

ВИБРОДИНАМИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ, КАК СОСТАВНАЯ ЧАСТЬ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОГО СОПРОВОЖДЕНИЯ

Вибромониторинг может рассматриваться как самостоятельный вид мониторинга, а может являться составной частью систем непрерывного или периодического мониторинга, как на период строительства, так и на постоянной основе в период эксплуатации. Вибромониторинг предназначен для периодической инструментальной диагностики эксплуатируемых автодорожных мостов и может применяться для приемочных испытаний вновь построенных и реконструируемых мостов. В основе вибромониторинга лежит вибродиагностика работы несущих и ограждающих (при необходимости) конструкций. В свою очередь **вибродиагностика** базируется на анализе параметров **расчётного и экспериментального** отклика (реакции) сооружения на динамическое воздействие в низкочастотном диапазоне собственных форм колебаний.

Методы вибромониторинга могут быть условно разделены на пассивные и активные методы вибродиагностики.

Методами пассивной вибродиагностики являются те, когда отсутствует специальная система нагружения исследуемой конструкции, а в качестве режима нагружения используется случайное или регулярное фоновое воздействие природного или техногенного характера.

Практическое использование метода пассивной вибродиагностики осуществляется при случайном воздействии: транспортного потока, прогона одиночного автомобиля, ветра и т.д. Практически все эти виды случайного воздействия (ветер, транспортный поток, микросейсмы и т.д.), носят нестационарный, неэргодический характер. Применительно к автодорожным мостам это означает, что при исследовании параметров динамического отклика под воздействием транспортного потока требуется значительное увеличение времени наблюдений (не менее 10 минут) и регистрации параметров отклика, достоверная вероятность получаемых результатов невысокая, что может компенсироваться высокой точностью измерений (до 10 мкм в перемещениях). В зависимости от способа регистрации и обработки экспериментальных данных, характеристиками отклика сооружения могут являться: частоты низших форм колебаний пролетных строений, спектры мощности или относительных амплитуд, величина добавки динамического коэффициента. Сопоставление результатов с данными расчетной модели сооружения может проводиться по частотам 5-10 низших форм колебаний (частотный анализ).

Методы активной вибродиагностики характеризуются искусственным приложением к конструкции сооружения импульсной или гармонической, вибрационной нагрузки, как частный случай, применяется стохастический процесс нагружения, имеющий стабильные статистические характеристики (стационарный, эргодический процесс).

Практическое использование импульсного нагружения в активной вибродиагностике осуществляется: прогоном одиночного автомобиля через искусственные неровности, оттяжкой конструкции тросом через размыкающее звено, сбросом груза или ударом через пластичную прокладку и т.д. При активном воздействии на конструкцию импульсной нагрузкой, из-за малой продолжительности воздействия, получение стационарных колебаний затруднительно, что приводит к необходимости многократного повторения нагружения.

В зависимости от способа регистрации и обработки экспериментальных данных, характеристиками отклика сооружения могут являться: частоты низших форм колебаний пролетных строений, спектры мощности или относительных амплитуд, величина добавки динамического коэффициента. Сопоставление результатов с данными расчетной модели сооружения позволяют оценить остаточный ресурс сооружения и предусмотреть плановые ремонты и усиления моста.

Использование гармонического нагружения в активной вибродиагностике более эффективно, но требует применения достаточных эксцентриковых вибромашины, конструкции ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко с управляемой частотой вращения. Усилие воздействия в них изменяется ступенчато, перестановкой эксцентриков.

За рубежом, взамен механических вибромашин, широко применяются электросервогидравлические вибровозбудители, которые позволяют проводить нагружение и регистрацию измеряемых параметров в режиме «управляемого эксперимента», с использованием управляющей ПЭВМ.

Основной особенностью всех вышеуказанных устройств является их стационарное базирование, то есть необходимость их жесткого анкерного крепления на испытываемом сооружении.

Более современным вибровозбудителем является мобильный (на базе автомобиля) сейсмовибратор типа СВ, применение которого повышает технологичность вибродиагностики автодорожных мостов, за счет значительного сокращения объемов подготовительных работ. Применение современных информационных технологий управления экспериментом, регистрации и обработки экспериментальных данных по отклику сооружения позволяет получать, в дополнение к вышеуказанным, амплитудо-фазо-частотные характеристики (АФЧХ) динамических прогибов в ключевых точках сооружения, в виде передаточных функций от усилия возбуждения. Это дает возможность проводить количественную оценку и сопоставление результатов с данными расчетной модели сооружения, что позволяет использовать современные методы модального анализа.

