

УДК: 001.895, 681.518.5

Диагностика и мониторинг искусственных сооружений инфраструктуры железнодорожного транспорта на основе виброакустического контроля

Diagnostics and monitoring of artificial structures of railway transportation infrastructure on the basis of vibroacoustic control

Охотников А.Л., Заместитель начальника Департамента, начальник Отдела, АО «НИИАС»,
E-mail: a.ohotnikov@vniias.ru, Москва, Россия

Okhotnikov A.L., Deputy Head of Department, Head of the Section, JSC «NIIAS»,
E-mail: a.ohotnikov@vniias.ru, Moscow, Russia

Павловский А.А., к.т.н., заместитель Генерального директора, АО «НИИАС»,
E-mail: A.Pavlovskiy@vniias.ru Москва, Россия

Pavlovskiy A.A., PhD., Deputy General Director, JSC "NIIAS",
E-mail: A.Pavlovskiy@vniias.ru, Moscow, Russia



Аннотация

Приведено описание оптоволоконной системы диагностики и мониторинга искусственных сооружений и конструкций, работающей в реальном режиме времени и предупреждающей о приближении к критическому уровню состояния. Рассмотрены способы и варианты оборудования для виброакустического контроля. Приведен алгоритм работы и структурная схема системы непрерывного мониторинга напряженно-деформированного состояния конструкций искусственных сооружений с целью их контроля и диагностики для предотвращения аварийного состояния, а также повышения безопасности движения поездов. Оценка технического состояния конструкций в процессе их эксплуатации осуществляется на основе технологии виброакустического сенсора с учетом возможностей используемого оборудования.

Ключевые слова: диагностика конструкций, структурированные системы мониторинга, вибромониторинг, виброакустический контроль, рефлектометр.

Abstract

The description of a fiber-optic system for diagnostics and monitoring of artificial structures and structures, operating in real time and warning about approaching a critical state level, is given. Methods and variants of equipment for vibroacoustic control are considered. The algorithm of operation and the block diagram of the system of continuous monitoring of the stress-strain state of structures of artificial structures for the purpose of their control and diagnostics to prevent an emergency condition, as well as to improve the safety of train traffic is given. The assessment of the technical condition of structures during their operation is carried out on the basis of vibroacoustic sensor technology, taking into account the capabilities of the equipment used.

Keywords: structural diagnostics, structured monitoring systems, vibration monitoring, vibroacoustic control, reflectometer.

Введение

Инфраструктурный комплекс ОАО «РЖД» имеет на балансе около 30 тысяч мостов и путепроводов, 159 тоннелей и множество других инфраструктурных объектов. Содержание такого количества искусственных сооружений и оптимизация расходов на поддержку их в рабочем состоянии является одной из ключевых задач ОАО «РЖД». В связи с этим, важным элементом в системе управления компанией является управление активами, которое позволяет учесть баланс интересов между затратами на содержание и строительство инфраструктуры, ее производственными характеристиками и оценкой рисков при дальнейшем развитии и содержании всех активов компании [1].

Одним из способов неразрушающего контроля, который в последнее время все чаще применяют компании для оценки состояния активов является виброакустический контроль. Точное измерение и мониторинг вибрации имеет решающее значение для обнаружения аномальных явлений и предварительного предупреждения о повреждении инфраструктурных объектов железнодорожного транспорта [2]. Различные датчики вибрации широко доступны и в основном основаны на пьезоэлектрических, магнитострикционных, емкостных и индуктивных технологиях и т.д. Однако эти традиционные датчики вибрации страдают от электромагнитных воздействий и помех, которые создают трудности при применении их в суровых условиях.

Кроме того, незначительные расстояния мониторинга и высокие затраты на техническое обслуживание означают, что они не отвечают реальным потребностям современных инженерных измерений. По мере развития области применения датчиков вибрации, существует большой интерес к новым датчикам вибрации, которые заменяют традиционные датчики и позволяют повысить экономическую эффективность их применения.

Помимо датчиков вибрации для оценки и идентификации результата мониторинга на помощь оператору для принятия решения в систему мониторинга все чаще интегрируют искусственные нейронные сети (ИНС). Использование ИНС предпочтительно в тех ситуациях, когда решение задачи не может быть четко формализовано, вариантов решений множество, использование методов имитационного или математического моделирования невозможно, или оно не обеспечивает требуемую точность результата.

Постановка задачи

Определим задачи исследования: контроль параметров несущих конструкций зданий и сооружений; необходимость структурированных систем мониторинга и управления инженерными системами зданий и сооружений (мосты, туннели и т.д.); создание системы мониторинга инженерных (несущих) конструкций, опасных природных процессов и явлений (СМИК).

