ГОСУДАРСТВЕННАЯ СЛУЖБА ДОРОЖНОГО ХОЗЯЙСТВА
МИНИСТЕРСТВА ТРАНСПОРТА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
(РОСАВТОДОР)

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ВИБРОДИАГНОСТИКЕ АВТОДОРОЖНЫХ МОСТОВ

Москва
2001 г.

gost.e-ecolog.ru

ГОСУДАРСТВЕННАЯ СЛУЖБА ДОРОЖНОГО ХОЗЯЙСТВА
МИНИСТЕРСТВА ТРАНСПОРТА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
(РОСАВТОДОР)

Утверждено
Распоряжением
№ 266-р от 07.08.2001 г.

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ВИБРОДИАГНОСТИКЕ АВТОДОРОЖНЫХ МОСТОВ

Москва
2001 г.

В «Методических рекомендациях по вибродиагностике автодорожных мостов» представлены основные характеристики технических и программных средств, применяемых при полевых исследованиях и расчетах несущей способности мостовых конструкций. Рекомендации разработаны с учетом требований основных нормативных документов, приведены основы методик всех технологических процедур, выполняемых при вибродиагностике автодорожных мостов.

"Recommendations for vibrodiagnostics of highway bridges" includes basic requirements for hardware and software used in experimental works and calculation of bridges' load capacity. Recommendations were developed according to basic Codes for the purposes and shortly described main technological procedures, what took place in highway bridges' vibrodiagnostics.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Стр.

1. Общие положения 5
2. Методы вибродиагностики, технология проведения работ..... 5
3. Перспективные характеристики технических и программных средств 9
3.1. Средства динамического нагружения (для активной вибродиагностики) 10
3.2. Средства измерения динамических прогибов конструкций ... 10
3.3. Программные средства обработки и анализа экспериментальных данных 10
3.4. Программные средства метода математического анализа 11
3.5. Программные средства объектно-ориентированной базы данных 11
4. Экспериментальный метод анализа 12
4.1. Программа измерений 12
4.2. Режимы нагружения (для активной вибродиагностики) 14
5. Математический метод анализа, оценка результатов 15
5.1. Разработка предварительной МКЭ-модели 15
5.2. Адаптация МКЭ-модели 15
5.3. Проведение расчетов адаптированной МКЭ-модели для оценки остаточной грузоподъемности моста. 16
6. Форма представления результатов 16

Литература..... 17

Приложения
1. Обоснование выбора метода вибродиагностики 18
2. Блок-схема основных технологических операций при проведении вибродиагностики 21
3. Схема нагружения и измерений при вибродиагностике большого моста 22
4. Матрица АФЧХ 23
5. МКЭ-модель сталежелезобетонного пролетного строения 23
6. Расчетные и экспериментальные формы колебаний..... 24

Предисловие

1. Отраслевые методические рекомендации разработаны ОАО ЦНИИС при участии ГП Росдорнии. В работе использован опыт проведения работ по вибродиагностике автодорожных мостов на автодорогах федеральной и региональной подчиненности.

Внесены Государственной службой дорожного хозяйства.

2. Приняты и введены в действие распоряжением
№ 266-р от 07.08. 2001 г.

3. Вводятся впервые.

4. Настоящие отраслевые рекомендации не могут быть полностью или частично воспроизведены, тиражированы и распространены в качестве официального издания без разрешения Росавтодора.

5. Настоящие отраслевые методические рекомендации подготовлены под руководством заместителя Генерального директора ОАО ЦНИИС Цернанта А.А. группой специалистов в составе: Звягинцева А.Н., Павлова Е.И., Вацуро В.И., при участии сотрудников ГП Росдорнии: Шестерикова В.И., Шейнцвита М.И., под общим методическим руководством сотрудников Управления организации работ по содержанию и ремонту искусственных сооружений на автомобильных дорогах Государственной службы дорожного хозяйства Горобец Л.И. и Матвеева И.К.

Государственная служба дорожного хозяйства (Росавтодор) 2001 г.
ОАО Научно-исследовательский институт транспортного строительства 2001 г.
Государственное предприятие Росдорнии 2001 г.

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ВИБРОДИАГНОСТИКЕ АВТОДОРОЖНЫХ МОСТОВ

Дата введения _____ 2001 г.

1. Общие положения.

1.1. Настоящие методические рекомендации (далее по тексту – рекомендации) предназначены для периодической инструментальной диагностики эксплуатируемых автодорожных мостов и могут применяться для приемочных испытаний вновь построенных и реконструируемых мостов.

