

Создание системы непрерывного мониторинга состояния вантового моста Факел через р. Шайтанку в Салехарде



О. В. Крутиков,
к. т. н., генеральный директор
ООО «Т.К.М.»,
Москва

В июле 2007 г. введена в эксплуатацию система непрерывного мониторинга (СНММ-Ш) состояния вантового моста Факел через р. Шайтанку в г. Салехарде, предназначенная для непрерывного наблюдения за состоянием несущих конструкций моста и накопления информации о соответствующих параметрах с целью последующей их обработки.

Автомобильный мост Факел в г. Салехарде (рис. 1) расположен в створе ул. Чубынина, главным пролетом перекрывает зеркало подпертого уровня р. Шайтанки и связывает центральные районы города с аэропортом. Мост был построен силами СП «Мостострой-12» по проекту Проектного бюро ОАО «Мостобуд» (г. Киев) в 2004 г.

Несущие конструкции моста запроектированы под две полосы движения при автомобильной нагрузке А11 и колесной нагрузке НК-80. Полная длина моста по задним граням открьлков устоев составляет



А. В. Сырков,
к. т. н., доцент, заместитель
генерального директора
ЗАО «НИПИ ТРТИ»,
Санкт Петербург

169,5 м. Мост вантовый, однопролетный, со схемой пролетов 100+50 м. Габарит проезжей части моста между барьерными ограждениями составляет 11,5 м. Ширина прохода по тротуарам 2 м.

Индивидуальное пролетное строение моста вантовой системы представляет собой неразрезную двухпролетную стальную балку жесткости с ортотропными плитами проезжей части и тротуаров, в поперечном сечении которой расположены две главные балки открытого сечения. Расстояние между балками в осях 13,5 м. Высота их постоянна по длине моста и составляет 2,2 м.

Балка жесткости заделана в бетон конструкции устоя № 3, расположенного со стороны берегового пролета. На устое № 1 и на опоре № 2 она опирается на стаканые линейно-подвижные опорные части.

Деформационный шов расположен между устоем № 1 и торцом балки жесткости.



И. Ш. Гершуни,
к. т. н., доцент,
главный специалист ООО «Т.К.М.»,
Москва

В пролете № 1 балка жесткости поддерживается двумя парами вант, начинающихся примерно в третях пролета и сходящихся на пилоне в уровне его ригеля. В береговом пролете пары вант параллельны. Витые ванты английской фирмы «Брайдон» в русловом пролете имеют диаметр 83 мм, а в береговом 95 мм. Балка жесткости и подходящие к ней ванты дополнительно соединены гасителями колебаний. Кроме того, такие же гасители установлены между парами вант.

Пилон моста имеет наклон к вертикали вдоль моста 15° (по проекту) в сторону руслового пролета. Полная длина металлоконструкций пилона, измеренная вдоль его оси, составляет 61,75 м. По фасаду пилон шарнирно опирается на ростверк. В поперечном направлении он имеет рамную конструкцию в виде двух наклонных стоек коробчатого сечения, соединенных жестким ригелем. Расстоя-

инга



Шуни,
цент,
ООО «Т.К.М.»
а

алка жесткости
вумя парами
ся примерно
сходящихся на
ригеля. В бе-
ры вант парал-
ты английской
русловом про-
83 мм, а в бе-
лка жесткости
ванты допол-
ы гасителями
того, такие же
ы между пара-

имеет наклон
моста 15° (по
условного про-
а металлокон-
измеренная
являет 61,75 м.
рирно опира-
поперечном на-
рамную кон-
вух наклонных
ечения, соеди-
елем. Расстоя-



Рис. 1. Автодорожный мост Факел в г. Салехарде

ние между осями стоек пилона 20,22 м.

На ригеле пилона между его стойками устроен трехъярусный ресторанный комплекс. Для подъема в ресторан предназначены два лифта, передвигающиеся по наклонным шахтам, размещенным на стойках пилона.

Район местоположения моста относится к северной строительно-климатической зоне. Среднемесячная относительная влажность воздуха – более 75 %. Абсолютная минимальная температура – минус 54 °С, абсолютная максимальная температура +31 °С.