Рассмотрим вариант диагностики искусственных сооружений на основе виброакустического контроля

(или вибромониторинга) на основе волоконно-оптического кабеля (ВОК). Задачей авторов являлось нахождение решения с целью упрощения существующих систем диагностирования и расширение функциональных возможностей мониторинга для обеспечения контроля искусственных сооружений со сложной конфигурацией.

Решение

Предложенный способ мониторинга относится к области неразрушающего контроля и может быть использован для непрерывного мониторинга напряженно-деформированного состояния конструкций, контроля и диагностики технического состояния пролетных строений, мостов, эстакад, виадуков, путепроводов, туннелей различного назначения и конструктивного исполнения в процессе их эксплуатации на основе технологии виброакустического контроля или вибродиагностики.

Методы вибромониторинга разделены на пассивные и активные. В качестве практического применения используется метод пассивной вибродиагностики, который осуществляется при случайном воздействии: транспортного потока, проезда поезда, прогона одиночного локомотива, ветра, микросейсмиков и т.д. (не стационарный, неэргодический процесс).

Методами пассивной вибродиагностики пользуются тогда, когда отсутствует специальная система нагружения исследуемой конструкции, а в качестве режима нагружения используется случайное или регулярное фоновое воздействие природного или техногенного характера [3].

В [2] рассмотрена система мониторинга верхнего строения безбалластного и бесстыкового пути на мосту высокоскоростной магистрали, содержащая датчики температуры, датчики смещения и волоконно-оптические тензодатчики, которые установлены на шейке рельса и закреплены посредством клея на измерительных точках нейтральной оси шейки рельса, при этом параллельно волоконно-оптическому тензодатчику установлен датчик температуры рельсовой плиты и прикреплен к рельсу посредством теплопроводного геля кремниевой кислоты, датчики температуры рельсовой плиты, опорной плиты и моста установлены в отверстиях, выполненных в этих элементах конструкции, причем отверстия для установки датчиков температуры рельсовой плиты выполнены на верхней и торцевой ее сторонах, датчики смещения рельса относительно рельсовой плиты, относительного смещения рельсовой плиты и основания и продольного относительного смещения концов моста установлены в измерительных точках этих элементов конструкции, при этом датчики температуры, датчики смещения и волоконно-оптические тензодатчики выполнены на основе волоконных решеток Брэгга, а их выходы через соответствующие демодуляторы по линии связи соединены с сервером сбора данных, который каналом связи соединен с сервером обработки данных. >>>

Эта система мониторинга позволяет точно определять состояние верхнего строения пути. К недостаткам системы следует отнести наличие большого количества датчиков, их сложный и дорогостоящий монтаж, а также существенные затраты финансовые и временные на обслуживание данного оборудования на инфраструктуре железнодорожного пути.

В качестве сравнения с предложенным вариантом рассмотрено устройство дистанционного контроля состояния безбалластного железнодорожного пути [4]. Путь содержит расположенные под каждым рельсом в два слоя сенсорно-оптический кабель фиксации перемещения и сенсорно-оптический кабель фиксации температуры. Кабель подключен к измерительной аппаратуре, причем первый слой сенсорно-оптического кабеля фиксации перемещения и сенсорно-оптического кабеля фиксации температуры расположен под укрепленным слоем земляного полотна, а второй слой – в нижней части щебеночно-песчано-гравийной смеси. Каждый слой сенсорно-оптического кабеля фиксации перемещения механически связан с грунтом посредством фиксаторов.

Данное устройство позволяет осуществить надежный контроль состояния безбалластного железнодорожного пути на всей требуемой протяженности за счет повышения точности измерения деформации, устранения влияния температурных эффектов, особенно в случае, когда температура в грунте неоднородна. Из недостатков устройства можно выделить невозможность осуществления контроля более сложных искусственных сооружений (например, мостовых сооружений), у которых одним из наиболее важных параметров является частота собственных колебаний.

Предлагается следующий алгоритм работы:

- калибровка и тарировка распределенного волоконно-оптического датчика применительно к технологиям функционирования модулей диагностики и мониторинга состояний объекта инфраструктуры ОАО «РЖД»;
- настройка модулей диагностики и мониторинга состояний обследуемого объекта инфраструктуры ОАО «РЖД»;
- обработка и анализ измерительных сигналов применительно к условиям их статистической неоднородности (нестационарное внешнее возмущение, сезонность, различные параметры и состояния объектов диагностики и мониторинга) и неопределенности параметров информационной обстановки (параметры законов распределения помехи и внешних возмущений);
- обнаружение сигналов и их классификация применительно к условиям их статистической неоднородности и неопределенности параметров информационной обстановки;
- интерпретация и идентификация проблемы или неисправности элемента искусственного сооружения или объекта;
- формирование и отправка сообщения диспетчеру;
- в случае определения опасной ситуации – сообщение на борт поезда для снижения скорости или остановки.