1.2. Рекомендации разработаны с учетом требований и использованием терминов и определений основных нормативных документов.

1.3. Вибродиагностика базируется на анализе параметров расчётного и экспериментального отклика (реакции) сооружения на динамическое воздействие в низкочастотном диапазоне собственных форм колебаний.

1.4. Вибродиагностика, как единый технологический процесс, или ее отдельные процедуры могут применяться в сочетании с традиционными методами диагностики автодорожных мостов (обследование, статические и динамические испытания и т.д.).

1.5. Данные рекомендации могут использоваться полностью при применении методов активной вибродиагностики и частично при применении методов пассивной вибродиагностики.

2. Методы вибродиагностики, технология проведения работ.

2.1. Рекомендации разработаны с учетом опыта оценки динамических характеристик сооружения с применением различных способов нагружения, измерений и обработки экспериментальных данных. В общем случае, методы вибродиагностики могут быть условно разделены на пассивные и активные.

2.1.1. 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 и регистрации параметров отклика, доверительная вероятность получаемых результатов невысокая. Затруднительно получение устойчивых форм колебаний и передаточных функций параметров отклика конструкции, т.к. параметры силового воздействия остаются неизвестными. 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 носит, скорее качественный характер и может проводиться по частотам 1-2 низших форм колебаний (частотный анализ), использование более совершенных методов анализа затруднительно.

2.1.2. 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, также носит качественный характер.

Использование гармонического нагружения в активной вибродиагностике более эффективно, но требует применения достаточно сложных и дорогих вибровозбудителей, среди которых наиболее известны

2-вальные эксцентриковые 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, т.е. необходимость их жесткого анкерного крепления на испытываемом сооружении.

Общими недостатками вышеуказанных методик являются:

- невозможность исследования взаимодействия сооружения с грунтовым массивом;
- невозможность определения передаточных функций отклика сооружения по отношению к входному воздействию, с полным учетом фазовой составляющей (за исключением зарубежных электросервогидравлических возбудителей).

Более современным вибровозбудителем является мобильный (на базе автомобиля) сейсмовибратор типа СВ-5-150, 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 функциях от усилия возбуждения. Это дает возможность проводить количественную оценку и сопоставление результатов с данными расчетной модели сооружения, что позволяет использовать современные методы модального анализа.

2.2. 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).

2.2.1. 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).

2.2.2. 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.

2.2.3. Применение высокотехнологичных методов вибродиагностики (приложение 1) 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.

2.3. Основой любого метода вибродиагностики является установление связи между динамическими параметрами сооружения и его остаточной несущей способностью (приложение 2). При возникновении повреждений конструкций, вследствие снижения жесткости отдельных элементов, происходит перераспределение внутренних усилий, в результате чего меняется матрица жёсткости 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 (приложение 4). 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 (приложение 6).

2.4. 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 (приложение 2):

2.4.1. 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.

2.4.2. 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.

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

3. Перспективные характеристики технических и программных средств.

Специфика различных методов пассивной и активной вибродиагностики предъявляет ряд общих технических и технологических требований к применяемому оборудованию, функциональному назначению программных средств, оперативности получения и точности результатов измерений, а также

точности поддержания параметров нагружения и способов хранения полученной информации.

3.1. Средства динамического нагружения

(для активной вибродиагностики).

В качестве возбудителя гармонического динамического воздействия на исследуемое сооружение может применяться любая техническая система. Наиболее удовлетворительные результаты могут быть получены, если характеристики системы позволяют осуществлять:

3.1.1. плавное и непрерывное изменения частоты нагружающего воздействия в диапазоне 0.6 – 30 Гц;

3.1.2. управление нагружающим воздействием от ПЭВМ (как частотой, так и амплитудой);

3.1.3. стабильность выходных характеристик по частоте и по амплитуде;

3.1.4. обеспечивают высокую мобильность установки и оперативность при подготовке к работе;

3.1.5. обеспечивать работу системы без жесткого анкерного крепления на объекте испытаний.

3.2. Средства измерения динамических прогибов конструкций.

