



Издается
с 1927 года

АВТОМОБИЛЬНЫЕ ДОРОГИ

№ 09 (994) СЕНТЯБРЬ 2014

www.avtodorogi-magazine.ru

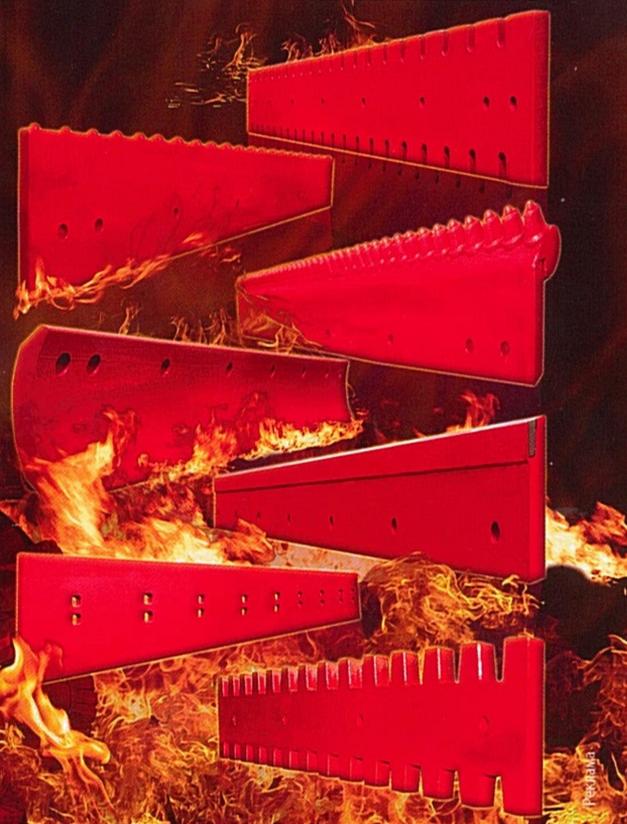
БОЛЕЕ **140**
ВИДОВ НОЖЕЙ



УФА ДОРМАШ

www.ufadormash.ru

*Горячая сталь для
зимних дорог!*



ТЕМА НОМЕРА

МОСТОСТРОЕНИЕ стр. 68

«ДИАГНОЗ» ДЛЯ МОСТА

В последнее время уделяется особое внимание техническому состоянию искусственных сооружений, и в частности, балочным мостам. Их распространённость на территории РФ продиктована экономической целесообразностью и относительной простотой проектирования и строительства с применением типовых решений.

Общее число мостов с балочными пролетными строениями составляет около 85%, а значит, на их содержание и ремонт выделяется большая часть средств для выполнения регламентных работ в соответствии с ОДМ 218.4.001-2008. Чем эффективнее и своевременнее вложены эти средства, тем выше транспортно-эксплуатационные показатели, безопасность и комфорт движения по автомобильным дорогам общего пользования.

Из практики обследований известно, что при назначении вида ремонта в соответствии с ОДМ применяется минимальный перечень работ. Порой он не позволяет на ранней стадии выявить причинно-следственные связи между моментом возникновения того или иного фактора, который со временем уменьшает долговечность отдельных элементов мостового перехода, и моментом, когда в конечном итоге происходит возникновение опасных дефектов, влияющих уже на несущую способность элемента или конструкции в целом. А значит, увеличивается вероятность поставить неверный «диагноз» (или вообще не увидеть симптомы будущих проблем) и бороться не с причиной «болезни», а с ее следствием. Это не эффективно с точки зрения расходования финансовых средств.

Если сравнить мост с организмом, то примером может служить сердце. О нем можно многое уз-

нать, если правильно обследовать. Также и мост: при динамических испытаниях пролетных строений выявляются все тонкие моменты, которые не видны с помощью других методов обследования. Определяются реальные значения периодов и частот собственных колебаний по модам, логарифмического декремента затухания, динамического коэффициента как функции скорости нагрузки. Эти характеристики нормируются согласно [1]. Именно отклонение значений этих характеристик от их нормируемых величин позволяет судить о симптомах «болезни» конструкции, ставить «диагноз» и назначать «лечение».