Поставлены следующие цели мониторинга:

- повышение эксплуатационной надежности несущих конструкций моста на основе непрерывного отслеживания и накопления данных об их техническом состоянии с целью статистического и научно-го анализа;
- обеспечение безопасности и комфортности использования верхних помещений ресторана на

основе непрерывного контроля вибраций в уровне пилона;

- своевременное оповещение о возникновении сверхнормативных отклонений в работе конструкций;
- выбор наилучших и безопасных режимов эксплуатации моста;
- совершенствование конструкций моста в процессе эксплуатации.

Создание системы мониторинга осуществлялось в два этапа. На этапе разработки проекта системы мониторинга выполнены следующие работы:

- обследование сооружения;
- разработка концепции мониторинга моста, включая постановку задач мониторинга, определение его параметров с учетом различных сценариев критического поведения конструкций, расчетные исследования модели моста и т. п.;
- составление технического задания на создание системы мониторинга моста;
- разработка проектной документации;

• составление технического задания на программное обеспечение;

- разработка программы калибровки системы мониторинга при загрузке ее временными подвижными испытательными нагрузками с учетом требований СНиП 3.06.07-86.

На этапе ввода системы в действие выполнены следующие работы:

- поставка оборудования систем мониторинга;
- разработка прикладного программного обеспечения;
- моделирование работы системы в лабораторных условиях;
- монтаж оборудования;
- разработка эксплуатационной документации;
- пусконаладочные работы;
- обучение персонала работе с СНММ-Ш;
- испытания моста при приеме СНММ-Ш в эксплуатацию.

При разработке проекта мониторинга проводили расчеты на действие постоянных и временных

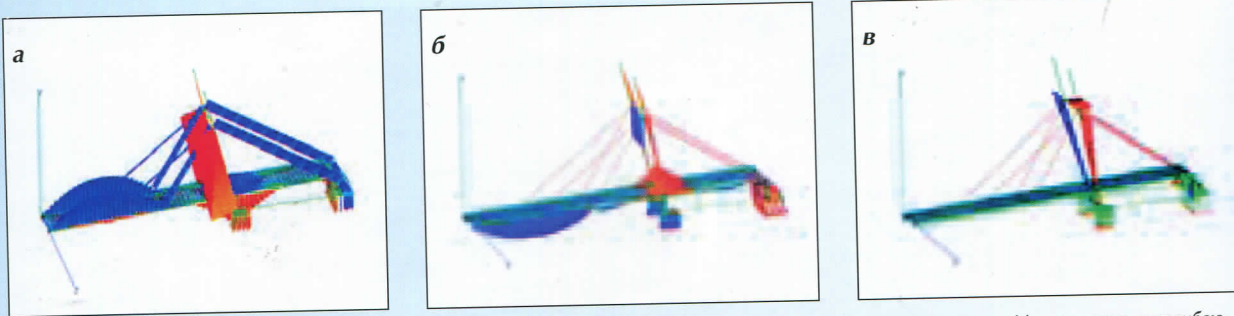


Рис. 2. Расчеты на статическую нагрузку: а – эпюра нормальных сил; б – эпюра изгибающих моментов M_w ; в – эпюра изгибающих моментов M_v

нагрузок с целью сопоставления их с данными проектных расчетов и приемочных испытаний моста. Были определены диапазоны изменения параметров напряженно-деформированного состояния несущих конструкций моста от действия временных нагрузок. Выполнены расчеты по подбору испытательных нагрузок при калибровке системы. Определены динамические характеристики моста – основные формы и частоты свободных колебаний.

Для предварительных статических и динамических расчетов моста по плоской расчетной схеме, а также для расчетов на действие температуры использовался программный комплекс GER (автор И. Ш. Гершуни). Для окончательных статических и динамических расчетов по пространственной расчетной схеме использовался программный комплекс MAV. Structure (автор А. В. Матвеев). Балку жесткости и пилон моделировали стержнями, а каждый вант – несколькими отрезками пологих гибких нитей.