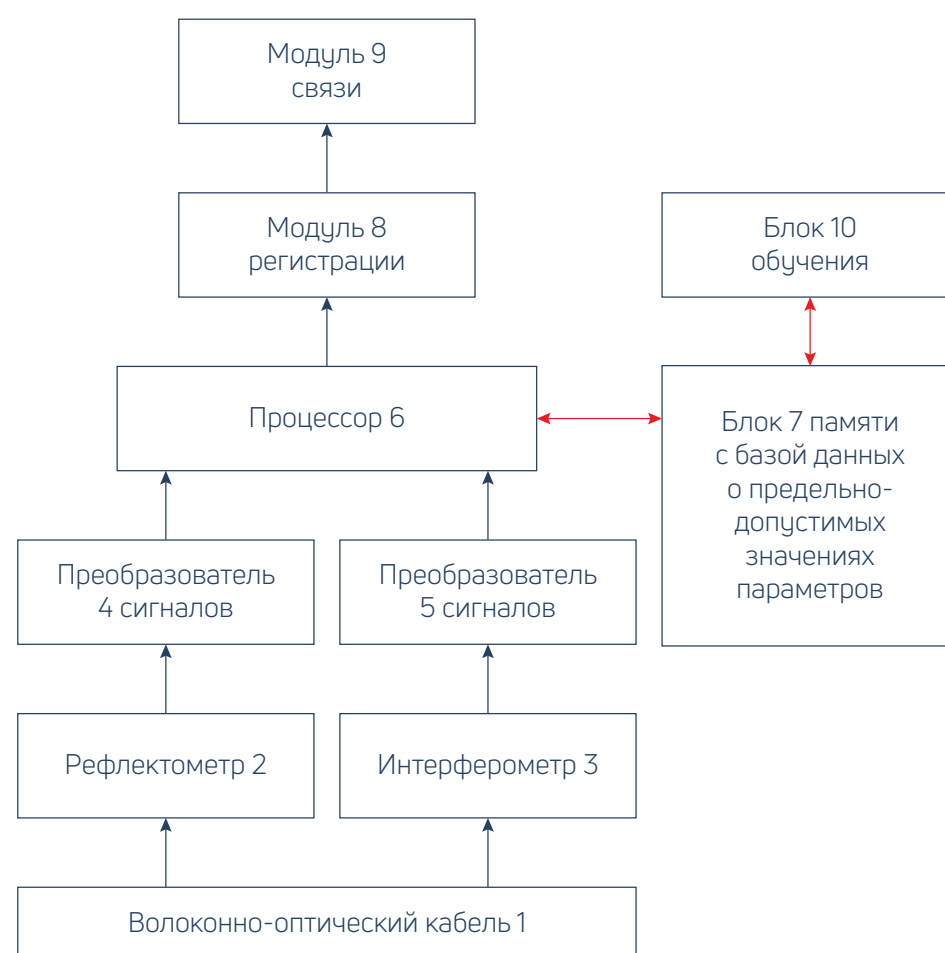


Рисунок 1. **Схема системы контроля и диагностики искусственных сооружений**

Аппаратная и программная части состоят из:

- операционные системы Windows/Астра Линукс/РЕД ОС;
- вычислительный модуль: шкаф телекоммуникационный напольный 42U с хранилищем данных на 30Тб (или иного объема);
- когерентный рефлектометр и интерферометр (2 шт., основной и мобильный вариант);
- система кондиционирования (для стационарных условий);
- источник бесперебойного питания (ИБП) предназначен для эксплуатации в стационарных постоянно отапливаемых помещениях и сооружениях.

Система контроля и диагностики искусственных сооружений, содержит волоконно-оптический кабель и измерительную аппаратуру, которая состоит из рефлектометра и интерферометра. В свою очередь процессор, обрабатывает входящие данные от измерительной аппаратуры и регистрирует все значения параметров собственных колебаний элементов диагностируемого искусственного сооружения, выходящие за предельно-допустимые значения, которые хранятся в блоке памяти АРМ оператора.

Данные формируются на базе сертификационных (первичных) испытаний сооружения создается система объектно-ориентированных баз данных (ООБД) по каждому сооружению, включающая в себя, как традиционные формы отчетных материалов, так и экспериментальные данные сертификационных испытаний, которые объективно определяют состояние моста на момент проведения испытаний (динамический паспорт сооружения) [5].