При обеспечении высокой мобильности и оперативности **вибродиагностики** ее можно эффективно использовать для мониторинга состояния большого числа мостов, входящих в единую инфраструктуру (автодорога федерального подчинения, сеть автодорог субъекта Федерации).

В этом случае на базе сертификационных (первичных) испытаний моста 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).

При проведении повторной экспресс-диагностики моста используется ранее созданная ООБД; при этом время и стоимость проведения работ сокращается примерно в 4 раза. Экспресс-диагностика становится инструментальным средством оценки состояния, фиксирующим любые изменения характеристик сооружения, что снижает влияние субъективных факторов.

Применение высокотехнологичных методов вибродиагностики не требует вывода моста из эксплуатации, для проведения нагружения и серии измерений требуется перерыв в движении длительностью 10-15 мин, все остальные подготовительные работы должны проводиться без перерывов автомобильного движения.

Основой любого метода **вибродиагностики (вибромониторинга)** является установление связи между динамическими параметрами сооружения и его **остаточной несущей способностью**. При возникновении повреждений конструкций, вследствие снижения жесткости отдельных элементов, происходит перераспределение внутренних усилий, в результате чего меняется матрица жесткости основных элементов сооружения; снижаются частоты и увеличиваются амплитуды их собственных и вынужденных колебаний. Анализ этих явлений возможен на базе установления взаимосвязи между **вынуждающей силой и возникающими колебаниями**, что известно, как анализ мод (**модальный анализ**). Наиболее полным результатом такого исследования является матрица передаточных функций сооружения в виде **амплитудо-фазо-частотных характеристик (АФЧХ)** динамических прогибов для ключевых точек сооружения. Колебания конструкций сооружения, в общем случае, являются демпфированными. Демпфирование колебаний в конструкции тем значительнее, чем больше оно связано с **диссипацией (рассеиванием)** энергии. Оценка демпфирующих свойств (коэффициента демпфирования), производимая по параметрам резонансного пика, также позволяет определять степень влияния накопленных дефектов на остаточную несущую способность сооружения.

Оценка экспериментальных данных и вывод о состоянии моста производится:

- по результатам предшествующих испытаний одного и того же объекта (экспресс-диагностика);**
- по статистическим параметрам отклика аналогичных сооружений;**
- по параметрам отклика калиброванной (адаптированной по экспериментальным данным) математической модели сооружения, что даёт наиболее точный результат.**

В общем случае все технологические процедуры вибродиагностики должны осуществляться в три этапа, первые два из которых осуществляются в полевых условиях, а третий этап на стадии камеральной обработки результатов.

Возбуждение колебаний и регистрация сигналов отклика конструкций. Получение в реальном времени результатов инструментальных измерений, необходимых для последующего анализа колебаний. Как правило, этими результатами являются амплитудо-фазо-частотные характеристики динамических прогибов для информационно-значимых точек конструкции.

Передаточные функции отклика конструкций на гармоническое воздействие могут быть получены следующим образом:

- измеряются и регистрируются входной сигнал и сигнал-отклик;**
- проводится Фурье-анализ сигналов;**
- в частотной области, в комплексном виде, определяется отношение сигналов отклика конструкции к входному силовому воздействию.**

Вторичная обработка инструментальных замеров, включающая анимацию форм колебаний, определение собственных частот и коэффициентов демпфирования, статистический анализ.

На этом же этапе проводится обследование, целью которого является выявление причин появления аномалий в отклике сооружения на динамическое воздействие.

Оценка состояния конструкции. Обобщение экспериментальных данных, сравнение их с эталонными (расчетными или статистическими) данными. Определение общего состояния и оценка работоспособности конструкции.

В случае возникновения при строительстве здания и сооружения деформаций и других явлений, отличающихся от прогнозируемых и представляющих опасность для сооружения и окружающей застройки, необходимо немедленно информировать об этом заинтересованные организации.

<http://www.geomark.ru/pres/20160929/02/index.html#1>