

ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ ПРИ НЕПРЕРЫВНОМ МОНИТОРИНГЕ СОСТОЯНИЯ МОСТОВ



О. Крутиков
Генеральный директор ООО «Т.К.М.»,
старший научный сотрудник Научного
центра по исследованию мостов
и транспортных сооружений,
кандидат технических наук

В принятой сейчас практике содержания автодорожного моста его состояние оценивается в процессе надзорных мероприятий, которые включают в себя осмотры, диагностические, текущие, предремонтные обследования и испытания. Эти мероприятия выполняются с периодичностью от нескольких месяцев до нескольких лет. В промежуточные периоды состояние моста и условия, в которых он эксплуатируется, остаются неизвестными. Мосты являются сложными техническими объектами. Современные тенденции развития измерительных и вычислительных технических средств делают актуальным установление постоянной связи между сооружением и обслуживающим его персоналом, которая обеспечит передачу информации о состоянии сооружения в непрерывном режиме.

Непрерывное слежение за состоянием моста может быть достигнуто при мониторинге. Известны зарубежные примеры организации мониторинга в Японии на мосту «Акэси Кэйкаэ» («Akashi Kaikyo») [1], в США на мосту «Коммодор Джон Барри» («Commodore John Barry Bridge») через р. Делавер возле Филадельфии [2], на мостах в Южной Корее [3] и на других мостах в разных странах. В России система непрерывного мониторинга функционирует на мосту через р. Мацесту на км 2+156 а. д.

Джубга – Сочи (обход г. Сочи) с 2005 г. [3].

Для организации мониторинга на мосту устанавливается измерительная информационная система (ИИС). Такая система состоит из совокупности функционально объединенных измерительных, вычислительных и других вспомогательных технических средств, с помощью которых в течение определенного существенного периода времени осуществляется получение информации о состоянии моста, ее преобразование и предоставление оператору в требуемом виде.

По назначению предполагается использование ИИС для организации мониторинга двух видов: исследу-

вательского и контрольного. При исследовательском мониторинге ИИС выполняет измерение параметров, характеризующих состояние моста, и их накопление для последующих исследований. Текущие значения параметров могут демонстрироваться в реальном времени оператору.

При контрольном мониторинге ИИС используется как система, которая следит за соответствием между текущим состоянием моста и заданными нормами. Нормы контроля – это пределы допустимого изменения параметров, характеризующие границу исправного и неисправного состояний моста в целом или его отдельных узлов.



Мост через реку Мацеста на обходе Сочи

Превышение таких пределов, выявленное ИИС, фиксируется и сообщается оператору.

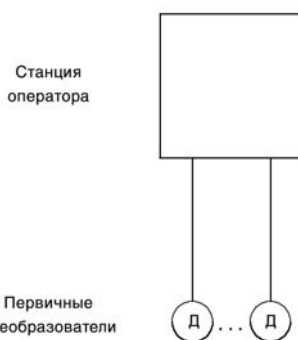
Реализация функций ИИС обеспечивается согласованным функционированием ее составляющих, а именно, технического, информационного, математического, программного и организационного обеспечения [5]. Ниже приведены отличительные особенности и требования к ИИС, возникающие при организации непрерывного мониторинга состояния моста.

Техническое обеспечение представляет собой комплекс технических средств (ТС), предназначенных для обеспечения работы системы мониторинга. ТС включают в себя первичные преобразователи (датчики), размещенные на конструкциях моста, согласующие и передающие модули, измерительные кабели, кабели питания, станции оператора и т.п.

В качестве входных параметров ИИС при мониторинге выбираются параметры, представляющие информацию о напряженно-деформированном или ином состоянии моста, изменении его состояния или условий его эксплуатации. Как правило, измеряются перемещения, наклоны, деформации (напряжения), виброускорения, температура и усилия в узлах и элементах моста, скорость и направление ветра. Для этого используются соответствующие выпускаемые промышленностью датчики.

При выборе типа, метрологиче-

Рис. 1
Распределение ТС мониторинга по конструкции для моста длиной до 150-200 м



ских характеристик датчика, места его размещения должна учитываться реакция конструкции по данному параметру на все возможные воздействия, прикладываемые к мосту в период эксплуатации, в том числе реакция конструкции на определенные воздействия, за которыми ведется наблюдение в процессе мониторинга.

Информацию о текущем состоянии объекта обслуживающий персонал должен получать через станции оператора. Как правило, это ЭВМ, оснащенные необходимым периферийным оборудованием, программным обеспечением и установленные в пригодных для непрерывного дежурства помещениях (диспетчерских).

На относительно небольших мостах (длиной до 150 – 200 м) возможна организация «сосредоточенной» ИИС. В этом случае датчики с помощью кабелей могут быть подключены к одному измерительному модулю, совмещенному

со станцией оператора (рис. 1).

Мосты представляют собой протяженную конструкцию. Технические характеристики ТС и экономические соображения приводят к необходимости ограничения длины измерительных кабелей. На мостах длиной более 150 – 200 м это означает размещение аппаратуры, усиливающей сигнал датчиков, локальными группами (модулями) по конструкции (рис. 2).