»»»

В случае определения критических значений параметров через модуль связи сообщение с предупреждающим сигналом может передаваться диспетчеру или оператору системы мониторинга. Блок памяти в свою очередь может дополнительно обучаться с помощью оператора (учителя), который выбирает допустимые значения новых параметров от диагностируемого искусственного сооружения.

Волоконно-оптический кабель крепится к основным элементам диагностируемого искусственного сооружения с обеспечением плотного к ним прилегания и возможностью перемещения относительно этих элементов при их колебании.

Структурная схема системы контроля и диагностики искусственных сооружений представлена на рисунке 1.

Система контроля и диагностики искусственных сооружений содержит волоконно-оптический кабель 1 соединенный с измерительной аппаратурой, состоящей из рефлектометра 2 и интерферометра 3 выходы которых через соответствующие преобразователи 4 и 5 сигналов подключены к процессору 6, соединенному с блоком 7 памяти, в котором в цифровом виде записана база данных о предельно-допустимых значениях параметров собственных колебаний элементов диагностируемого искусственного сооружения, выход процессора 6 соединен со входом модуля 8 регистрации, к выходу которого подключен модуль 9 связи, блок 7 памяти дополнительно соединен с блоком 10 обучения, при этом волоконно-оптический кабель 1 прикреплен к основным элементам диагностируемого искусственного сооружения с обеспечением плотного к ним прилегания и возможностью перемещения относительно этих элементов при их колебании.

Характеристики данного рефлектометра, который выбирался из аналогичных вариантов (Волкодав, Дунай), применяемых на практике, приведены в таблице 1. Он имеет оптимальное конструктивное исполнение с точки зрения вибро- и термоизоляции, отсутствия паразитных источников вибрации и электромагнитных помех внутри прибора, отсутствие излишних оптических кросс коммутаций внутри оптического блока. Оптимальная стоимость устройства определяется исходя из невысокой цены корпуса прибора, так и электронных компонентов внутри прибора. В частности, существенное снижение стоимости цифровых плат не привело к урезанию их функциональных возможностей. У прибора есть возможность удаленного управления оптическими компонентами и мониторинга значений токов и температуры внутри прибора посредством сервера обработки данных.

Система контроля и диагностики искусственных сооружений работает следующим образом

Искусственные сооружения рассматриваем как колебательную систему, которая определяет сооружение, в котором, в результате нарушения равновесия, возникают те или другие колебания. Для упрощения диссипативную систему, где учитывают рассеивание тепловой энергии при колебаниях, рассматриваем как консервативную, в которой рассеянием энергии пренебрегают. При коле-

Таблица 1

Технические характеристики рефлектометра «АКУЛА»

Характеристика	Параметры
Конструктивное исполнение	Моноблок
Длина волны оптического излучения	1550 нм
Тип сенсорного волокна	G.652, G.657
Количество подключаемых оптических линий	2 или 4
Дальность действия	2(4) × 40 км/ 80–160 км
Пространственное разрешение	5 метров
Пространственная частота дискретизации	1,6 метра
Частота дискретизации АЦП	65 МГц
Разрядность динамический диапазон АЦП	14 бит
Интерференционная чувствительность (чувствительность к механическим воздействиям)	не менее 0,1 рад
Выходной сигнал	Интерфейс Ethernet, протокол UDP-IP
Температура эксплуатации	-40°С...+70°С для сенсорной части



Рисунок 2. Рефлектометр «АКУЛА» (АКУстический Лазерный Анализатор)

баниях происходит периодический переход одного вида энергии в другой, когда потенциальная энергия U (энергия, определяемая положением системы) переходит в ее кинетическую энергию К (энергию движения) и наоборот. Периодические колебания сооружения характеризуются круговой частотой, технической частотой и амплитудой колебаний. Круговая (циклическая) частота ω (рад/с) – это число колебаний за 2π секунды. Техническая частота f (или просто частота, Гц) – это число колебаний за одну секунду:

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi f, \tag{1}$$

$$f = \frac{1}{T} = \frac{\omega}{2\pi}, \tag{2}$$

Любое сооружение можно рассматривать как систему с распределенным по нему бесконечным числом элементарных масс. Поэтому оно является системой с бесконечно большим числом динамических степеней свободы. Расчет сооружений в такой постановке является >>>

сложной задачей, обычно ее используют для расчета колебаний лишь простейших систем – балок, пластин и некоторых типов оболочек. Иногда, вводя только несколько сосредоточенных масс, удается достаточно точно описать простейшие колебания. Если этого сделать нельзя, то увеличение числа степеней свободы приближает результат к точному решению, но резко возрастает объем вычислений [6].