В расчетах по пространственной расчетной схеме сечение главной балки моделировали тремя группами стержней. Первая группа – продольные стержни верхнего пояса, находящиеся по высоте в уровне центра тяжести ортотропной плиты тротуара. Вторая группа – продольные стержни нижнего пояса, расположенные по высоте в уровне центра тяжести сечения, включающего листы стенки и нижнего пояса главной балки. Третья группа – вертикальные стержни-вставки между поясами. В расчетную модель балки жесткости включали, помимо главных балок, также продольные стержни ортотропной плиты, расположенные по ширине проезжей части, и поперечные стержни, моделирующие работу поперечных балок.

На рис. 2 приведены эпюры усилий в системе от постоянных нагрузок, а на рис. 3 показаны колебания по первым трем собственным формам.

В состав технических средств СНММ-Ш входят датчики виброускорений – акселерометры (ДУ) –

5 шт., тензодатчики (Д) – 12 шт., датчики наклона (ДН) – 2 шт., датчики температуры (ДТ) – 8 шт., датчик ветра (ДВ), измерительный усилитель, согласующие усилители сигналов акселерометров, персональный компьютер (сервер), источники питания и др.

Сервер, усилители и другие устройства СНММ-Ш размещены в центре управления мониторингом, расположенном в одном из помещений ресторанный комплекса.

Первичные преобразователи (датчики) установлены на конструкциях моста. Датчики СНММ-Ш обеспечивают измерение следующих факторов напряженно-деформированного состояния элементов: линейных виброускорений пилон и балки жесткости, продольных (вдоль оси балки) деформаций (напряжений) той же балки, угловых перемещений (наклонов) пилон, температуры пролетного строения. Кроме того, регистрируются метеопараметры (скорость и направление ветра) и температура воздуха.

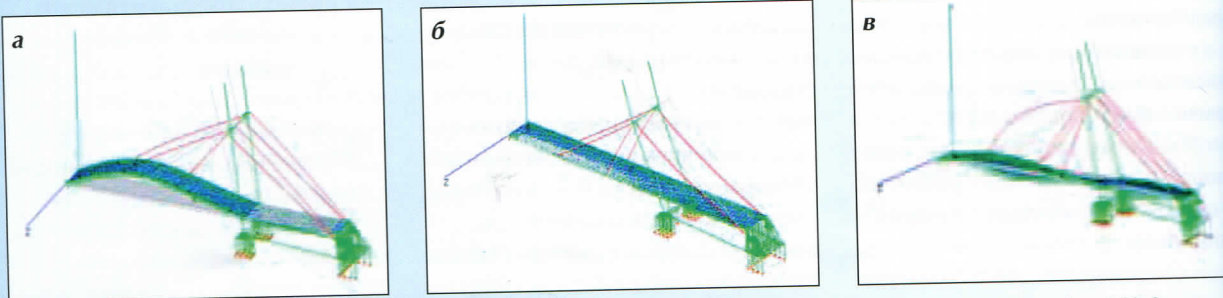


Рис. 3. Результаты динамических расчетов: а – форма колебаний № 1 с частотой 0,6990 Гц; б – форма колебаний № 2 с частотой 0,7896 Гц; в – форма колебаний № 3 с частотой 1,2458 Гц



Рис. 4. Глав

СНММ-Ш следующие

- амплитуды вибро
- характеристики
- частоты и
- средние значения вибр
- мые по ф

a_{wi}

- действующие напряжен
- константы
- при определ
- $\Phi_{Ai} = \Phi_i(t)$
- определяются
- рас
- в завис

