеллектуальной, адаптивной системе. Это уже не просто считывание нулей и единиц, а сложный процесс интерпретации сигнала в условиях неопределённости. Нейросети позволяют выжать из технологии максимум, преодолев физические ограничения, которые ранее считались непреодолимыми. [3] В конечном счёте, это ведёт к созданию более надёжных, быстрых и долговечных систем хранения данных, что особенно важно в эпоху, когда объёмы цифровой информации продолжают расти экспоненциально.

Список литературы:

1. Апенко М.И., Дубовик А.С. "Прикладная оптика".
2. Букин Г.В., Громов В.А. "Устройства записи и воспроизведения информации".
3. Хайкин С. "Нейронные сети: полный курс".

ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ

РАЗДЕЛ 2.

ФИЗИКА

2.1. ОПТИКА

НЕЙРОСЕТИ В ОПТИКЕ: РЕВОЛЮЦИЯ В НАВЕДЕНИИ И СТАБИЛИЗАЦИИ ОТ КОСМОСА ДО АТМОСФЕРЫ

Коваленко Александр Григорьевич

*преподаватель,
канд. техн. наук,
Военная академия воздушно-космической
обороны имени маршала советского
союза Г.К. Жукова,
РФ, г. Тверь*

Ташенов Руслан Рашидович

*курсант,
Военная академия воздушно-космической
обороны имени маршала советского
союза Г.К. Жукова,
РФ, г. Тверь*

Григоров Никита Анатольевич

*курсант,
Военная академия воздушно-космической
обороны имени маршала советского
союза Г.К. Жукова,
РФ, г. Тверь*

Зайцев Илья Вячеславович

курсант,
Военная академия воздушно-космической
обороны имени маршала советского
союза Г.К. Жукова,
РФ, г. Тверь

**NEURAL NETWORKS IN OPTICS: REVOLUTIONIZING
TARGETING AND STABILIZATION FROM SPACE TO THE
ATMOSPHERE**

Alexander Kovalenko

University teacher,
Candidate of Technical Sciences,
Military Academy of Aerospace Defense
named after Marshal of the Soviet
Union G.K. Zhukov,
Russia, Tver

Ruslan Tashenov

Cadet,
Military Academy of Aerospace Defense
named after Marshal of the Soviet
Union G.K. Zhukov,
Russia, Tver

Nikita Grigorov

Cadet,
Military Academy of Aerospace Defense
named after Marshal of the Soviet
Union G.K. Zhukov,
Russia, Tver

Ilya Zaitsev

Cadet,
Military Academy of Aerospace Defense
named after Marshal of the Soviet
Union G.K. Zhukov,
Russia, Tver

Аннотация. Статья посвящена применению искусственных нейронных сетей (ИНС) для решения критических задач точного наведения и стабилизации в оптических системах. Рассматриваются вызовы, характерные для космического и атмосферного пространства: микровибрации, турбулентность и динамические цели. Показано, как нейросети, благодаря способности к прогнозированию и адаптации, преодолевают ограничения классических систем управления. Описаны конкретные применения технологии в адаптивной оптике телескопов, лазерной связи и стабилизации изображения, раскрывающие её ключевые преимущества в скорости, точности и робастности.

Abstract. The article focuses on the application of artificial neural networks (ANNs) to solve critical problems of precise guidance and stabilization in optical systems. It addresses the challenges specific to space and atmospheric environments, such as micro-vibrations, turbulence, and dynamic targets. The article demonstrates how ANNs, with their ability to predict and adapt, can overcome the limitations of traditional control systems. It also explores specific applications of ANNs in adaptive optics for telescopes, laser communication, and image stabilization, highlighting their key advantages in terms of speed, accuracy, and robustness.

Ключевые слова: нейронные сети, искусственный интеллект, оптические головки, будущее, перспективы.

Keywords: neural networks, artificial intelligence, optical heads, the future, and prospects.

В области точной оптики, будь то космические телескопы, лазерные системы связи или системы наблюдения, две задачи остаются критически важными: точное наведение и стабилизация луча или изображения. Традиционные системы управления, основанные на классических алгоритмах, часто сталкиваются с ограничениями при работе в условиях динамических помех, вибраций и атмосферных искажений. На помощь приходят искусственные нейронные сети (ИНС), открывая новую эру интеллектуальной адаптивной оптики и прецизионного управления.