Виды колебаний искусственных сооружений могут быть: нарастающие, незатухающие и затухающие. Сооружение и ее части совершают колебания с частотами, которые определяются чувствительным непрерывным сенсором в виде волоконно-оптического кабеля, который улавливает возбуждение колебаний и передает сигнал для определения, сравнения и регистрации сигналов отклика конструкций. Полученные в реальном времени результаты инструментальных измерений через преобразователь сигналов поступают в процессор для последующего анализа этих частот колебаний и сравнения с имеющейся базой данных дефектов и шума, который не учитывается при определении дефекта.

В системе используется свободное волокно оптоволоконного кабеля в качестве распределенного датчика для определения дефектов сооружений и их местоположения по вибрации конструкции самого сооружения. В оптическое волокно поступает оптический сигнал (импульс), который частично отражается от неоднородностей волокна, вызванных акустической вибрацией конструкции. За счет вибрации кабеля, вызываемой вибрацией конструкции сооружения, происходит изменение отражения сигнала, который принимается рефлектометром и после преобразования в преобразователе сигналов фиксируется в модуле регистрации.

Вибрация и колебания сооружения создают воздействие на волоконно-оптический кабель и непосредственно оказывают модулирующее воздействие на оптическую несущую в волоконно-оптическом кабеле на сердцевину волокна. Модуляция фазы оптического сигнала преобразуется на выходе интерферометра в амплитудную модуляцию электрического сигнала, который в преобразователе сигналов переводится в цифровой формат для сравнения в процессоре с цифровыми значениями допустимых значений колебаний сооружения, содержащихся в блоке памяти.

Место воздействия на волокно волоконно-оптического кабеля определяется рефлектометром по разности рефлектограмм. Система обеспечивает определение дефекта, а также местоположение данного дефекта диагностируемого объекта на расстоянии до 40–50 километров от рефлектометра с точностью 5÷7 метров. С выхода преобразователя сигналы в цифровом формате поступают в процессор, который с помощью ИНС производит их оценку и сравнение с данными (с допустимыми частотами колебаний в цифровом виде), находящимися в блоке памяти, в котором записана база данных о предельно-допустимых значениях параметров собственных колебаний элементов диагностируемого искусственного сооружения. Полученные результаты записываются в модуль регистрации и могут передаваться в режиме онлайн через модуль связи в диспетчерский пункт для учета и принятия мер

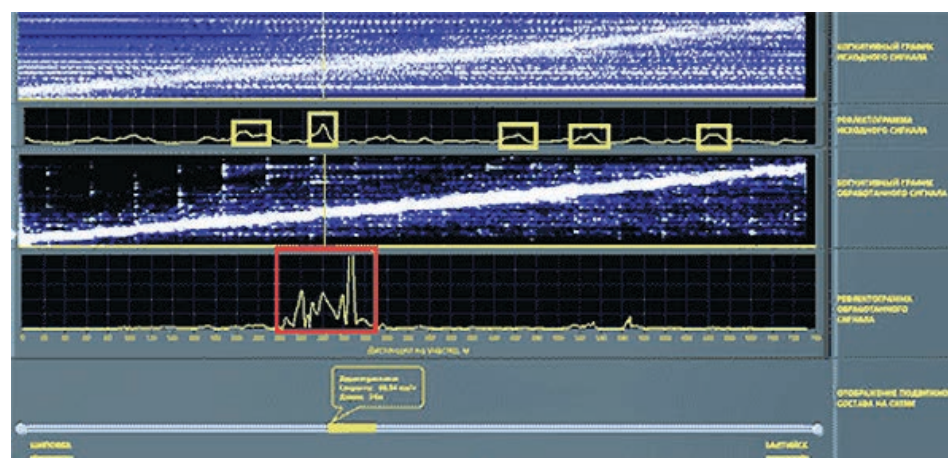


Рисунок 3. Обработка исходного сигнала (желтые квадраты) адаптивной нелинейной фильтрацией (красные квадраты) в разы повышает надежность получения достоверного информационного сообщения о месте неисправности (с точностью до 0,5–1 м)