Станция оператора, модули с усилительной аппаратурой вместе с объединяющими их кабелями образуют измерительную сеть. Даже при небольшом количестве измерительных каналов для обеспечения передачи сигнала на заданные расстояния измерительная сеть должна строиться на базе цифровой сети, использующей, как правило, стандартный интерфейс. Соответственно, локальные модули должны включать в себя аппаратуру, преобразующую этот сигнал в цифровую форму и обеспечивающие интерфейс с принятой промышленной сетью. При этом обеспечивается передача сигнала по кабелям с небольшим количеством жил.

При организации измерения в распределенной измерительной сети возникают вопросы обеспечения одновременности измерения по каналам, подключенным к различным измерительным блокам, т.е. синхронизация измерений. Такая функция обеспечивается централизованным управлением модулями.

Параметры, измеряемые при

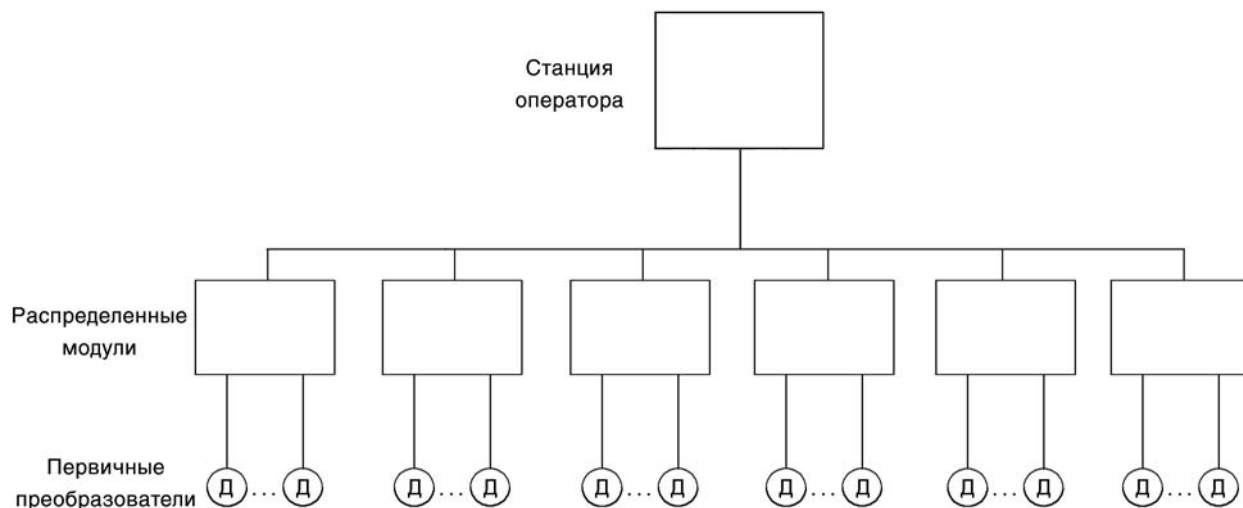


Рис. 2
Распределение ТС мониторинга по конструкции для моста длиной более 150 -200м

мониторинге, в основном, совпадают с параметрами, контролируемые при испытаниях мостов. Однако длительный характер мониторинга диктует необходимость применения других приборов. Так, например, использование прогибомеров с проволочной связью при определении прогиба конструкции существенно ограничено при мониторинге, потому что сохранность натянутой в подмостовом пространстве проволоки не может быть обеспечена. Так же и оптические приборы – дальномеры или датчики положения – во время тумана или осадков не могут обеспечить условий непрерывного измерения на больших расстояниях.

Для обеспечения длительного функционирования в реальных условиях, наблюдающихся на мостах, таких, как климатические условия, вибрация, использование агрессивных реагентов для обработки покрытия, ТС должны быть надежно закреплены и защищены. Также важно предусмотреть защиту ТС от вандализма.

Информационное обеспечение ИИС мониторинга. Обслуживающий персонал получает информацию о работе мостового сооружения через станцию оператора – одну или несколько ЭВМ, работающих в режиме виртуальных приборов, т.е. на мониторах отображаются текущие значения прямых и косвенных параметров мониторинга, результаты оценки состояния моста. Отображение значений параметров возможно в числовом виде, в виде диаграмм, графиков и т. п. При отображении результатов мониторинга на нескольких экранных страницах одна из них при выполнении мониторинга является главной, и на ней находят отображение все контролируемые параметры, как правило, в виде чисел. Остальные страницы при этом играют вспомогательную роль, и просмотр информации на них необходим для получения дополнительной информации о состоянии каналов измерения, оценки тенденций изменения параметров и т. п.

В случае регистрации системой факта недопустимого изменения состояния моста («происшествия») система посылает оператору соответствующий сигнал (световой на отдельном индикаторе, изменением цвета области экрана монитора, звуковой и т.п.). Оператор получает информацию о том, по какому из параметров зафиксировано изменение состояния. Также при возникновении «происшествия» формируется «протокол происшествия» или заносится запись в «журнал происшествий», которые могут быть просмотрены оператором на экране или распечатаны для дальнейшего использования в бумажном виде.

