

«М.А.Гендельманның 110 жылдығына арналған «Сейфуллин оқулары–19» халықаралық ғылыми-практикалық конференциясының материалдары = Материалы международной научно-практической конференции «Сейфуллинские чтения – 19», посвященной 110-летию М.А. Гендельмана». - 2023.- Т.І, Ч. V.- С. 13-17.

УДК 621.315.2

## **ОБЗОР МЕТОДОВ ИДЕНТИФИКАЦИИ ПОВРЕЖДЕНИЙ ПРОТЯЖЕННЫХ КОНСТРУКЦИЙ С ПОМОЩЬЮ ВОЛОКОННООПТИЧЕСКИХ ЛИНИЙ НА ОСНОВЕ Ф-ОТDR**

*Мехтиев А.Д., ассоц. профессор  
Кириченко Л.Н., докторант 1 курса  
Казамбаев И.М., докторант 1 курса*

*Казахский агротехнический исследовательский университет им. С.Сейфуллина,  
г. Астана*

Разрушения протяженных конструкций таких как мосты, дамбы, силовые кабели, является серьезной проблемой, которая может привести к трагическим последствиям [1,2]. Причинами подобных разрушений могут являться как природные явления, такие как оползни, так и нарушения при проектировке и строительстве конструкций [3,4]. Поэтому важна своевременная идентификация трещин и повреждений таких конструкций, которая может предотвратить серьезные аварии на начальном этапе. Трудность вызывает то, что осмотры на целостность конструкций и проверки дефектоскопии проводятся периодически согласно стандартам и правилам, либо лишь в случае обнаружения видимых трещин. Особую сложность вызывают скрытые части конструкций, которые недоступны периодическому осмотру и использованию методов дефектоскопии. Альтернативным методом непрерывного мониторинга повреждений протяженных конструкций является использование волоконнооптических линий. Оптическое волокно закладывается в конструкцию на этапе строительства, поэтому установить подобную систему в уже построенное сооружение не представляется возможным. Конструктивно оптическое волокно представлено на рисунке 1. Преимуществом использования оптического волокна является возможность построения распределенной системы мониторинга, способной идентифицировать повреждение и передавать информацию на большие расстояния.

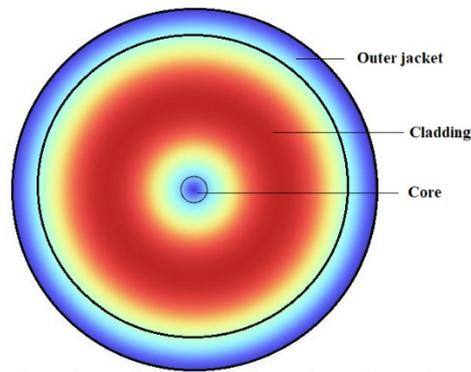


Рисунок 1 – Конструкция оптического волокна

В системах мониторинга применяют различные методы и подходы для идентификации повреждений протяженных конструкций с помощью оптоволокон. Наиболее популярным инструментом является использование фазочувствительного оптического рефлектометра (ф-OTDR). Данный метод основан на измерении отражения зондирующих сигналов вследствие Релеевского рассеяния и Френелевского отражения, которые посылает ф-OTDR по линии оптического волокна. В [5] предложена многопараметрическая система мониторинга силового кабеля основным инструментом является ф-OTDR. Основным недостатком подобных систем является чувствительность к помехам и шумам. Поэтому для исключения или уменьшения влияния помех на корректность работы, увеличения точности применяют искусственный интеллект. В [5] авторами статья для уменьшения искажений сигналов и увеличения точности помимо многопараметрической системы мониторинга силового кабеля разработана платформа анализа данных, основанная на Data Mining. На рисунке 2 показана конструкция платформы дистанционного мониторинга оптического кабеля.