Рисунок 1. Иллюстрация

В космосе:

- Микровибрации космических аппаратов: Гироскопы, двигатели ориентации и разворачивающиеся механизмы создают низкочастотные колебания, которые сказываются на качестве изображения телескопов и точности лазерной коммуникации.
- Термоупругие деформации: Перепады температур вызывают микроскопические, но значимые для оптики изменения геометрии конструкций.
- Требования к точности: Для задач вроде лазерной связи между спутниками (например, проекта Starlink) или с Землёй угловая точность наведения должна исчисляться микроградусами.

В атмосфере:

- Атмосферная турбулентность: Неоднородности температуры и давления воздуха вызывают флуктуации показателя преломления, ведущие к дрожанию и размытию изображения ("марево").
- Ветровые нагрузки и вибрации платформы: Для наземных телескопов или систем, установленных на летательных аппаратах и дронах.
- Динамические цели: Следование за быстро движущимся объектом (спутником, самолётом) требует предсказания его траектории.

Классические системы с фиксированными параметрами часто не успевают адаптироваться к таким быстро меняющимся нелинейным по-
мехам.

Как нейросети решают эти задачи?

Нейросети, особенно рекуррентные (RNN, LSTM) и сверточные (CNN), обладают ключевыми преимуществами:

- Непрерывная адаптация и прогнозирование. ИНС могут обучаться на лету, анализируя в реальном времени данные с датчиков (гироскопов, акселерометров) и самой оптической системы (камеры волнового фронта). Они предсказывают будущее состояние помехи и компенсируют её с упреждением, а не реагируют на уже случившееся искажение.

- Работа с нелинейными искажениями. Атмосферная турбулентность и сложные вибрации – это по своей природе нелинейные процессы. Нейросети исключительно хорошо справляются с аппроксимацией нелинейных зависимостей, где классические линейные контроллеры (например, PID) достигают своего потолка.

- Прямое управление без сложных вычислений. В адаптивной оптике традиционно требуется сложное и ресурсоёмкое вычисление волнового фронта и последующее управление деформируемым зеркалом. Нейросеть может, минуя промежуточные вычисления, напрямую по данным с сенсора выдавать управляющие сигналы на исполнительные механизмы, значительно ускоряя весь процесс.

Конкретные применения:

1. Атмосферная адаптивная оптика для наземных телескопов.

- Задача: Компенсация атмосферных искажений в реальном времени

для получения четких изображений звёзд и планет.

- Решение: CNN анализирует "пятно" искажённого света от опорной звезды на камере волнового фронта. Нейросеть, обученная на огромных наборах данных по турбулентности, мгновенно определяет параметры искажений и формирует управляющий сигнал для деформируемого зеркала. Это позволяет обойтись без более медленных математических реконструкций волнового фронта.

2. Лазерная связь "спутник-спутник" и "спутник-Земля".

Задача: Удержать узкий лазерный луч на приемной апертуре другого спутника, движущегося с относительной скоростью в тысячи км/ч, или на наземной станции, "смотря" сквозь турбулентную атмосферу.

- Решение: Система использует гироскопы и быстрые камеры слежения. Нейросеть (часто LSTM, способная запоминать предыдущие состояния) анализирует историю вибраций и движения цели, прогнозируя её положение на несколько миллисекунд вперёд. Это позволяет

системе наведения постоянно "опережать" цель, компенсируя задержки в механической системе и распространении сигнала.

3. Стабилизация изображения в аэрокосмических системах.

Задача: Получить четкое изображение с борта беспилотника, самолета или низкоорбитального спутника, несмотря на вибрации платформы.

• Решение: Здесь нейросеть работает в паре с системой быстрых зеркал или жидких линз. На основе данных акселерометров и самого изображения ИНС учится отличать полезный сигнал (движение цели) от вредного (дрожание камеры) и компенсирует именно дрожание, стабилизируя картинку. Это цифровая и оптическая стабилизация нового поколения.

4. Межобъектная связь в атмосфере (например, дрон-дрон или база-дрон).

• Задача: Обеспечить устойчивый лазерный канал связи между двумя подвижными объектами в турбулентной атмосфере.

• Решение: Комбинированная система. Нейросеть отвечает как за грубое наведение по данным GPS и инерциальной навигации, так и за точное слежение и стабилизацию луча, используя информацию с приемного модуля о мощности принятого сигнала для обратной связи и тонкой подстройки.

Ключевые преимущества нейрооптики:

- Скорость: Сокращение задержки в контуре управления.
- Точность: Снижение ошибки наведения до теоретического предела.
- Робастность: Устойчивость к изменяющимся условиям и шумам.
- Энергоэффективность: Оптимизированное управление приводит к меньшим затратам энергии исполнительными механизмами.

