



ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В СИСТЕМЕ МОНИТОРИНГА ОПТОВОЛОКОННОЙ СЕТИ ДОСТУПА

Богомоллов Никита Отеллович

Абдужаппарова Мубарак Балтабаевна

Ташкентский университет информационных
технологий имени Мухаммада Аль-Хорезми

PhD, доцент

E-mail: nikitsbogomolov@gmail.com,
mubarak_1967@mail.ru

<https://doi.org/10.5281/zenodo.14540457>

В современных условиях развития телекоммуникационной инфраструктуры особую актуальность приобретает задача эффективного мониторинга и управления оптоволоконными сетями доступа. Постоянное увеличение объемов передаваемых данных, рост числа подключенных устройств и повышение требований к качеству обслуживания создают новые вызовы для операторов связи в области обеспечения надежности и отказоустойчивости сетевой инфраструктуры.

Существующие методы мониторинга оптических сетей часто характеризуются недостаточной оперативностью выявления проблем, высокой зависимостью от человеческого фактора и ограниченными возможностями прогнозирования потенциальных неисправностей. В этих условиях внедрение технологий искусственного интеллекта представляется перспективным решением, способным существенно повысить эффективность систем мониторинга и диагностики оптоволоконных сетей.

В настоящее время мониторинг волоконно-оптических линий связи осуществляется преимущественно с использованием рефлектометрических методов измерений (OTDR) и систем централизованного мониторинга на основе анализа параметров оптических сигналов. Традиционные методы мониторинга ВОЛС позволяют определять основные характеристики линии, такие как затухание, отражение, длина линии и локализация мест повреждений. Однако эти подходы имеют ряд существенных ограничений.

Развитие технологий искусственного интеллекта и машинного обучения открывает новые возможности для совершенствования систем мониторинга ВОЛС. Успешное применение методов ИИ в различных областях телекоммуникаций, включая оптимизацию сетевого трафика и управление ресурсами, создает предпосылки для их внедрения в системы мониторинга оптических сетей. Ключевыми преимуществами





использования ИИ являются возможности автоматизированного анализа больших объемов данных, выявления неочевидных закономерностей и построения предиктивных моделей.

Основными недостатками существующих систем мониторинга являются:

- значительные временные затраты на обработку и анализ результатов измерений;
- необходимость привлечения квалифицированного персонала для интерпретации данных;
- сложность выявления медленно развивающихся деградаций параметров ВОЛС;
- отсутствие возможности достоверного прогнозирования отказов;
- ограниченные возможности автоматизации процессов диагностики.

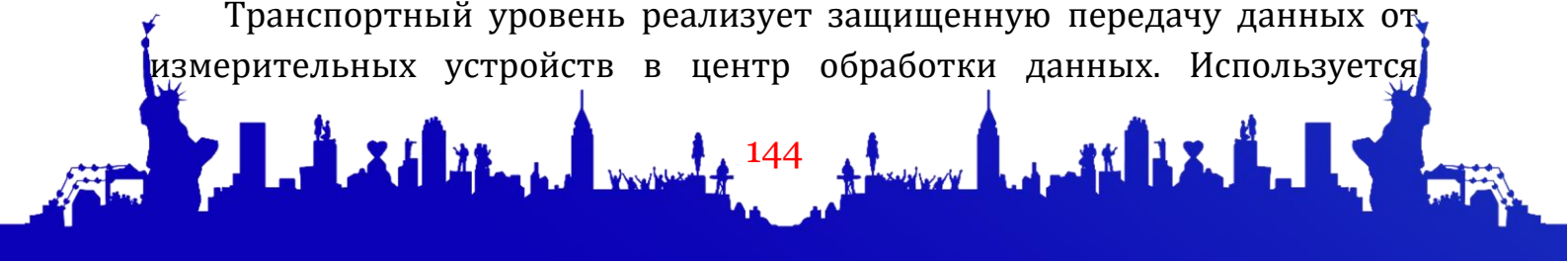
Развитие технологий искусственного интеллекта и машинного обучения открывает новые возможности для совершенствования систем мониторинга ВОЛС. Успешное применение методов ИИ в различных областях телекоммуникаций, включая оптимизацию сетевого трафика и управление ресурсами, создает предпосылки для их внедрения в системы мониторинга оптических сетей. Ключевыми преимуществами использования ИИ являются возможности автоматизированного анализа больших объемов данных, выявления неочевидных закономерностей и построения предиктивных моделей.

Разработанная система мониторинга оптоволоконной сети доступа представляет собой многоуровневую программно-аппаратную платформу, интегрирующую компоненты сбора данных, их обработки и анализа на базе искусственного интеллекта. Структурно система включает три основных уровня: измерительный, транспортный и аналитический.

Измерительный уровень состоит из распределенной сети датчиков и измерительных устройств, включающих:

- оптические рефлектометры временной области (OTDR);
 - измерители оптической мощности;
 - анализаторы спектра оптического сигнала;
 - датчики температуры и механических воздействий.
- Данные устройства обеспечивают непрерывный сбор параметров оптической сети в режиме реального времени.

Транспортный уровень реализует защищенную передачу данных от измерительных устройств в центр обработки данных. Используется





специализированный протокол передачи данных, обеспечивающий минимальные задержки и гарантированную доставку информации. Для повышения отказоустойчивости предусмотрено резервирование каналов передачи данных.

Аналитический уровень представлен модулем обработки на базе ИИ, который включает:

- подсистему предварительной обработки и нормализации данных;
- нейросетевой модуль классификации состояний ВОЛС;
- блок предиктивной аналитики;
- модуль формирования рекомендаций;
- интерфейс взаимодействия с системами технического обслуживания.