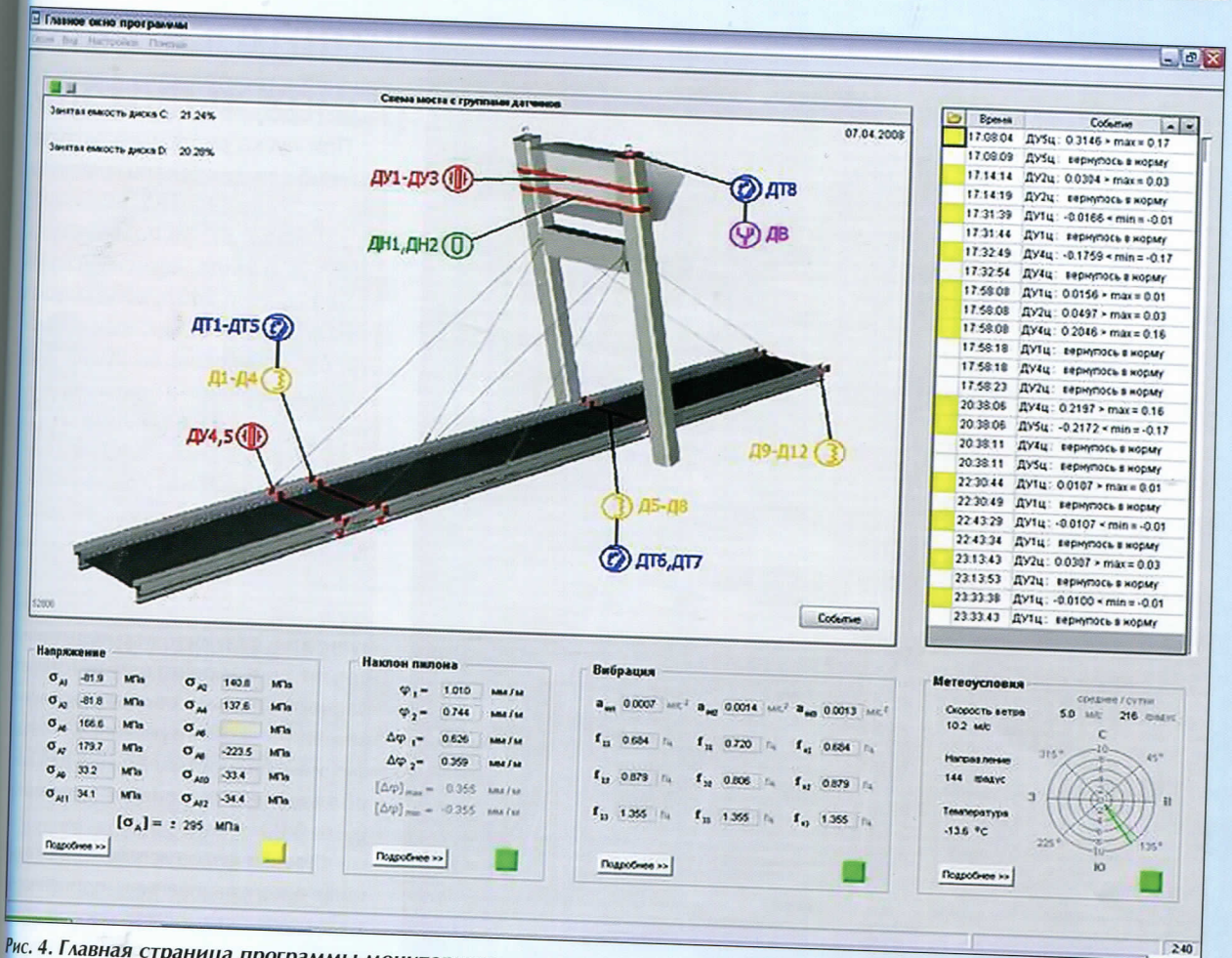


Рис. 4. Главная страница программы мониторинга

СНММ-Ш оценивает расчетом следующие косвенные параметры:

- амплитудно-частотные спектры виброускорений;
- характеристики мод (резонансных пиков) амплитудно-частотных спектров виброускорений – частоты и амплитуды;
- средние квадратические значения виброускорения, определяемые по формуле:

$$a_{wi} = \left[\frac{1}{T} \int_0^T a_i^2(t) dt \right]^{1/2};$$

- действующие (абсолютные) напряжения $\sigma_{Ai} = \sigma_i + \sigma_{i0}$, где σ_{i0} – константа, оцениваемая расчетом;
- приведенные наклоны пилона $\varphi_{Ai} = \varphi_i(t) + \varphi_{i0}$, где φ_{i0} – константа, определяемая по результатам начальных измерений;
- расчетные наклоны пилона в зависимости от температуры

$\varphi_{Ti}(t) = \alpha_i \tau_i(t)$, где α_i – константа, оцениваемая расчетом.

При мониторинге проверяется попадание значений контролируемых параметров в пределы допустимых диапазонов. Последние для каждого параметра задаются, исходя из требований нормативных документов, действующих в системе проектирования, строительства и эксплуатации мостов, а также с использованием данных, накопленных в период начальной эксплуатации системы мониторинга.