За последние 15 лет в результате развития экономики увеличилась интенсивность подвижной нагрузки, изменилась ее грузоподъемность и база. Откликом на эти изменения стало появление новой нормативной нагрузки [2]. За счет изменения состава транспортного потока поменялась и фактическая нагрузка на мосты. Можно отметить, что процент в потоке автомобилей по типу «еврофур» повышенной массы (5–6–8-осных) сильно возрос, и особенно это заметно на федеральных автомобильных дорогах. Большинство мостов были запроектированы по «старым» нормам, в которых подвижная временная нагрузка была представлена АК-11 и НК-80. Поэтому процедуры обследования и испытаний

П.А. Елугачёв, к.т.н., директор ООО «Индор-мост»
А.Е. Гостев, начальник отдела проектирования искусственных сооружений ООО «Индор-мост»
В.М. Бродский, к.т.н., доцент, Томский государственный университет
В.Ф. Гордеев, ст. научный сотрудник, Институт мониторинга климатических систем СО РАН
Б.Г. Акимов, ст. преподаватель, Томский государственный архитектурно-строительный университет, научный консультант ООО «Индор-мост»

мостов, позволяющие оценивать техническое состояние и надежность мостов, являются особо актуальными.

Испытание является наиболее точным способом оценки состояния пролетного строения [3–6]. Статические и динамические испытания проводятся для оценки действительной работы пролетных строений под действием испытательной нагрузки. Однако значимость результатов тех или иных испытаний различна.

По результатам статических испытаний, как правило, оценивается пространственная работа пролетных строений, особенно при несимметричном расположении нагрузки вдоль и поперек моста. Определяются прогибы, деформации и напряжения в характерных сечениях с обязательным сопоставлением полученных значений с расчетными значениями. Данные статических испытаний важны, но недостаточны. Для всестороннего анализа работы конструкции применяют нагружение подвижной нагрузкой, или, другими словами, динамические испытания. При динамических испытаниях очень важно не перегрузить конструкцию. Поэтому предварительно составляется и утверждается программа испытаний, производятся теоретические расчеты по определению величины испытательной нагрузки и предполагаемых значений прогибов, перемещений, де-

формаций, периода и частоты собственных колебаний

В полевой этап работы осуществляются измерения. В качестве программно-технического комплекса используется «Фаза-1», разработанная ООО «Индор-Мост» совместно с Томским научным центром и сертифицированная как средство измерения RU.E.27.007.A № 12230 (рис. 1).

Комплекс предназначен для измерений вертикальных прогибов и колебаний элементов конструкций инженерных сооружений (пролетных строений мостов, путепроводов и др.) в диапазоне ± 50 мм и обеспечивает одновременные измерения перемещений в 10 точках сооружения с расстоянием между двумя крайними точками измерений до 90 м, а также определение спектра частот колебаний пролетных строений с выделением собственных и вынужденных колебаний, логарифмического декремента затухания колебаний, динамического коэффициента.

На рис. 2, 3 представлены результаты замеренных и теоретически вычисленных прогибов балок для нагруженных пролетов (испытание моста через морской залив, которое проводилось на севере о. Сахалин в феврале 2014 г.). Теоретические прогибы определялись двумя способами. Первый способ основан на учете коэффициентов поперечной установки (КПУ) на балки по методу внецентренного сжатия от испытательной нагрузки и на рисунках представлен кривыми 2. Этот метод использовался при экспресс-оценке деформированного состояния пролетного строения как дублирующий и может эффективно применяться, например, при приемочной диагностике, когда выполнены работы по ремонту, реконструкции, новому строительству моста. Как видно из приведенных графиков, в большинстве случаев нагружения метод внецентренного сжатия дает удовлетворительные результаты. Вторым способом теоретические