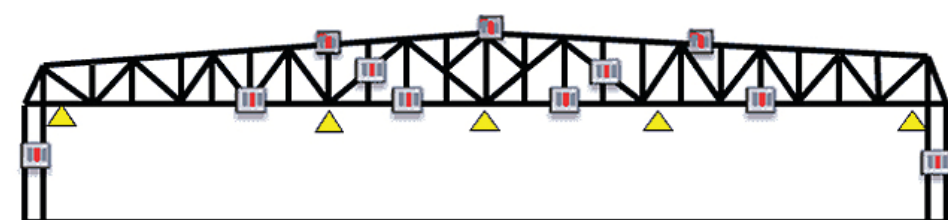


Рисунок 4. Схема мониторинга критических мест контроля мостового сооружения

по повышению безопасности движения автотранспорта и/или поездов на искусственном сооружении, а также проведению предиктивного ремонта (по состоянию). Полученная информация должна быть достаточной для подготовки обоснованного заключения о текущем техническом состоянии сооружения и выдачи краткосрочного прогноза о его состоянии на ближайший период.

Крепление оптоволоконного кабеля к конструкции может быть осуществлено таким образом, чтобы обеспечивать с одной стороны плотное прилегание к элементам конструкции, состояние которых необходимо непрерывно контролировать, с другой – перемещение относительно этих элементов при их колебании, так как жесткое крепление может привести к разрыву кабеля.

Диапазон измерений контрольно-измерительного комплекса должен включать в себя предельные допустимые значения измеряемого параметра конструкции. Согласно п.5.48, СП 35.13330.2011 в пролетных строениях конструкции значения периодов собственных колебаний не должны быть в интервале $0,45 \div 0,6$ с (частота $1,7 \div 2,2$ Гц). Так при проезде гусеничного транспорта по сооружению значение частоты составляет $3 \div 3,33$ Гц, Организованная колонна людей вызывает колебания конструкции с периодом $0,4 \div 0,7$ с (частота $1,43 \div 2,5$ Гц).

Наиболее надежное проектирование сооружение обеспечивает частоту собственных колебаний не менее удвоенного значения преобладающей частоты возмущения, т.е. должна быть в диапазоне не менее $3 \div 5$ Гц. Так, например, эталонные значения частот колебаний сталежелезобетонных пролетных строений на участке Тынды – Ургал составляет 5,5–5,65 Гц, соответственно собственные колебания таких конструкций при достижении частот порядка 2,5 Гц считаются опасными, а менее

»»»

2 Гц – критическими. Воздействие транспортных средств на пролетные строения определяется спектром частот собственных колебаний рам и кузовов автомобилей, железнодорожного подвижного состава, с закрепленными на них массами агрегатов и устройств, массами грузов и характеристиками жесткости рессор, пружин и пневмоподвесок, а также техническим состоянием поверхности проезжей части или железнодорожного пути.

Диапазоны значимых частот вертикальных, поперечных и продольных собственных колебаний составляют соответственно: $1.2 \div 6$ Гц; $3 \div 8$ Гц; $9 \div 30$ Гц. Для автотранспорта, например, выделяют две основные полосы частот воздействия: первая в диапазоне $1 \div 4$ Гц, вторая $6 \div 10$ Гц. Уровень вибраций определяют, как среднеквадратичное значение в заданных диапазонах частот. Сравнивают уровень вибраций с заданными проектировщиками мостового сооружения уставками по амплитуде вибраций. В случае превышения уставок, осуществляется запись сигнала вибраций и при необходимости принимается решение о прекращении движения или ограничения скорости движения по мостовому сооружению.

В случаях, когда предельные допустимые значения параметра неизвестны, диапазон должен выбираться на основе опыта выполнения аналогичных работ или на основе экспертной оценки. При определении дефекта конструкции процессор непрерывно сравнивает частоту поступившего сигнала с имеющимися в базе данных блока памяти:

- сигналов конструкции на действие временных подвижных нагрузок (температуры, ветра и пр),
- диапазонов изменения напряженно-деформированного состояния несущих конструкций моста в пределах допустимой нормы,
- динамических характеристик моста – основными формами и частотами свободных колебаний конструкции.

В случае обнаружения неисправности в работе сооружения система указывает на элемент конструкции (определяет расстояние от рефлектометра), в котором диагностируется дефект (по заданной частоте с помощью интерферометра) – переместившаяся опора, наличие трещины, заклиненный деформационный шов и т.п.

Информацию о текущих событиях, которые граничат с опасными условиями эксплуатации, выделяют для хранения и записывают в модуль регистрации. Работа с модулем регистрации обеспечивает возможность более глубокой аналитической обработки, проведения обобщающих исследований процессов эксплуатации конструкции сооружения и формирования отчета за интересующий период.