Для предупреждения оператора перед наступлением неисправного состояния целесообразно введение «предупредительного» состояния. При такой трехступенчатой системе (исправное – предупредительное – неисправное состояния) цветовая сигнализация о состоянии моста может быть принята как у светофора: зеленый, желтый, красный.

Математическое обеспечение. Закономерности взаимодействия между входными и выходными переменными, положенные в основу алгоритмов ИИС, могут быть установлены исследованием расчетной модели моста. Наиболее близкие к действительной работе конструкции результаты могут быть получены с помощью конечно-элементной модели.

Математическая модель может быть установлена на основе эксперимента в процессе полномасштабных испытаний моста.

Полученные закономерности позволяют контролировать состояние моста не только по «прямым», т.е. получаемым непосредственным измерением, параметрам, но и по «косвенным» параметрам. При этом косвенные параметры должны вычисляться в реальном времени с использованием значений прямых параметров. К таким косвенным параметрам могут быть отнесены, например, величина зазора деформационного шва, вычисленная в зависимости от температуры,

частота колебаний конструкции (мода), полученная на основе сигнала датчика виброускорения, и т.п.

Нормы контроля задаются индивидуально для каждого моста с учетом его конструктивных особенностей, географического положения, эксплуатационных воздействий. Для одних параметров нормы могут быть определены исходя из требований технических условий для комплектующих и материалов, использованных в мосту, таких, как опорные части, деформационные швы, материалы мостового полотна и т. п., для других – с учетом нормативных документов, действующих в системе проектирования, строительства и эксплуатации мостов.

Для уточнения данных, полученных расчетным путем, для отдельных параметров могут использоваться данные, накопленные в период начальной эксплуатации системы мониторинга. Состояние моста в этот период принимается за «исправное».

Программное обеспечение (ПО) гарантирует конкретную реализацию вычислительных алгоритмов и алгоритмов функционирования системы. Специализированное программное обеспечение реализует функционирование частей ИИС, таких, как математическое обеспечение и информационное обеспечение.

Программное обеспечение разрабатывается с использованием стандартных языков программирования высокого уровня или специальных прикладных систем программирования, предназначенных для разработки приложений для измерительных задач или автоматизированных систем управления технологическими процессами. Разработка с помощью специальных прикладных систем является предпочтительной, т. к. на создание ПО ИИС затрачивается меньше времени, разработанное ПО легче модернизируется и переносится на другие объекты с другим набором оборудования, имеет лучше проработанный пользовательский интерфейс и др.

Организационное обеспечение предусматривает разработку функциональных, технических и организационных структур, инструкций для оперативного персонала. При этом, оперативным персоналом в условиях мониторинга состояния моста осуществляется дежурство операторов ИИС, поддерживается бесперебойное функционирование ИИС, обеспечивается исправное состояние моста.

В рамках этого вида обеспечения разрабатывается порядок реа-

гирования служб, обслуживающих сооружение, на информацию, вырабатываемую ИИС. Предусматривается порядок действий при обнаружении системой предупредительного или неисправного состояний различного вида. В общем случае, при возникновении указанных событий сигнал должен быть распознан, зарегистрирован в специальном журнале и передан оператором дальше по инстанции. Службы, на содержании которых находится сооружение, должны выполнить осмотр определенных

элементов или узлов моста и принять решения о необходимости ремонта моста и изменения режима движения по нему.

Рассмотренные особенности ИИС свидетельствуют о том, что создание и функционирование системы непрерывного мониторинга моста является комплексной задачей. Очевидным является и то, что успешно функционирующие системы непрерывного мониторинга должны существенно повысить эффективность содержания мостов.

1. S. Sumitro, Y. Matsui, M. Kono, T. Okamoto, and K. Fujiib «Long span bridge health monitoring system in Japan», *Proc. SPIE Vol. 4337, 2001, P 517-524*
2. A.E. Aktan, F. N. Catbas, K. Grimmelsman, M. Pervizpour, J. Curtis, K. Shen and X. Qin "A theory of health monitoring for highway bridges", *Proc. First Int. Conf. on Bridge Maintenance, Safety and Management, IABMAS 2002, Barcelona, 14 – 17 July, 2002.*
3. H.-M. Koh, S.P. Chang, S.-K. Kim, C.-Y. Kim, W.J. Kim "Development and application of health monitoring system for bridges in Korea", *Proc. First Int. Conf. on Bridge Maintenance, Safety and Management, IABMAS 2002, Barcelona, 14 – 17 July, 2002.*
4. Матвеев И., Кравченко Е., Манохин А., Крутиков О. Мост под контролем/Автомобильные дороги, 2005, №6, с.24-26.
5. Методы и средства измерений: учебник для вузов / Г.Г. Раннев, А.П.Тарасенко. — 3-е. изд., стер. - М.- Издательский центр «Академия», 2006.- 336с.