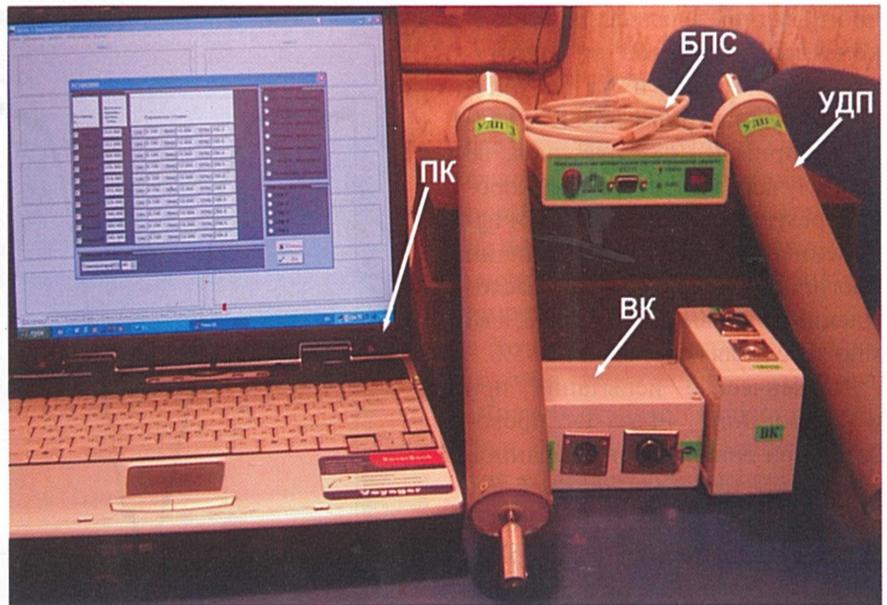


Рис. 1. Внешний вид многоканальной системы для измерений вертикальных перемещений «Фаза-1»: БПС – блок питания и связи; УДП – ультразвуковой датчик перемещений; ВК – выносной контроллер; ПК – персональный компьютер

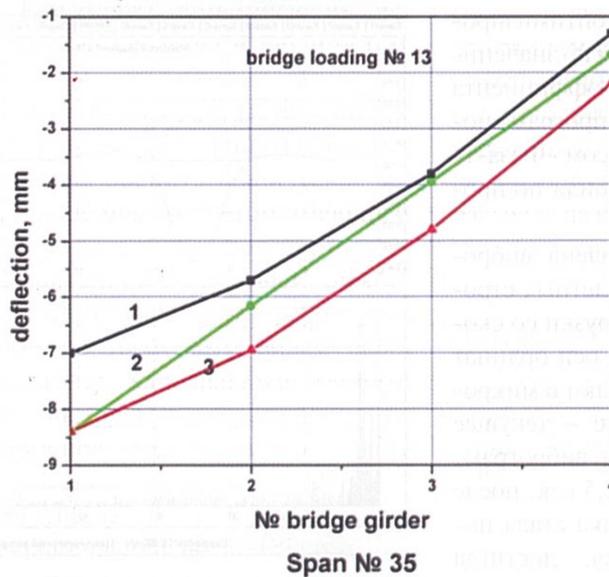


Рис. 2. Прогибы при загрузке верхней стороны
1 – прогибы от испытательной нагрузки;
2 – прогибы расчетные по ПК «Лира»;
3 – прогибы расчетные по ПК «Мидас»



Рис. 3. Прогибы при загрузке нижней стороны
1 – прогибы от испытательной нагрузки;
2 – прогибы расчетные по ПК «Лира»;
3 – прогибы расчетные по ПК «Мидас»

прогибы определялись по методу конечных элементов от испытательной нагрузки и на рисунках представлены кривыми 3. Как видно из приведенных графиков, во всех случаях этот метод дает хорошие результаты по сходимости измеренных и вычисленных величин прогибов. Максимальное расхождение не превышает 10–15%, а во многих случаях составляет 3–5%.