В качестве средств измерения могут применяться первичные преобразователи любого типа. Наиболее удовлетворительные результаты будет обеспечивать система со следующими характеристиками:

3.2.1. частотный диапазон - 0.6 – 30 Гц;

3.2.2. класс точности измерений, не ниже 2.5;

3.2.3. динамический диапазон, не ниже 100 дБ;

3.2.4. измеряемые перемещения - от 1 мкм;

3.2.5. простота и надежность крепления на исследуемой конструкции;

3.2.6. инерциальный принцип измерения перемещений (отсутствие необходимости использовать какую-либо опорную базу (поверхность земли, другой элемент конструкции сооружения) и механическую связь с ней - проволока, поводок и т.д.);

3.2.7. помехоустойчивость к блуждающим токам;

3.2.8. устойчивость к климатическим воздействиям.

3.3. Программные средства обработки и анализа экспериментальных данных.

Программный комплекс может использовать любые алгоритмы обработки, но должен обеспечивать необходимость обработки больших

объемов экспериментальной информации в реальном масштабе времени. Его возможности должны обеспечивать:

3.3.1. возможность одновременной работы с несколькими измерительными каналами (не менее восьми);

3.3.2. формирование сигнала управления для нагружающего устройства (для активной вибродиагностики);

3.3.3. возможность получения информации после обработки в виде АФЧХ;

3.3.4. возможность представления информации в цифровом и графическом видах, в том числе в режиме анимации;

3.3.5. возможность определения коэффициентов демпфирования.

3.4. Программные средства метода математического анализа.

В качестве расчетного метода анализа реакций сооружения на динамическое воздействие применяется математическое моделирование сооружения на основе метода конечного элемента, в дальнейшем МКЭ-моделирование.

3.4.1. Для этих целей может применяться любой программный комплекс, основанный на методе МКЭ и способный производить исследование статических и динамических реакций МКЭ-модели на различные сочетания внешних воздействий.

3.4.2. Наиболее существенным требованием является наличие в применяемом программном комплексе блока исследования динамических реакций МКЭ-модели, что позволяет проводить исследование реакций модели на гармоническое воздействие в частотной области, конечной целью этого исследования является получение амплитудо-фазо-частотных характеристик динамических прогибов (АФЧХ) для достаточно большого числа точек исследуемой МКЭ-модели сооружения.

В наибольшей степени этим требованиям удовлетворяют комплексы: ADINA, ANSYS, COSMOS, NASTRAN и т.д.

3.5. Программные средства объектно-ориентированной базы данных.

Применение современных информационных технологий требует обеспечения оперативной работы с большими объёмами разнообразной информации в цифровом виде, поэтому программные средства (ПС) объектно-ориентированной базы данных (ООБД) должны обеспечивать необходимый уровень сервиса при работе с различными форматами данных. ПС ООБД

должны быть совместимы с Intel–процессорными ПЭВМ, их носителями информации и их форматами данных.

Программные средства объектно-ориентированной базы данных должны удовлетворять следующим требованиям:

3.5.1. работать под управлением Windows95/98/NT и выше, использовать стандартные ресурсы операционной системы, а также ПС других разработчиков, инсталлированные на ПЭВМ;

3.5.2. работать с внешних носителей, без копии на жёстком диске ПЭВМ;

3.5.3. обеспечивать возможность хранения информации в режиме оперативного доступа на жестком диске, внешних носителях ПЭВМ и по сети;

3.5.4. обеспечивать визуализацию всех видов информации, в том числе, в графическом и анимационном виде;

3.5.5. обеспечивать возможность перевода всей информации с электронных носителей в бумажные копии.

4. Экспериментальный метод анализа.

Ниже приводятся краткое описание рабочих методик и основных технологических процедур вибродиагностики.

4.1. Программа измерений.

4.1.1. Целью проведения измерений в процессе вибродиагностики моста является получение инструментальной информации, которая в максимальной степени характеризует его техническое состояние. Наиболее полным видом информации, получаемым при проведении динамической диагностики мостов, является амплитудо-фазо-частотная характеристика (АФЧХ) динамического прогиба в размерности МЕТР прогиба / ТОННА динамического усилия (М/Т). Эта передаточная функция является целевой, как при разработке МКЭ-моделей сооружений, так и при проведении работ на мосту. Матрица передаточных функций для множества точек позволяет получить достаточно полную информацию о спектре форм колебаний (мод), которыми обладает данное сооружение в данном состоянии, и является динамическим паспортом моста.

4.1.2. Последовательность чередования форм колебаний, их частотные диапазоны и амплитуды колебаний информационно-значимых точек сооружения, функционально зависят от ряда факторов, наиболее важными являются:

- параметры, определяющие прочность элементов сооружения;

- особенности расчетных схем работы, как сооружения в целом, так и его узлов, включая фактическую схему взаимодействия с основаниями;
- состояние элементов соединений (узлов);
- наличие конструктивных, технологических или эксплуатационных дефектов;
- климатические условия;
- другие факторы, устанавливаемые в процессе работы.