Так, например, мостовое сооружение – достаточно сложная пространственная конструкция, которая обладает индивидуальной частотно-зависимой последовательностью пространственных (трехмерных) форм собственных колебаний, в системе предусмотрен блок обучения, который осуществляет автоматическую калибровку и фиксирует допустимые значения этих колебаний, тем самым самообучает базу данных допустимыми значениями возможных отклонений от спокойного состояния конструкции.

Основной вариант диагностики моста состоит в оценке состояния нижних балок моста.

Для настройки системы с помощью блока обучения необходимо установить пороговые значения частотного диапазона и провести математический анализ отклика сооружения, который проводится в несколько взаимосвязанных этапов:

- на этапе предварительного моделирования разрабатываются модели пролетных строений, для этого используется проектная документация или результаты обмеров,
- адаптация модели сооружения осуществляется на основе экспериментальных данных, полученных после проведения динамической диагностики, осмотра сооружения и установления причин различия теоретических и экспериментальных данных с учетом таких особенностей как заклинивание опорных частей, неравномерное опирание балок пролетного строения, нарушение взаимодействия пролетных строений с насыпями подходов, неразрезность слоев дорожной одежды между пролетами и т.д., работа опор, фундаментов и оснований, климатические условия проведения испытаний.

Все виды дефектов мостовых сооружений подразделяют на пять видов. Каждому отклонению от нормы содержания сооружения соответствует пять вариантов состояния сооружения:

- 1) обеспечивается комфортный проезд транспортного средства;
- 2) обеспечивается плавный проезд (ограничения скорости не требуется);
- 3) сохраняются условия безопасности проезда, хотя требования по плавности не соблюдены (вводятся незначительные ограничения скорости движения);
- 4) сохраняются условия безопасного проезда, но требуются ограничения не только скорости, но и массы транспортных средств;
- 5) движение транспорта опасно (организация движения должна быть пересмотрена вплоть до закрытия движения по мосту или полосе).

Для удешевления проекта, возможно использование съемных систем определения и регистрации измерений, которые крепятся на конце волоконно-оптического кабеля и после проведения измерений на определенном временном участке, могут быть демонтированы, причем модуль связи можно не устанавливать. Далее модуль регистрации направляется для расшифровки и проведения обобщающих исследований процессов эксплуатации конструкции сооружения и формирования отчета за интересующий период. Принятие решения по данному сооружению основывается на данных, полученных после формирования отчета. В этом случае мы не получаем непрерывного мониторинга, но снимаем большую часть расходов на содержание и обслуживание дорогостоящей техники при проведении измерений. На некоторых искусственных сооружениях достаточно проводить такие виды мониторинга с определенной периодичностью, что позволяет использовать один комплект диагностического оборудования на нескольких сооружениях, оборудованных только волоконно-оптическим кабелем. >>>

Выводы

Практическое применение распределенных систем мониторинга на основе виброакустического сенсора связано с условиями конкретной задачи и определяется характером и родом внешних виброакустических воздействий на сенсор (волоконно-оптический кабель – ВОК). При использовании когерентного рефлектометра, подключенного к волоконно-оптическому кабелю, выполняющего роль распределённого волоконно-оптического сенсора, исследовались сигналы с выхода рефлектометра [7]. При воздействии на волоконно-оптический кабель на выбранном участке в результате эксперимента были выявлены характерные показания, по которым можно было однозначно определить нагрузку на детали конструкции (Рис. 5).

Одним из основных направлений применения ИНС на железной дороге помимо управления поездами в автоматическом режиме (УА4) является диагностика и контроль технического состояния подвижного состава, железнодорожной инфраструктуры и искусственных сооружений [8].

Варианты применения ИНС не исчерпываются указанными, в будущем с помощью нейросетевых технологий будут планироваться поездки, покупаться билеты, осуществляться ремонт локомотивов и инфраструктуры, осуществляться управление движением на всей сети железных дорог.

Своевременная диагностика позволяет продлить ресурс объекта железнодорожной инфраструктуры без капитального ремонта и осуществлять его ремонт