Динамические испытания при использовании «Фаза-1» проводятся при движущемся с заданной скоростью груженом автомобиле, при этом прогибы с подключенных датчиков регистрируются 100 раз в секунду, что обеспечивает анализ колебаний конструкций в диапазоне от 0 до 50 Гц.

Скорости движения автомобилей выбираются в пределах от 20 до 60 км/ч, что позволяет оптимизировать скоростной режим по значениям динамического коэффициента ($1+\mu$), определяемого программно-техническим комплексом «Фаза-1» после прохода автомобиля по пролетному строению.

На рис. 4 представлена виброграмма одного из пролетных строений при проходе нагрузки со скоростью 20 км/час. По оси ординат отложены прогибы балки в микронах, а по оси абсцисс – текущее время в секундах. Из виброграммы видно, что через 2,5 сек. после начала измерений балка стала постепенно прогибаться, достигла максимального значения 1600 мкм (1,5 мм) в 5,5 сек. и вернулась в исходное состояние через 8 сек. Таким образом, реакция пролетного строения на проходящую нагрузку составила 5,5 сек. Зная длину балки, можно оценить скорость автомобиля $((22+V)/5,5 = 5$ м/с, где V – база автомобиля), что составляет 18 км/ч.

Также видно, что, кроме квазистатического прогиба, пролетное строение имеет высокочастотные колебания, обусловленные вынужденной нагрузкой и собственными колебаниями.