Пределы допустимых диапазонов, свидетельствующие о переходе моста или его узла в «неисправное» состояние по данному параметру, названы критическими. Факт выхода за эти пределы назван «критическим происшествием (событием)» и сообщается оператору в виде светового сигнала красного

цвета. Для своевременного предупреждения о приближении параметра к критическому пределу заданы «предупредительные» пределы допустимого диапазона. Факт выхода за эти пределы назван «предупредительным происшествием (событием)» и сообщается оператору в виде светового сигнала желтого цвета. Световой сигнал зеленого цвета свидетельствует об исправном состоянии.

Обслуживающий персонал получает информацию о состоянии моста через сервер, на котором установлено специализированное программное обеспечение. Главная страница программы мониторинга (рис. 4) содержит изображение моста с указанием мест установки датчиков; функциональные зоны, содержащие числовые значения и графические изображения



Рис. 5. Статические и динамические испытания моста

структивно-технологических решений, совершенствование проектирования, строительства и эксплуатации подобных сооружений.

При пуске системы в эксплуатацию были проведены статические и динамические испытания моста (рис. 5). Использовалась нагрузка в виде автосамосвалов общей массой 240 т, создававшая усилия в пролетном строении моста, составляющие до 80–90 % от воздействия нормативной нагрузки А11 с полным динамическим коэффициентом. Реакция конструкции на испытательную нагрузку в виде наклонов, деформаций (напряжений), виброперемещений регистрировалась датчиками измерительной системы. Результаты статических испытаний достаточно хорошо соответствуют расчетам, о чем свидетельствуют величины конструктивных коэффициентов, составляющих для наиболее нагруженных сечений 0,85–0,93.

Динамические испытания выполнялись с использованием одиночного груженого автомобиля массой 20 т. Наибольший динамический коэффициент (1,05) при движении без порожа отмечен на скорости 40 км/ч. Значения динамических коэффициентов при движении автомобилей по искусственной неровности – порожа составили 1,096 и 1,12.

Испытания подтвердили работоспособность системы мониторинга. По их результатам установлено, что СНММ-Ш достоверно отражает состояние моста.

В создании системы участвовали МУ «Салехардская дирекция единого заказчика» (заказчик); ЗАО «НИПИ ТРТИ» (генподрядчик, обследование, монтаж, испытание); ООО «Т.К.М.» (разработка концепции, проекта, пусконаладочные работы); ЗАО «Промтекс» (разработка прикладного программного обеспечения, участие в пусконаладочных работах); ЗАО «Местехник-НВМ» (поставщик оборудования).

контролируемых параметров; журнал происшествий.

Программа мониторинга обеспечивает доступ к дополнительным страницам, содержащим информацию о прямых и косвенных параметрах мониторинга. Возможен просмотр графиков изменения параметров во времени в двух вариантах: за последние два часа и за последние сутки.

В случае регистрации системой факта недопустимого изменения состояния моста по какому-либо параметру она переключением цвета индикатора в соответствующей функциональной зоне посылает

оператору сигнал. Оператор получает информацию о том, по какому из параметров зафиксировано изменение состояния. При возникновении «происшествия» система также заполняет журнал происшествий, который может быть просмотрен оператором на экране и распечатан для дальнейшего использования.

Информация о параметрах состояния моста накапливается для последующих исследований. На основе анализа накопленных данных возможны оценка тенденций изменения фактической работы несущих конструкций моста во времени и эффективности кон-

Опыт из МОСТОВЫХ



Н. В. Павлов
академик
генеральный директор
ЗАО «Кургансталь»

ЗАО «...» одно из крупнейших предприятий в области производства стальных конструкций, в том числе строений мостового назначения. Ведя отечественный, Кургансталь наращивает объем производимых стальных конструкций. В 2007 г. было изготовлено мостовых стальных конструкций на сумму 1,2 млрд руб.

Продукция предприятия пользуется заслуженным спросом у заказчиков. Своим опытом предприятие делится с конкурентами, что способствует увеличению объема производства. «Кургансталь» является лидером в отрасли заводов строителей мостов, как по качеству, так и по объему производства.

История предприятия началась на европейском рынке свое начало положило в 1992 году, когда было организовано