

НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ТЕХНОЛОГИИ

УДК 624.2.8

А. А. ВАСИЛЬЕВ, кандидат технических наук, Белорусский государственный университет транспорта, И. Г. ШАЛКОВСКИЙ, ведущий инженер, ОАО «Авангард», г. С.-Петербург, Российская Федерация

СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ – ОСНОВА ДЛИТЕЛЬНОЙ БЕЗАВАРИЙНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ МОСТОВЫХ СООРУЖЕНИЙ

Рассмотрены причины и цели создания автоматической системы мониторинга строительных конструкций (СМИК). Приведена типовая структура СМИК. Выполнен анализ причин необходимости создания СМИК мостовых сооружений. Рассмотрена структура и элементная база системы для автоматического мониторинга мостовых сооружений «СМД ПИЖМ.424358.004», разработанной в г. Санкт-Петербурге. Показано практическое применение данной системы для оценки в режиме реального времени деформативности несущих железобетонных элементов путепровода «Сельмашевский» в г. Гомеле и его значимость для длительной безаварийной эксплуатации мостового сооружения.

Введение. Идея создания и применения мониторинга объектов строительства объясняется участвовавшими за последнее время авариями строительных конструкций на ряде объектов с массовым пребыванием людей. Его основная цель – повышение безопасности и эксплуатационной надежности объектов строительства.

Существует несколько способов решения данной задачи:

- проведение периодического инструментального мониторинга;
- установка на объект автоматической системы мониторинга (СМИК).

Для реализации возможности длительной безопасной эксплуатации строительных объектов необходимо создание на них именно систем непрерывного (в режиме реального времени) мониторинга несущих конструкций, аппаратно-программные средства которых позволят осуществлять периодическое обследование несущих конструкций объекта.

Применительно к строительным объектам система непрерывного мониторинга характеризуется специфическими особенностями и потому требует специальных научно-методических и научно-технических проработок. В первую очередь от такой системы требуется высокий уровень долговечности при высоком уровне надежности и достоверности собираемой информации о состоянии строительных конструкций. Такие требования следуют из того, что строительные объекты рассчитаны на длительный срок эксплуатации, измеряемый десятками и даже сотнями лет, а события, приводящие к авариям, имеют весьма малую вероятность, измеряемую десятками и даже тысячными долями процента. Именно на гарантированную идентификацию этих долей процента должна быть нацелена система непрерывного мониторинга. В противном случае она теряет смысл.

Мониторинг технического состояния строительных объектов (СМ-ТССО) принято связывать с решением вопросов безопасности строительства, реконструкции, эксплуатации и ликвидации строительных объектов. При построении подобных систем мониторинга основной задачей становится обнаружение на ранней стадии деструктивных процессов, развитие которых может привести к возникновению аварийной ситуации. По этой

причине при разработке указанных систем планируется контроль ограниченного числа параметров объекта.

Необходимо отметить, что реальные системы мониторинга такого рода являются на деле системами мониторинга различных совокупностей параметров строительных объектов (СМ-ПСО).

Целями создания СМИК на стадии эксплуатации являются:

- обеспечение безопасности персонала путем автоматического, в режиме реального времени, информирования персонала дежурно-диспетчерской службы объекта и единой дежурно-диспетчерской службы (ЕДДС) города, района о критическом изменении состояния (деформированного состояния) конструкций объекта;
- обеспечение автоматического, в режиме реального времени, мониторинга интегральных характеристик напряженно-деформированного состояния несущих конструкций объекта;
- снижение риска утраты несущей конструкцией свойств, определяющих ее надежность посредством своевременного обнаружения на ранней стадии негативного изменения состояния (напряженно-деформированного состояния) несущих конструкций, которое может привести к их разрушению и повлечь людские потери, переход сооружения в ограниченно работоспособное, аварийное состояние, к полной или частичной потере несущей способности;
- обеспечение проведения работ периодического мониторинга (обследования).

Структура СМИК. Она реализует распределенную систему сбора и обработки данных от различных датчиков (рисунок 1).