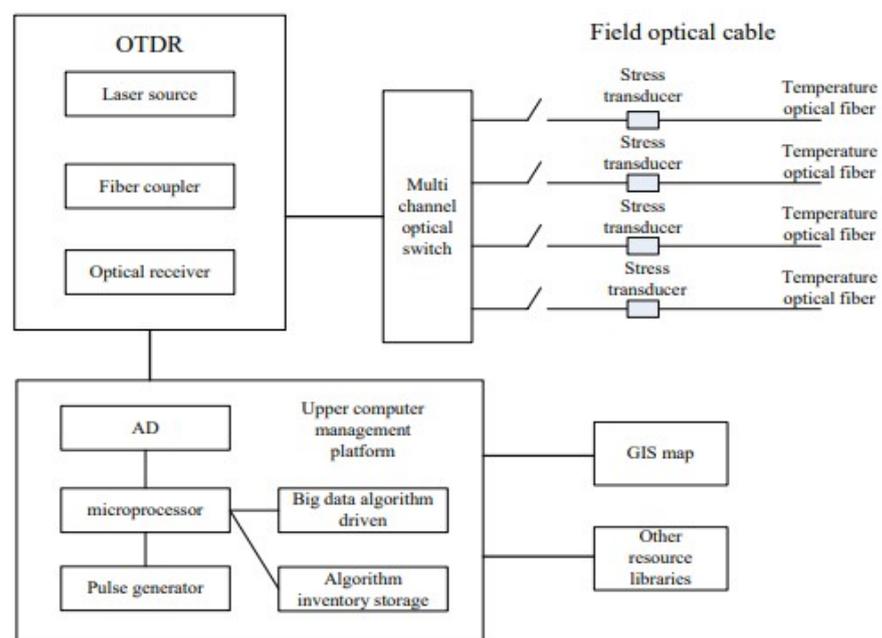


Рисунок 2 - Конструкция платформы дистанционного мониторинга оптического кабеля

Данная система позволяет параллельно отбирать многоканальные параметры состояния с несколькими параметрами. Большие данные, хороший инструмент аналитики и в системах инженерных системах мониторинга чаще используется как составляющая машинного обучения, которая позволяет нейросетям обучаться. Поэтому более популярным направлением применения искусственного интеллекта в системах идентификации повреждений в протяженных объектах, является использование машинное и глубокое обучения.

В [6] разработана система мониторинга с применением разностного сигнала фазочувствительной рефлектометрии и систем глубокого обучения. На рисунке 3 представлена конструкция данной схемы. Основным отличием данной системы является применение оптического усилителя EDFA и фильтра для уменьшения помех и шумов. Это является как плюсом, так и недостатком системы, т.к. усложняет ее структуру.

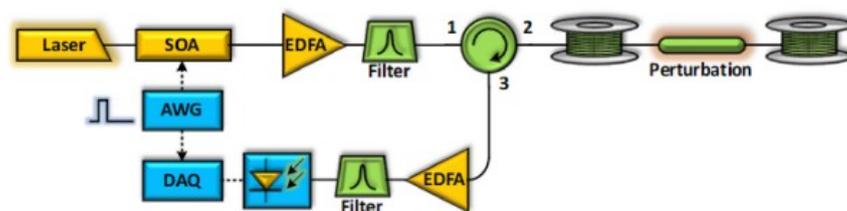


Рисунок 3 – Конструкция системы мониторинга с применением глубокого обучения

В статье [7] предложена система идентификации на основе ф-OTDR. Данная система использует метод временного разделения и определения сигнала для повышения эффективности его обнаружения в средах с повышенным зашумлением. Для анализа полученных сигналов используется метод многомасштабной вейвлет-декомпозиции. На рисунке 4 представлена экспериментальная установка