Использование нейросетей в оптических системах наведения и стабилизации – это не просто эволюция, а настоящая революция. [3] Они превращают пассивные оптические системы в интеллектуальные, самообучающиеся и адаптивные комплексы, способные "прогнать под себя" сложнейшие условия как в вакууме космоса, так и в турбулентной атмосфере. Это открывает дорогу для новых технологий – от сверхчетких космических телескопов, ищущих новые земли, до глобальных сетей лазерной связи, которые станут основой будущего интернета.

Список литературы:

1. Апенко М.И., Дубовик А.С. "Прикладная оптика".
2. Букин Г.В., Громов В.А. "Устройства записи и воспроизведения информации".
3. Хайкин С. "Нейронные сети: полный курс".

ИНФРАКРАСНЫЕ ОПТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ СВЯЗИ: НАДЁЖНЫЙ МОСТ МЕЖДУ НЕПОДВИЖНЫМИ ОБЪЕКТАМИ

Ясенков Тимофей Викторович

*доцент,
канд. техн. наук,
Военная академия воздушно-космической
обороны имени маршала советского
союза Г.К. Жукова,
РФ, г. Тверь*

Коваленко Александр Григорьевич

*доцент,
канд. техн. наук,
Военная академия воздушно-космической
обороны имени маршала советского
союза Г.К. Жукова,
РФ, г. Тверь*

Григоров Никита Анатольевич

*курсант,
Военная академия воздушно-космической
обороны имени маршала советского
союза Г.К. Жукова,
РФ, г. Тверь*

INFRARED OPTICAL COMMUNICATION SYSTEMS: A RELIABLE BRIDGE BETWEEN STATIONARY OBJECTS

Timofey Yassenkov

*Docent,
Candidate of Technical Sciences,
Military Academy of Aerospace Defense named
after Marshal of the Soviet Union G.K. Zhukov,
Russia, Tver*

Alexander Kovalenko

*Docent,
Candidate of Technical Sciences,
Military Academy of Aerospace Defense named
after Marshal of the Soviet Union G.K. Zhukov,
Russia, Tver*

Nikita Grigorov

*Cadet,
Military Academy of Aerospace Defense
named after Marshal of the Soviet Union G.K. Zhukov,
Russia, Tver*

Аннотация. Статья посвящена разработке интеллектуальных алгоритмов автоматического управления для беспилотных воздушных судов (БВС). Рассматривается переход от простого следования по маршруту к комплексным системам, включающим модули восприятия среды, адаптивного планирования траектории и координации в группе. Особое внимание уделяется практическим выгодам внедрения таких алгоритмов: повышению операционной эффективности, снижению затрат и увеличению безопасности. Также обозначены ключевые вызовы, такие как вычислительная сложность и нормативное регулирование.

Abstract. The article focuses on the development of intelligent automatic control algorithms for unmanned aerial vehicles (UAVs). It explores the transition from simple route following to complex systems that include modules for environment perception, adaptive trajectory planning, and group coordination. The article emphasizes the practical benefits of implementing such algorithms, including improved operational efficiency, reduced costs, and enhanced safety. It also highlights key challenges, such as computational complexity and regulatory considerations.

Ключевые слова: инфракрасные системы, оптические системы, модуль, диапазон, применение.

Keywords: infrared systems, optical systems, module, range, application.

Во время повсеместного использования радиоволн и Wi-Fi инфракрасные (ИК) оптические системы связи могут показаться анахронизмом. Однако у этой технологии есть ниша, где она демонстрирует непревзойдённые преимущества – организация высокоскоростной и защищённой связи между двумя неподвижными объектами.

Что такое ИК оптическая связь?

Инфракрасная оптическая связь – это метод передачи информации с помощью электромагнитного излучения инфракрасного диапазона (длины волн от 780 нм до 1 мм). [2] В основе системы лежит принцип модуляции интенсивности света: электрический сигнал данных преобразуется в последовательность световых импульсов, которые передаются через пространство и затем детектируются приёмником, преобразуясь обратно в электрический сигнал.



Рисунок 1. Инфракрасная оптическая связь

Ключевые компоненты системы

Для организации канала связи между двумя стационарными точками (например, двумя зданиями, стационарным постом и центром обработки данных, разными помещениями в одном здании) необходимы:

- Передающий модуль (Трансмиттер):

Источник ИК-излучения: Светоизлучающий диод (LED) или лазерный диод (LD). Лазерные диоды обеспечивают более узкий луч, большую дальность и скорость, но требуют более точного наведения.

Модулятор: Преобразует цифровой сигнал в изменения интенсивности светового потока.