4.1.3. При разработке схемы измерений следует учитывать конструктивные особенности исследуемого моста и расчетные условия взаимодействия его конструктивных элементов. Основные факторы, влияющие на разработку схемы измерений:

- любое мостовое сооружение является достаточно сложной пространственной конструкцией, которая обладает индивидуальной частотно-зависимой последовательностью пространственных (трехмерных) форм собственных колебаний;
- взаимодействие его конструктивных частей может определяться схемой жесткой или упругой заделки, неподвижного и подвижного шарнирного соединения;
- большинство несущих конструктивных элементов моста могут рассматриваться, как композитные;
- влияние грунтов основания и насыпей подходов на расчетную схему работы сооружения;
- наличие видимых и невидимых дефектов в элементах моста.

4.1.4. Это приводит к тому, что при разработке схемы проведения измерений, необходимо предусматривать возможность поэтапного исследования особенностей работы сооружения, с тем, чтобы экспериментальные данные каждого этапа измерений могли дополнять друг друга и составлять общую картину динамического отклика сооружения. Все этапы этого исследования могут выполняться в произвольной последовательности, рекомендуемая последовательность приводится ниже.

4.1.4.1. 1-й этап измерений проводится с проезжей части. Измерения делаются на всех пролетных строениях моста. Эти данные наиболее доступны, как не требующие предварительной подготовки или наличия обустройств, в виде смотровых подмостей, лестниц и т.д. С другой стороны, при проведении работ на проезжей части моста должны предусматриваться измерения не только в плоскости действия основных постоянных и временных нагрузок, но и

в поперечном и продольном направлениях. Последние позволяют оценить жесткость сооружения в горизонтальной плоскости и жесткость на кручение. Это даст возможность сделать предварительные выводы о продольной или поперечной жесткости опор и работоспособности опорных частей, степени заклинивания береговых пролетных строений со стороны насыпей подходов. Для более полной оценки работоспособности пролетных строений, замеры должны проводиться по каждому продольному силовому элементу (балка, ферма), а также в промежуточных точках (плита проезжей части, консоль тротуара и т.д.) по нескольким сечениям. Количество исследуемых сечений определяется наличием и преобладанием асимметричных (в продольном направлении) форм собственных колебаний пролетных строений. Наличие в спектре отклика сооружения таких форм колебаний определяется, либо по данным постановочного эксперимента, либо при анализе предварительной МКЭ-модели.

4.1.4.2. 2-й этап измерений, в зависимости от особенностей конструкции моста, проводится на элементах нижнего пояса силовых конструкций пролетных строений, ригелях и насадках опор, элементах опорных частей, опорах и т.д.

4.1.4.3. 3-й этап измерений, в случае необходимости, проводится для решения частных задач, если проведенный комплекс измерений недостаточен (приложение 3).

4.2. Режимы нагружения (для активной вибродиагностики).

Режим нагружения определяется следующими основными параметрами:

4.2.1. Частотным диапазоном, в котором проявляются наиболее низкочастотные формы собственных колебаний сооружения.

Необходимый частотный диапазон может быть определен на основе анализа предварительной МКЭ-модели моста или определен опытным путем.

4.2.2. Амплитудой вынуждающего усилия, передаваемого на исследуемое сооружение для возбуждения в нем определенной последовательности чередования форм колебаний.

Амплитуда вынуждающего усилия определяется опытным путем и должна быть достаточной для подавления шумового (фонового) воздействия. По двум-трем испытаниям с последовательным увеличением амплитуды воздействия можно судить о линейности работы пролётного строения.

4.2.3. Продолжительностью воздействия, также определяемой опытным путем и зависящей от длины и массы пролетных строений, вовлеченных в процесс колебаний, а также от величины фонового воздействия.

4.2.4. Точкой установки возбудителя колебаний на пролетном строении. В большинстве случаев это геометрический центр проезжей части, но при преобладании асимметричных форм колебаний пролетного строения, это может быть ¼ длины пролета или другая точка, что определяется по предварительной МКЭ-модели или опытным путем.

4.2.5. Направленность сканирования по частоте – монотонно возрастающая или монотонно убывающая по частоте развертка. Основным режимом является монотонное возрастание по частоте.