Система состоит из датчиков, локальных контроллеров (АЦП), серверов локальных контроллеров, сервера СМИК и АРМ СМИК. Это не только система аппаратно-программных средств, но и система взаимодействия с Дежурно-диспетчерской службой (ДДС) объекта и Единой дежурно-диспетчерской службой (ЕДДС) города, района посредством СМИС объекта, что позволяет устранить человеческий фактор по сокрытию какого-либо «инцидента» или «аварии» (отсутствует возможность бесконтрольной эксплуатации объекта с нарушением режима нормальной эксплуатации конструкций или предаварийным изменением их технического состояния).

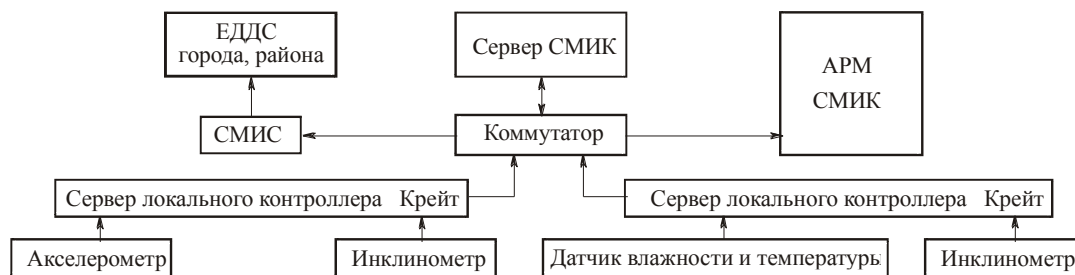


Рисунок 1 – Структурная схема СММК

Для достижения поставленных целей система мониторинга состояния несущих конструкций разделяется на две функциональные подсистемы:

1) сигнальная подсистема мониторинга функционирует непрерывно и реализует следующие функции:

- автоматический, в режиме реального времени, мониторинг интегральных характеристик технического состояния несущих конструкций объекта;

- обеспечение автоматического, в режиме реального времени, информирования персонала ДДС объекта и ЕДДС города о критическом изменении состояния конструкций объекта;

2) подсистема периодического мониторинга начинает функционировать по сообщениям (инцидент, авария) от сигнальной подсистемы мониторинга или в соответствии с заранее определенным регламентом. При этом в автоматизированном режиме реализуются следующие функции:

- обеспечение оценки технического состояния несущих конструкций объекта и выдачи рекомендаций по их усилению (восстановлению);

- обеспечение контроля и корректировки (при необходимости) функционирования сигнальной подсистемы.

Мониторинг мостовых сооружений. Развитие городской инфраструктуры невозможно без развития транспортной системы города. Исключение одного из элементов транспортной системы из работы без предварительной подготовки ему замены либо незапланированный выход из строя элемента в любом крупном городе приводит к так называемому «транспортному коллапсу».

Мостовые сооружения как элементы транспортной системы относятся к сооружениям первого уровня ответственности. Их безопасность должна быть обеспечена на протяжении всего срока службы, и складывается из комплекса факторов, таких как долговечность конструкций, качественная техническая эксплуатация, своевременное проведение текущих и капитальных ремонтов. Постоянные воздействия внешних факторов приводят к постепенному износу сооружения, а при сверхнормативных нагрузках это может вызвать ускоренный износ, необратимые деформации и разрушение элементов конструкции. Для контроля и прогнозирования состояния мостового сооружения, с целью заблаговременного предупреждения о тенденциях изменений геометрических параметров сооружения, необходимо периодически проводить обследования конструкций сооружения с выполнением комплекса геодезических измерений его параметров, позволяющие установить фактические параметры повреждений фиксируемых визуально, оценить наличие скрытых повреждений, установить количественные параметры снижения эксплуатационных качеств и тем самым спрогнозировать динамику изменения

долговечности конструкций, сроков проведения ремонтов и конечного срока службы сооружения. Однако, несмотря на необходимость, обследования в силу их периодичности и определенной выборочности элементов не позволяют получать непрерывную информацию об изменении основных деформационных характеристик объекта и тем самым предотвращать не только значительное изменение технического состояния элементов, но и создание предаварийного состояния.

Одним из перспективных направлений повышения защиты мостовых сооружений от возможности создания аварийных ситуаций является обеспечение постоянного мониторинга технического состояния объектов. При контрольном мониторинге решается задача по предупреждению возникновения аварийных состояний конструктивных элементов и сооружения в целом, которые могут быть вызваны чрезвычайными обстоятельствами, – природными явлениями: паводками, ураганами, землетрясениями и т. п.; деятельностью людей, а также вследствие опасного развития дефектов, имеющихся в эксплуатируемой конструкции.