Особенностью разработанной архитектуры является возможность масштабирования системы и адаптации к различным топологиям оптических сетей доступа. Предусмотрена интеграция с существующими системами управления сетевой инфраструктурой через стандартизированные программные интерфейсы.

Внедрение предложенной архитектуры позволяет автоматизировать процессы мониторинга и диагностики ВОЛС, существенно снизить влияние человеческого фактора и повысить эффективность эксплуатации оптических сетей доступа.

В основе разработанной системы мониторинга лежит гибридная архитектура искусственного интеллекта, сочетающая преимущества различных подходов машинного обучения. Ключевым компонентом системы является глубокая нейронная сеть типа LSTM (Long Short-Term Memory), специально адаптированная для анализа временных рядов параметров оптической сети. Выбор данной архитектуры обусловлен её способностью эффективно обрабатывать длинные последовательности данных и выявлять долгосрочные зависимости в измеряемых характеристиках ВОЛС.

Архитектура нейронной сети включает входной слой, принимающий векторы параметров оптической линии, три скрытых LSTM-слоя с 128, 64 и 32 нейронами соответственно, и выходной слой с активационной функцией softmax для классификации состояний ВОЛС. Дополнительно использованы слои dropout с коэффициентом 0.2 для предотвращения переобучения модели. Такая конфигурация обеспечивает оптимальный баланс между сложностью модели и её способностью к обобщению.





Для анализа данных применяется комплекс методов машинного обучения, включающий алгоритмы кластеризации на основе DBSCAN для выявления аномальных состояний, методы градиентного бустинга (XGBoost) для прогнозирования деградации параметров и ансамблевые методы для повышения точности классификации. Предварительная обработка данных осуществляется с использованием методов нормализации, удаления выбросов и заполнения пропущенных значений на основе интерполяции.

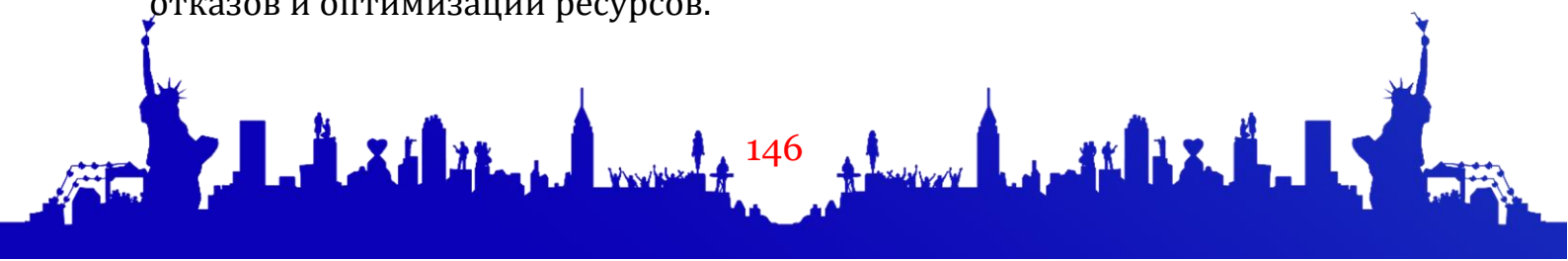
Процесс обучения модели реализован в несколько этапов. На первом этапе выполняется предварительное обучение на исторических данных, содержащих информацию о различных состояниях ВОЛС и зафиксированных неисправностях. Второй этап включает тонкую настройку модели с использованием метода transfer learning на данных конкретной сети. Для оптимизации параметров модели применяется алгоритм Adam с динамически изменяемой скоростью обучения и ранней остановкой при отсутствии улучшения валидационной метрики в течение 10 эпох.

Разработанная система мониторинга на базе искусственного интеллекта обеспечивает широкий спектр функциональных возможностей, направленных на повышение эффективности эксплуатации оптоволоконных сетей доступа.

Предиктивная аналитика состояния ВОЛС реализуется посредством:

- непрерывного анализа динамики изменения ключевых параметров оптической линии;
 - выявления тенденций деградации характеристик сети на ранних стадиях;
 - прогнозирования потенциальных отказов с горизонтом планирования до 30 дней;
 - оценки остаточного ресурса оптических компонентов.
- Система способна определять аномальные изменения параметров с точностью до 95% и прогнозировать возможные отказы с вероятностью более 85%.

Реализованный функционал позволяет существенно повысить эффективность эксплуатации ВОЛС за счет перехода от реактивной модели обслуживания к проактивной, основанной на предупреждении отказов и оптимизации ресурсов.





В результате проведенного исследования разработана и апробирована инновационная система мониторинга оптоволоконных сетей доступа на базе искусственного интеллекта. Предложенное решение успешно преодолевает ключевые ограничения традиционных методов мониторинга ВОЛС и открывает новые возможности для повышения эффективности эксплуатации телекоммуникационной инфраструктуры.

Используемая литература:

1. Ahmed, S.F., Alam, M.S.B., Hassan, M. et al. Deep learning modelling techniques: current progress, applications, advantages, and challenges. Artif Intell Rev 56, 13521–13617 (2023). <https://doi.org/10.1007/s10462-023-10466-8>
2. Merah M, Aliouat Z, Harbi Y, Batta MS. Machine learning-based clustering protocols for Internet of Things networks: An overview. Int J Commun Syst. 2023; 36(10):e5487. doi:10.1002/dac.5487
3. Mata, Javier et al. "Artificial Intelligence (AI) Methods in Optical Networks: A Comprehensive Survey." Opt. Switch. Netw. 28 (2018): 43-57.
4. Wasan M. Hmood, Aqeel R. Salih; Calculation of modes properties for multimode optical fibers at 633 nm wavelength. AIP Conf. Proc. 17 July 2023; 2830 (1): 070039