5. Математический метод анализа, оценка результатов.

Математический анализ отклика сооружения проводится в несколько взаимосвязанных этапов:

5.1. Разработка предварительной МКЭ-модели.

На этапе предварительного моделирования разрабатываются, как правило, только МКЭ-модели пролетных строений, для этого используется проектная документация или данные обмеров (приложение 5). Целью этого этапа является получение последовательности собственных форм колебаний пролетного строения. Эти данные используются для разработки программы измерений и режимов нагружения.

5.2. Адаптация МКЭ-модели.

5.2.1. Адаптация МКЭ-модели сооружения производится на основе экспериментальных данных, полученных после проведения динамической диагностики, осмотра сооружения и установления причин различия теоретических и экспериментальных данных. Основными причинами могут являться:

- изменение расчетной схемы работы сооружения (заклинивание опорных частей, неравномерное опирание балок пролетного строения, нарушение взаимодействия пролетных строений с насыпями подходов, неразрезность слоев дорожной одежды между пролетами и т.д.);
- особенности работы опор, фундаментов и оснований;
- климатические условия проведения испытаний.

5.2.2. Адаптация достигается исследованием количественной оценки отдельных факторов на несоответствие теоретических и экспериментальных данных, затем методом последовательных итераций производится адаптация МКЭ-модели сооружения по экспериментальным данным.

5.2.3. В процессе итерационной адаптации производится усложнение предварительной модели – введение в модель всех пролетных строений, опор, фундаментов и оснований. В конечном итоге разрабатывается полномасштабная математическая модель сооружения.

5.2.4. Конечной целью адаптации МКЭ-модели является получение матрицы теоретических передаточных АФЧХ динамических прогибов, соответствующей матрице АФЧХ, полученной при проведении экспериментальных работ на мосту.

5.3. Проведение расчетов адаптированной МКЭ-модели для оценки остаточной грузоподъемности моста.

5.3.1. Оценка грузоподъёмности моста проводится с учетом действующей нормативной базы [2]. Для этих целей адаптированная МКЭ-модель сооружения изменяется для соблюдения условий проведения расчета по 1-му или 2-му предельному состоянию.

5.3.2. Одновременно производится оценка факторов, повлиявших на изменение расчетной схемы работы моста и его отдельных элементов. Факторы, снижающие несущую способность, сохраняются, а повышающие несущую способность, исключаются из МКЭ-модели.

5.3.3. МКЭ-модель должна разрабатываться с учетом требований СНиП 2.05.03-84* по п.п. 2.10 (коэффициенты надёжности для постоянных нагрузок), 2.12, 2.14 (нормативные временные нагрузки для подвижного состава на автомобильных дорогах), 3.63 (расчёт тавровых, двутавровых и коробчатых сечений с плитой в сжатой зоне) и 5.19 (расчёт сталежелезобетонной балки на воздействие положительного момента).

5.3.4. Учитывается нормативное или фактическое значение динамического коэффициента для подвижных нагрузок.

6. Форма представления результатов.

Предварительное заключение и научно-технический отчет или паспорт моста, разрабатываемые по результатам вибродиагностики моста, должны соответствовать требованиям соответствующих нормативных документов [1], [7], [9].

ЛИТЕРАТУРА

1. СНиП 3.06.07-86 «Мосты и трубы. Правила обследования и испытаний», Москва, Госстрой СССР, 1987.

2. СНиП 2.05.03-84* «Мосты и трубы», Москва, Госстрой СССР, 1991 г.

3. Дорожная терминология: Справочник. Под редакцией М.И. Вейцмана, Москва, Транспорт, 1985.

4. ВСН 24-88 «Технические правила ремонта и содержания автомобильных дорог», Минавтодор РСФСР, Москва, 1988.

5. ВСН 6-90 «Правила диагностики и оценки состояния автомобильных дорог», Минавтодор РСФСР, Москва, 1990.

6. ВСН 4-81 «Инструкция по проведению осмотров мостов и труб на автомобильных дорогах» Минавтодор РСФСР, Москва, 1990 г.

7. «Инструкция ФДД РФ по диагностике мостовых сооружений на автомобильных дорогах» от 24 февраля 1996 г.

8. ВСН 24-88 «Технические правила ремонта и содержания автомобильных дорог» Минавтодор РСФСР.

9. «Требования к техническому отчету по обследованию и испытанию мостовых сооружений на автодороге», утвержденные ФДД РФ в 1996 г.