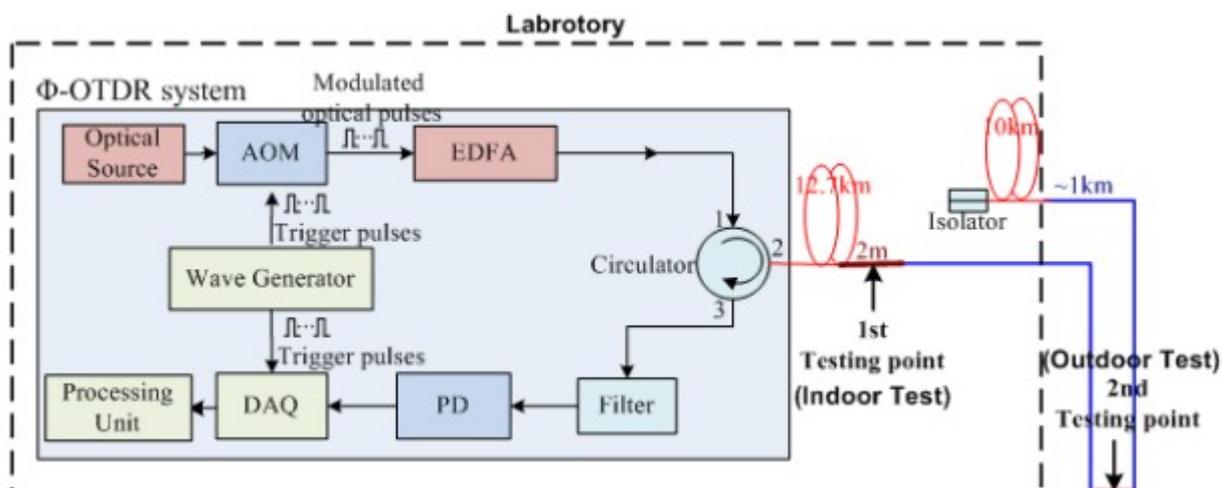


Рисунок 4 – Экспериментальная установка

В качестве интеллектуальной части системы используется искусственная нейронная сеть (ANN) и алгоритм ВР. Результаты проведенных экспериментальных испытаний: Identification Rate (IR) - 89.19%, Probability of Detection (PD) - 86.15%, and Nuisance Alarm Rate (NAR) - 1.75%. Применение данной нейронной сети эффективно, но показывает более низкие результаты точности в сравнении с подобными системами, которые используют CNN нейронные сети [8].

При проектировании систем идентификации технического состояния протяженных объектов также возможно использовать сразу несколько методов и подходов, поскольку это позволяет усилить систему и компенсировать недостатки одного из методов.

В [9] использовали ф-OTDR систему и решетками Брегга. Решетки Брегга также являются одним из популярных направлений при разработке подобных систем идентификации. Такая комбинированная система позволяет более точно определять место повреждения, уменьшать шумы и помехи в виде механических и температурных перенапряжений. На рисунке 5 показана экспериментальная установка, которая состоит из акустооптических модуляторов (AOM1, AOM2), фотодетектора (PD), обработка осуществляется специальными системами сбора данных и их дальнейшей обработки (DAQ) и (Data Processing), специальные решетки Брэгга (UWFBG1) – (UWFBGn), устройства циркуляции (Cir) света, которое позволяет добиться поляризации сигнала, и источник импульсов (PG). Использование решеток Брэгга усложняют конструкцию, но позволяют повысить точность определения местоположения повреждения.

В настоящее время получили широкое распространение системы мониторинга и идентификации повреждений протяженных конструкций, которые используют в качестве основного устройства ф-OTDR. Такие системы подвержены помехам и шумам, поэтому комбинируются с другими устройствами, например, решетки Брегга и интерферометры. Но более

высокую точность идентификации имеют системы, которые используют интеллектуальную составляющую, а именно нейронные сети.