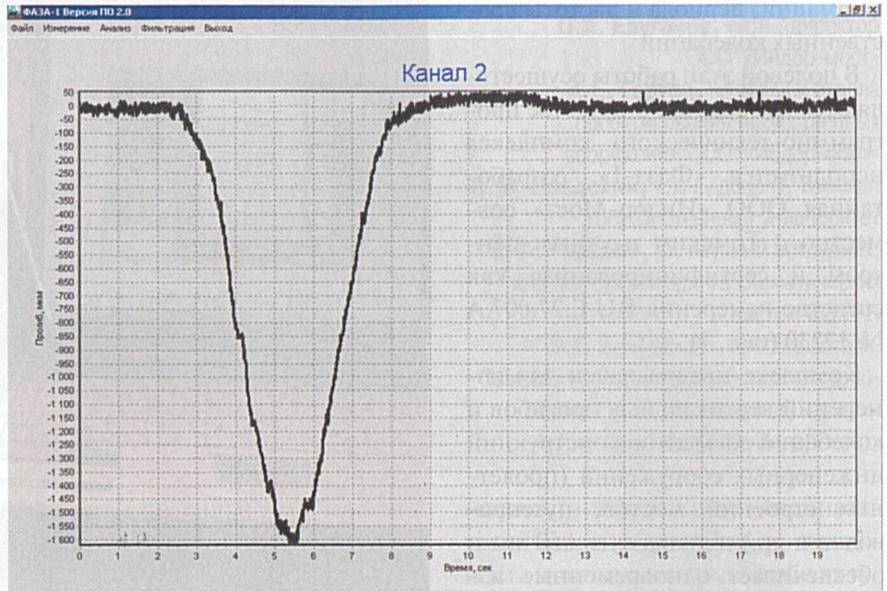


Рис. 4. Виброграмма пролетного строения

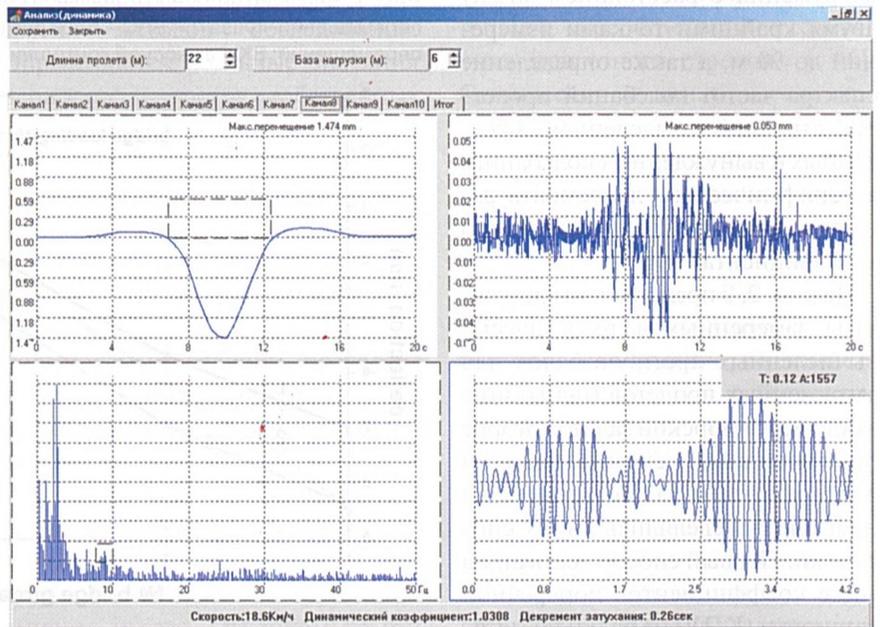


Рис. 5. Вид интерфейса программы расчета динамических параметров, где: – в верхнем левом окне представлен квазистатический прогиб балки, – в правом верхнем окне представлены высокочастотные колебания балки, – в нижнем левом окне представлен результат преобразования Фурье с выделением основных гармоник колебания балки, где отчетливо проявляется частота вынужденных колебаний с максимумом в районе 2,5 Гц, а также собственные колебания с максимумом 8,5 Гц, – в правом нижнем окне – вид затухания основной гармонике колебаний, по которому определяется декремент затухания.

Таблица 1.

№ п/п	Скорость подвижной нагрузки, км/ч	Динамический коэффициент $1+\mu$	Частота/период собственных колебаний, Гц/с	Декремент затухания, сек.
1	18,8	1,024	8,89 / 0,11	0,09
2	39,9	1,261	8,55 / 0,12	0,12
3	53,5	1,209	8,34 / 0,12	0,42

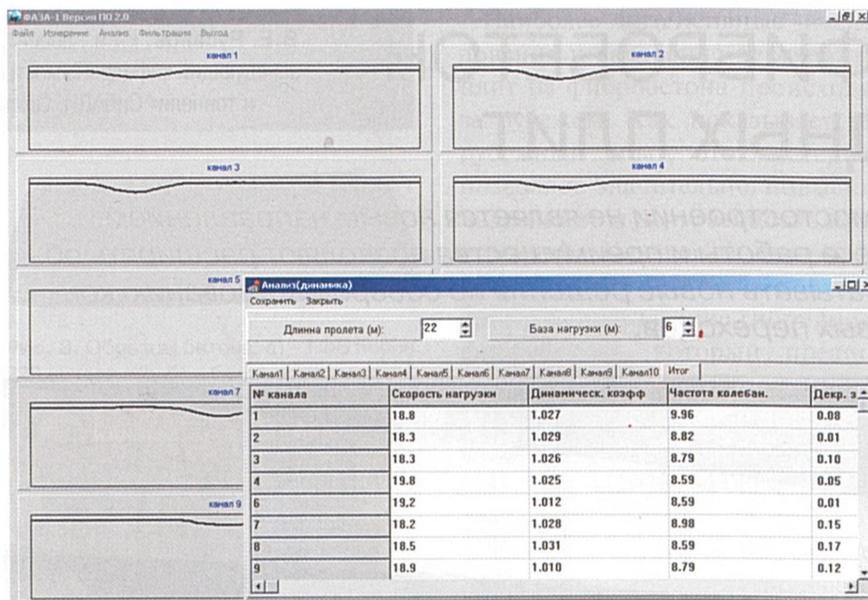


Рис. 6. Динамические характеристики по результатам испытаний при скорости прохода нагрузки 20 км/час

Основным критерием безопасной эксплуатации инженерного сооружения является разница между собственными и вынужденными колебаниями, что не позволит достичь резонанса пролетного строения.