10. РД 50-360-82 «Общие требования разработки и аттестации методик испытаний», Москва, Госстандарт СССР, 1983 г.

11. Методическая инструкция МН-30 «Динамическая диагностика автодорожных мостов и других типов сооружений». Система управления качеством ИСО-9000, Москва, ЦНИИС, 2001 г.

Приложение 1

Обоснование выбора метода вибродиагностики

Анализ динамических параметров, которые могут быть получены при различных методах вибродиагностики, показывает, что качественный уровень получаемой в результате вибродиагностики экспериментальной информации имеет достаточно широкий разброс. Большинство методов обеспечивают получение чисто качественной оценки параметров динамического отклика сооружения. Для получения количественных оценок и их сопоставления с расчетными данными перспективнее ориентироваться на методы активной диагностики и модального анализа.

При проведении оценки применимости получаемых экспериментальных данных для их многократного использования в мониторинге мостов необходимо провести их ранжирование. При повторной вибродиагностике автодорожных мостов контролируемыми параметрами могут являться: частоты низших форм колебаний пролетных строений, амплитуды динамических прогибов, получаемые при случайном воздействии, включая оценку добавки динамического коэффициента, спектры мощности или относительных амплитуд, амплитудо-фазо-частотные характеристики передаточных функций динамического прогиба от входного воздействия.

Частоты низших форм колебаний, как показывает практика, имеют значительный разброс даже для пролетных строений одного типоразмера (до 300%), сильно зависят от климатических условий, поскольку меняются модули упругости асфальтобетонного покрытия и грунта насыпи (для сопрягаемого с насыпью пролетного строения). С другой стороны, частота колебаний только незначительно уменьшается при наличии дефектов в сооружении, т.е. является малочувствительной характеристикой и ее использование для мониторинга малоперспективно.

Амплитуда динамического прогиба от случайного воздействия (включая оценку добавки динамического коэффициента) сильно зависит: при прогоне одиночного автомобиля - от скорости движения, состояния проезжей части, колесной формулы и загрузки, при ветровом или другом подобном воздействии – от скорости движения воздуха и направления ветра по отношению к сооружению и т.д. Поскольку повторяемость условий маловероятна, мониторинг состояния моста на основе этого параметра малоперспективен, так как потребует массивной выборки реализаций.

Получение спектров мощности или относительных амплитуд с достаточно высокой доверительной вероятностью требует проведения

длительных наблюдений, в течение нескольких часов. Структура этих спектров также будет сильно зависеть от изменения внешних условий, что делает их применение для мониторинга мостов малотехнологичным, ввиду длительности наблюдений.

Как показывает практика, более стабильной и чувствительной характеристикой является передаточная функция динамического прогиба, т.е. величина прогиба от действия единичного динамического усилия при плавном изменении частоты гармонического силового воздействия. Наиболее удобным образом она выражается как амплитудо-фазо-частотная характеристика (АФЧХ), которая отражает все формы колебаний, присущие сооружению в данном техническом состоянии. Совокупность (матрица) таких АФЧХ для всех информационно-значимых точек сооружения является его динамическим паспортом, отражающим его состояние на момент проведения вибродиагностики. Ближайшим аналогом передаточной функции для статического нагружения является экспериментальная линия или поверхность влияния. Особенно ценным свойством экспериментальных АФЧХ передаточных функций является возможность сопоставления их с расчетными, т.к. современные конечно-элементные программные комплексы это позволяют.

Проведенный анализ показывает, что при широком многообразии форм регистрации параметров динамического отклика сооружения, получаемых при различных методах вибродиагностики, многие параметры малопригодны для использования в качестве целевой функции при проведении экспериментальных работ по вибродиагностике сооружений.

Большинство вышеуказанных недостатков устранено при разработке технологии вибродиагностики автодорожных мостов, разработанной в ЦНИИС за последние годы, в результате применения современных информационных технологий, измерительной и испытательной техники. Примененный в данной технологии метод активной вибродиагностики особенно эффективен в тех случаях, когда требуется провести сплошной (100%) контроль состояния всех несущих элементов моста, включая опорные части, опоры и основания. Важной особенностью технологии вибродиагностики является способность обнаружения невидимых дефектов, которые не могут быть зафиксированы при традиционных методах обследования и испытаний. Сопоставление преимуществ и недостатков возможных методов вибродиагностики автодорожных мостов приведено в таблице 1.