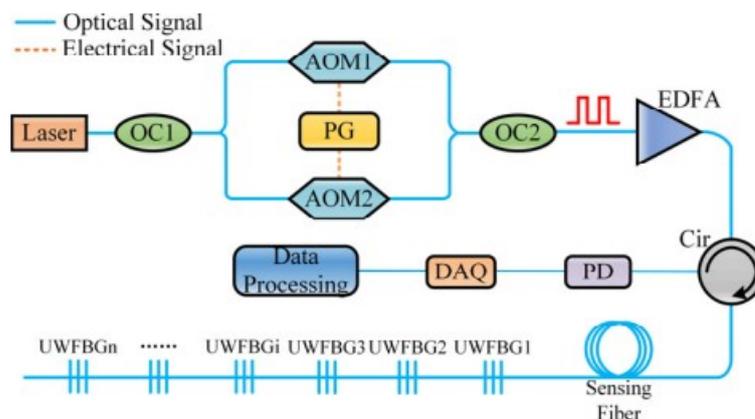


Рисунок 5 – Экспериментальная установка [9]

#### Список литературы

- 1 Tayeh, B.A., Durdyev, S., Abuzuhri, I.O., Hosseini, M.R. and Thurnell, D. Contractors' attitudes towards the factors affecting sustainability performance. Evidence from Palestine [Text] / Business Strategy & Development, 2021. -Vol. 2.-№. 3. -P. 173-179.
- 2 Леденев, В.В., Однолько, В.Г. Анализ причин аварий зданий и пути повышения их надежности. [Текст]/ Вестник Тамбовского государственного технического университета. -2012. -Vol. 18. -No.2. -P. 449-457.
- 3 Бербеков, Ж. В. Неразрушающие методы контроля прочности бетона [Текст]/ Молодой ученый. -2012. -No.11. -P. 20-23.
- 4 Mekhtiyev, A.D., Yurchenko, A.V., Neshina, Y.G., Alkina, A.D., Kozhas, A.K., Zholmagambetov, S.R. Nondestructive Testing for Defects and Damage to Structures in Reinforced Concrete Foundations Using Standard G.652 Optical Fibers [Text] / Russian Journal of Nondestructive Testing, Yekaterinburg: Pleiades Publishing Ltd., -2020 -Vol.56.-№ 7.-P. 179–190. DOI:10.1134/S1061830920020072
- 5 Xiaofan, W., Shilun, Z., Lipeng, Z., Liang, C., Jianbing, L. Design and implementation of power cable monitoring platform based on Data Mining [Text] / Proceedings - 2020 International Conference on Intelligent Computing, Automation and Systems, ICICAS, -2020. -№ 9402800.-P.467-470. DOI: 10.1109/ICICAS51530.2020.00102
- 6 M. Adeel et al. Impact-Based Feature Extraction Utilizing Differential Signals of Phase-Sensitive OTDR[Text] / Journal of Lightwave Technology, -2020. -vol. 38. -№ 8. -P. 2539-2546. 15 April15, 2020, doi: 10.1109/JLT.2020.2966413
- 7 Wu.H., XiaoS., LiX., WangZ., XuJ. and RaoY. Separation and Determination of the Disturbing Signals in Phase-Sensitive Optical Time Domain Reflectometry (Φ-OTDR)[Text] / Journal of Lightwave Tech-

nology, -2020. - vol. 33.-№ 15. -P.3156-3162. doi: 10.1109/JLT.2015.2421953

- 8 8. Che, Q., Wen, H., Li, X., Peng, Z., & Chen, K. P. Partial Discharge Recognition Based on Optical Fiber Distributed Acoustic Sensing and a Convolutional Neural Network. [Text] / IEEE Access, doi:10.1109/access.2019.2931040
- 9 9. Hong R. Enlarging Dynamic Strain Range in UWFBG Array-Based  $\Phi$ -OTDR Assisted With Polarization Signal [Text] / in IEEE Photonics Technology Letters, -2021. -vol. 33. -№ 18. -P.994-997. doi: 10.1109/LPT.2021.3079186