На рис. 5 представлен расчет динамических характеристик пролетного строения по каждой балке при проходе испытательной нагрузки со скоростью 20 км/час.

В нижней строке представлены основные результаты динамических характеристик пролета при заданном проходе автомобиля (скорость нагрузки = 18,6 км/ч, динамический коэффициент = 1,0308, декремент затухания = 0,26 сек).

На рис. 6 на фоне виброграмм всех балок двух пролетов (при скорости нагрузки 20 км/ч) представлены результаты динамических характеристик пролетных строений.

Анализируя результаты измерений, получены следующие значения:

- средняя скорость нагрузки = 18,8 км/ч;
- динамический коэффициент = 1,024;
- частота/период собственных колебаний = 8,89 Гц / 0,112с;
- декремент затухания = 0,09 с.

Результаты динамических испытаний сводятся в таблицу (см. табл. 1)

Полученные данные по динамическому обследованию позволяют в целом оценить техническое состояние моста с учетом имеющихся дефектов по долговечности, безопасности и несущей способности и выработать рекомендации по требуемым видам работ (ремонт, капитальный ремонт, реконструкция, ограничения по грузоподъемности или скорости движения).

Приведем в качестве примера рекомендации по результатам последних испытаний моста на о. Сахалин.

На мосту необходима установка знака «Ограничение скорости до 40 км/ч», т. к. значение логарифмического декремента затухания превышает его нормативное значение. В результате проведенных испытаний было получено, что период собственных колебаний (в ненагруженном состоянии) по второй низшей форме равен 0,6, т. е. верхнему пороговому (запрещенному) значению. Для увеличения периода собственных колебаний по второй низшей форме необходимо прове-

дение ремонтных работ проезжей части с целью укладки дополнительного слоя асфальтобетонного покрытия толщиной 3–4 см. После укладки дополнительного асфальтового покрытия необходимо провести повторные испытания с целью подтверждения увеличения периода собственных колебаний по второй низшей форме.

Хотелось бы отметить, что программно-технический комплекс «Фаза-1» отличается простотой использования одновременно с низкой стоимостью и высокой точностью получаемых результатов.

И последнее. Сложилось мнение, что проведение испытаний балочных мостов на динамическую нагрузку – дорогостоящий и долгий процесс, который применяется в исключительных случаях. На это можно с уверенностью возразить, что экономия денег на испытаниях с высокой долей вероятности вызовет серьезную «болезнь» моста, которая будет являться причиной дальнейших, более значительных расходов на поддержание его в нормативном состоянии. ❖

Литература

1. Временная инструкция по диагностике мостовых сооружений на автомобильных дорогах. (Распоряжение Росавтодора № ОС-467-р, 2003 г.)
2. ГОСТ Р 52748-2007 «Нормативные нагрузки, расчетные схемы нагружения и габариты приближения. Дороги автомобильные общего пользования». М.: Стандартинформ, 2008. 9 с.
3. ВСН 4-81(90) «Инструкция по проведению осмотров мостов и труб на автомобильных дорогах».
4. ОДН 218.0.017-03 «Руководство по оценке транспортно-эксплуатационного состояния мостовых сооружений». (Распоряжение Росавтодора от 29.03.2003 № ОС-198-р).
5. ОДН 218.0.004-2003 «Руководство по надзору за искусственными сооружениями на автомобильных дорогах». Минтранс РФ, Росавтодор.
6. ОДН 218.0.032-2003 «Временное руководство по определению грузоподъемности мостовых сооружений на автомобильных дорогах». Минтранс РФ, Росавтодор.