Таблица 1

Сопоставление методов вибродиагностики

№ №	Факторы «+» - положительная оценка «-» - отрицательная оценка «?» - сомнительная оценка	Метод вибродиагностики			
		Пассивн.	Активная		
			Имульс	Вибро-машина	Сейсмо-вибратор
		1	2	3	4
1.	Время подготовки	+	+	-	+
2.	Стоимость работ	+	+	-	-
3	Оперативность	-	+	-	+
4.	Определение частот резонансов	+	+	+	+
5.	Определение спектров	+	+	+	+
6.	Добавка дин. коэффициента	+	+	+	+
7.	Определение форм колебаний	?-	?-	+	+
8.	Определение АФЧХ	-	-	+	+
9.	Повторяемость характеристик	-	-	+	+
10.	Совместимость с аналитическими методами расчета	+	+	+	+
11.	Совместимость с современным МКЭ расчетом	-	-	+	+
12.	Возможность использования данных для оценки остаточной грузоподъемности	?-	?-	+	+
13.	Возможность использования данных при повторной диагностике	?-	?-	+	+
14.	Возможность использования данных в динамическом паспорте сооружения и его ООБД	?-	?-	+	+
15.	Возможность создания на базе экспериментальных данных технологичной вибродиагностики автодорожных мостов	?-	?-	+	+

Пояснения: + - возможно, - - невозможно, ? - проблематично

Блок-схема основных технологических операций при проведении вибродиагностики



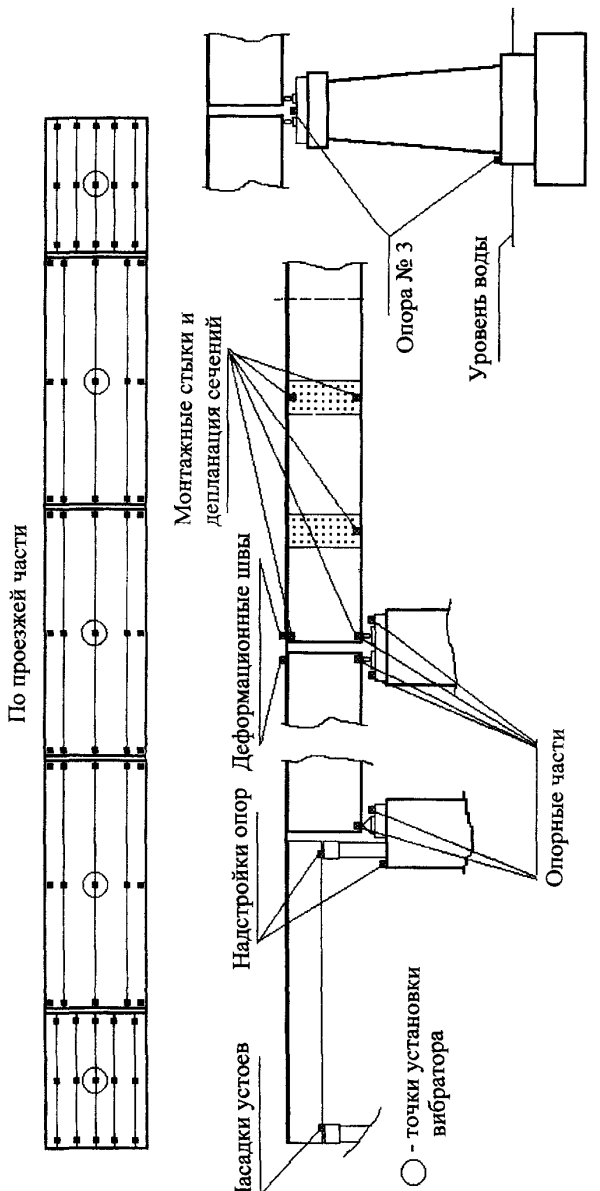
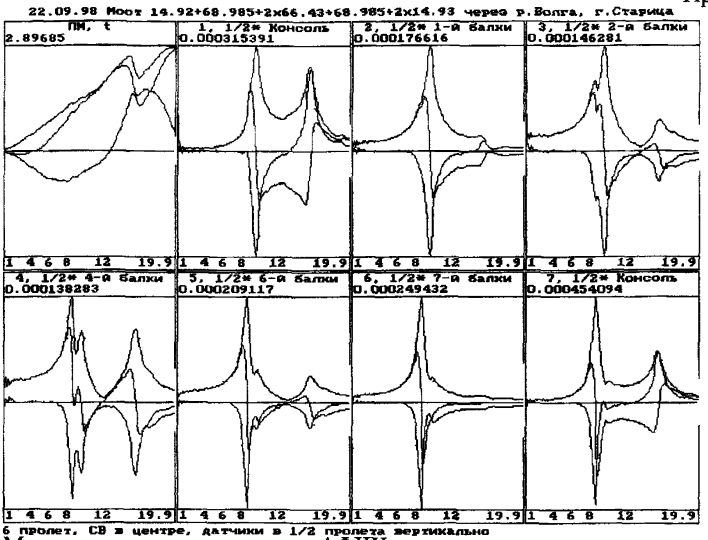
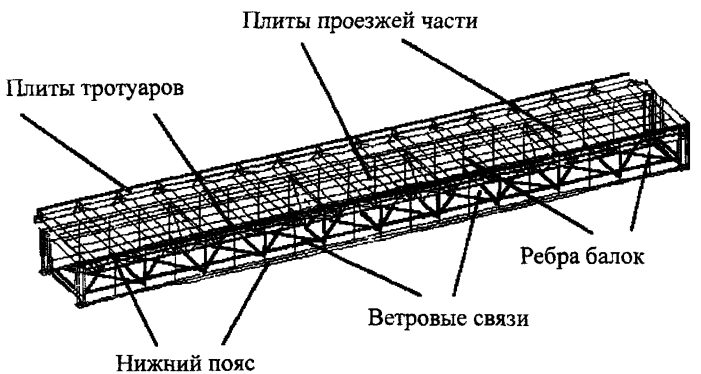