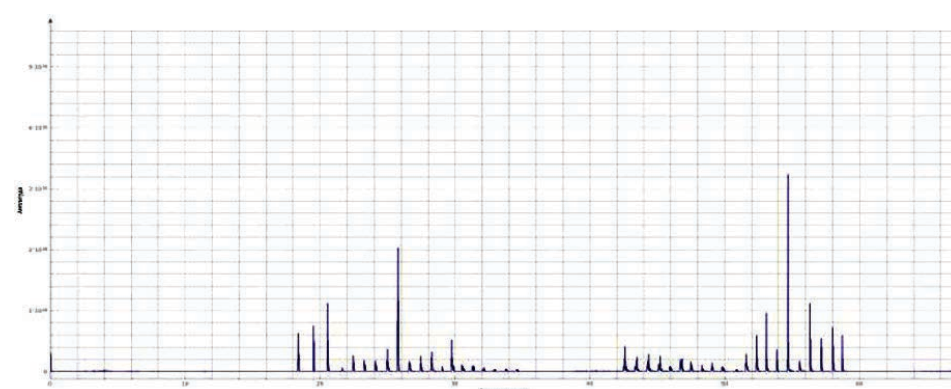


Рисунок 5. Результат обработанного сигнала при воздействии на ВОК

по состоянию. С помощью алгоритмов глубокого обучения эти результаты могут быть существенно улучшены, что открывает большие возможности в переходе к новой прогрессивной схеме управления техническим содержанием: Эксплуатация и диагностика — Предиктивный анализ — Работа на опережение [1].

По результатам проведенного анализа используемых систем и вариантов оборудования предложен вариант для непрерывного мониторинга напряженно-деформированного состояния конструкций, контроля и диагностики технического состояния пролетных строений, мостов, эстакад, виадуков, путепроводов, туннелей различного назначения и конструктивного исполнения в процессе их эксплуатации на основе технологии виброакустического контроля, АО «НИИАС» получен патент на «Систему контроля и диагностики искусственных сооружений» [9]. ■

Список литературы

1. Шубинский, И.Б. Об управлении техническими активами на железнодорожном транспорте России / И.Б.Шубинский // Системный анализ в проектировании и управлении: сборник научных трудов XXV Международной научной и учебно-практической конференции: в 3 ч., Санкт-Петербург, 13–14 октября 2021 года. Том Часть 3. – Санкт-Петербург: Политех-Пресс, 2021. – С. 261-274. – DOI 10.18720/SPBPU/2/id21-376. – EDN C1FKCX.
2. Патент № 2681766 С1 Российская Федерация, МПК В61К 9/08. Система мониторинга верхнего строения безбалластного и бесстыкового пути на мосту высокоскоростной магистрали: № 2018119992: заявл. 30.05.2018: опубл. 12.03.2019 / В. П. Левшунов, А. А. Белый; заявитель Открытое акционерное общество «Российские железные дороги». – EDN RZTYIN.
3. Мониторинг нагруженности композитной конструкции арочного моста на основе волоконно-оптических датчиков / А.Е.Раскутин, В.В.Махсидов, О.И.Смирнов, Л.А.Кашарина // Труды ВИАМ. – 2018. – № 3(63). – С. 49-59. – DOI 10.18577/2307-6046-2018-0-3-49-59. – EDN YSEZPI.
4. Патент № 2613126 С1 Российская Федерация, МПК В61L 23/04. устройство дистанционного контроля состояния безбалластного железнодорожного пути: № 2015145218: заявл. 21.10.2015: опубл. 15.03.2017 / А.В.Савин, М.А.Солодянкин, А.Л.Ермилов, Д.А.Чугунов; заявитель Акционерное общество «Научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта» (АО «ВНИИЖТ»). – EDN HXDOLL.
5. СП 274.1325800.2016 Мосты. Мониторинг технического состояния, СП (Свод правил) от 16 декабря 2016 года №274.1325800.2016. URL: <http://docs.cntd.ru/document/456050588>
6. Distributed fiber-optic sensors for vibration detection / X. Liu, B. Jin, Q. Bai [et al.] // Sensors. – 2016. – Vol. 16, No. 8. – P. 1164. – DOI 10.3390/s16081164. – EDN WSCOUN.
7. Кудюкин, В.В. Инновационные технологии обеспечения безопасности движения на основе оптоволоконной сенсорики / В.В.Кудюкин, С.С.Кукушкин, А.Н.Белов // Автоматика, связь, информатика. – 2021. – № 11. – С. 43-46. – DOI 10.34649/AT.2021.11.11.010. – EDN BPQFXF.
8. Охотников, А.Л. Искусственный интеллект для железной дороги / А. Л. Охотников, А.В.Зажигалкин // Автоматика, связь, информатика. – 2021. – № 5. – С. 30-34. – DOI 10.34649/AT.2021.5.5.004. – EDN IFAYJK.
9. Патент № 2717693 С1 Российская Федерация, МПК G01B 11/16. Система контроля и диагностики искусственных сооружений: № 2019119516: заявл. 24.06.2019: опубл. 25.03.2020 / Ю.В.Дзюба, А.Л.Охотников, А.А.Павловский; заявитель Акционерное общество «Научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт информатизации, автоматизации и связи на железнодорожном транспорте». – EDN MZPJDD.