Оптическая система (объектив): Формирует и коллимирует (создаёт параллельный пучок) световой поток для минимизации рассеивания.

- Приёмный модуль (Ресивер):

Оптическая система (объектив): Собирает проходящее ИК-излучение и фокусирует его на фотодетектор.

Фотодетектор: Фотодиод или лавинный фотодиод (APD), который преобразует световые импульсы обратно в электрический ток.

Демодулятор: Извлекает из электрического сигнала исходные цифровые данные.

- Система точного наведения и удержания (для систем дальней связи): Так как объекты неподвижны, основная задача – первоначальная юстировка и компенсация незначительных колебаний (например, из-за ветра или термического расширения конструкций).

Преимущества ИК-связи для стационарных объектов.

- Высокая безопасность и защищённость от прослушивания:

ИК-луч является узконаправленным и не проникает через стены. Перехватить сигнал, не находясь непосредственно на линии его распространения, практически невозможно. Это делает технологию идеальной для передачи конфиденциальных данных между зданиями в пределах прямой видимости.

- Отсутствие электромагнитных помех и лицензирования:

ИК-связь не создаёт помех радиооборудованию и сама не подвержена им. Это критически важно для установки в научных лабораториях, медицинских учреждениях или на промышленных объектах с «шумным» электромагнитным фоном. Для использования ИК-диапазона не требуется получать государственную лицензию, в отличие от многих радиодиапазонов.

- Высокая пропускная способность:

Оптические системы способны поддерживать скорости передачи данных от сотен мегабит до нескольких гигабит в секунду, что сопоставимо с оптоволоконными каналами.

- Быстрота развёртывания и низкая стоимость:

По сравнению с прокладкой оптоволоконного кабеля между зданиями, установка ИК-системы занимает часы, а не дни, и требует значительно меньших капиталовложений.

Ограничения и challenges (проблемы)

1. Обязательное условие прямой видимости (Line-of-Sight). Любое препятствие (птица, падающий лист, строительный кран) нарушит связь.

2. Влияние атмосферных условий. Сильный туман, дождь, снегопад или смог могут значительно ослабить сигнал или полностью прервать соединение из-за рассеивания света на частицах воды и пыли.

3. Требовательность к точности настройки. Для обеспечения стабильного канала необходима точная юстировка приёмопередающих модулей, которая может нарушаться со временем из-за микродвигов в конструкциях зданий.

Области применения

- Связь между зданиями в пределах кампуса: Объединение сетей офисных центров, университетов, больниц без прокладки кабеля.

- Резервные каналы связи: Используются как дублирующий канал для радиосвязи или оптоволоконна.

- Защищённые правительственные и военные коммуникации: Для передачи данных, требующих максимального уровня конфиденциальности.

- Промышленная автоматизация: Связь между неподвижными роботизированными комплексами и системой управления.

- Преодоление физических барьеров: Организация связи через улицу, железнодорожные пути или реки, где прокладка кабеля невозможна или экономически нецелесообразна.

Инфракрасные оптические системы связи для неподвижных объектов – это не устаревшая технология, а высокоэффективное и специализированное решение. Оно идеально подходит для задач, где на первый план выходят безопасность данных, высокая скорость, отсутствие помех и необходимость быстрого развёртывания. Несмотря на зависимость от погодных условий и необходимость прямой видимости, их уникальные преимущества обеспечивают им прочные позиции в арсенале современных телекоммуникационных решений.

Список литературы:

1. Гроднев И.И., Верник А.Л. "Оптические системы передачи, приема и обработки информации".
2. Скляр О.К. "Атмосферные оптические системы связи".
3. Kevin M. Lynch, Frank C. Park. "Modern Robotics: Mechanics, Planning, and Control".

ДЛЯ ЗАМЕТОК

**НАУЧНЫЙ ФОРУМ:
ТЕХНИЧЕСКИЕ И ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ**

*Сборник статей по материалам LXXXIX международной
научно-практической конференции*

№ 9(89)
Октябрь 2025 г.

В авторской редакции

Подписано в печать 06.10.25. Формат бумаги 60x84/16.
Бумага офсет №1. Гарнитура Times. Печать цифровая.
Усл. печ. л. 1,75. Тираж 550 экз.

Издательство «МЦНО»
123098, г. Москва, ул. Маршала Василевского, дом 5, корпус 1, к. 74
E-mail: tech@nauchforum.ru

Отпечатано в полном соответствии с качеством предоставленного
оригинал-макета в типографии «Allprint»
630004, г. Новосибирск, Вокзальная магистраль, 1



**НАУЧНЫЙ
ФОРУМ**
nauchforum.ru