Схема нагружения и измерений при вибродиагностике большого моста



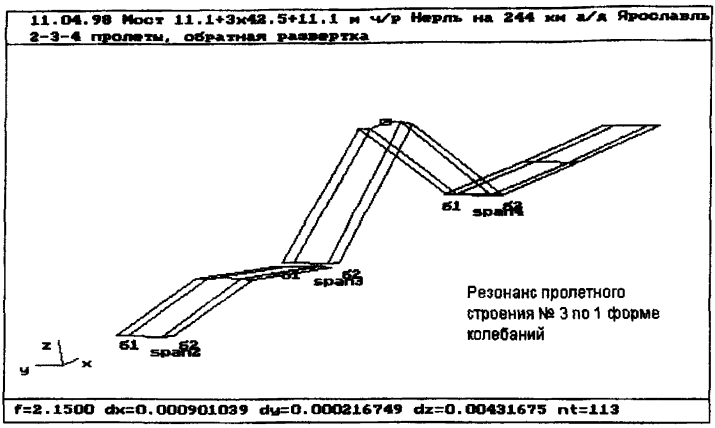
Матрица экспериментальных АФЧХ.

Абсцисса – частота (размерность - Гц). Ордината – амплитуда прогиба (модуль, действительная и мнимая составляющие) (размерность – прогиб в метрах / воздействие в тоннах).

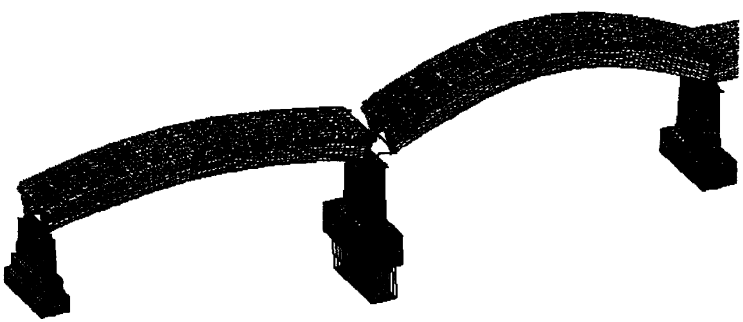


МКЭ - модель сталежелезобетонного пролетного строения

Расчетные и экспериментальные формы колебаний.



Экспериментальная форма колебаний сталежелезобетонных пролетных строений
на частоте 2.15 Гц.



Форма колебаний МКЭ-модели на частоте 2.2 ГЦ

Подписано в печать 06.09.2001 г. Формат бумаги 60х84 1/16.
Уч.-изд.л. 1,3. Печ.л. 1,5. Тираж 100. Изд. № 163. Ризография

Адрес ГП «Информавтодор»:
129085, Москва, Звездный бульвар, 21,стр. 1
Тел. (095) 747-9100, 747-9181,
тел./факс: 747-9113
e-mail: gost.e-ecolog.ru

gost.e-ecolog.ru