Контрольный мониторинг мостовых сооружений может и должен осуществляться при помощи автоматизированных систем мониторинга деформаций (АСДМ). АСДМ мостового сооружения представляет собой комплекс аппаратно-программных средств для измерений, интерпретации получаемых результатов, определения параметров объекта и инфраструктуры, обеспечивающей их работу, а также хранения результатов измерений и прогнозирования поведения объекта. Комплекс аппаратно-программных средств должен включать в себя спутниковое геодезическое оборудование, высокоточные измерители углов наклона, геотехнические датчики, электронные тахеометры, коммуникационную аппаратуру, компьютерное оборудование, а также программное обеспечение для управления средствами сбора, обработки данных, визуализации определяемых параметров, анализа результатов и формирования отчетов и сообщений. АСДМ должна включать набор датчиков, установленных в критических точках элементов мостового сооружения. В инфраструктуру, обеспечивающую работу комплекса аппаратно-программных средств, должны входить центр управления системой, оборудование, системы электропитания и коммуникаций.

Система автоматического мониторинга мостовых сооружений. Одной из систем, позволяющих проводить и успешно использовать контрольный мониторинг конструкций, является «Система мониторинга деформаций СМД ПИЖМ.424358.004», разработанная в г. Санкт-Петербурге. Она предназначена для дистанционного контроля и измерения деформаций строительных конструкций, несущих конструкций метрополитена, тоннелей и мостов; сбора информации в заданные

интервалы времени и ее хранения в энергонезависимой памяти координатора или персонального компьютера с возможностью оперативного просмотра.

В состав системы входят основные элементы:

– блок СМД-КМ (рисунок 2), который предназначен для сбора, передачи и отображения текущей информации от измерительных элементов;



Рисунок 2 – Блок СМД-КМ

– блок СМД-УППИ (рисунок 3), являющийся одно-канальным цифровым устройством, предназначенным для передачи измеренных значений деформации в блок СМД-КМ, приема-передачи измеренных значений деформации от одного блока СМД-УППИ к другому;



Рисунок 3 – Блок СМД-УППИ

– блок СМД-ДТ-1 (рисунок 4) – датчик деформаций с диапазоном измерения от -2 до $+2$ мм, построен на основе тензометрической полумостовой схемы измерения;



Рисунок 4 – Блок СМД-ДТ-1

– блок СМД-ДТ-2П (рисунок 5) – датчик деформаций с диапазоном измерения от -2 до $+2$ мм, построен на основе тензометрической полномостовой схемы измерения;

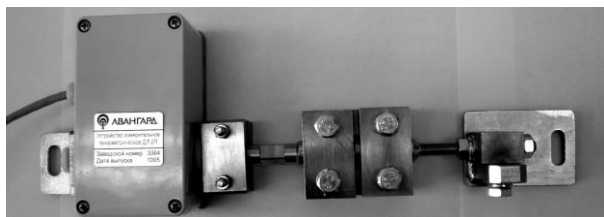


Рисунок 5 – Блок СМД-ДТ-2П

– блок СМД-ДП-1 (рисунок 6) – датчик деформаций с диапазоном измерения от -20 до $+20$ мм), построен на основе потенциометрического датчика перемещений;



Рисунок 6 – Блок СМД-ДП-1

– тензометры ТЗБ-200 (рисунок 7) с диапазоном измеряемого механического напряжения от -300 до $+300$ кПа; построены на основе тензометрической полумостовой схемы измерения;



Рисунок 7 – Тензометры ТЗБ-200

– датчики угла наклона (рисунок 8) с диапазоном измерения от ± 360 до ± 7200 угловой секунды;



Рисунок 8 – Датчик угла наклона

– модем и ноутбук.

Специальное программное обеспечение (СПО), устанавливаемое на предприятии-изготовителе, записывается на жесткий диск (HDD) ноутбука и обеспечивает удобный интерфейс работы оператора с сетью датчиков, позволяет автоматически добавлять новые датчики деформации в сеть, обеспечивает получение данных о деформации от каждого датчика и уровне заряда блоков СМД-БА-1 (СМД-БА-2).

СПО выполняет следующие функции: сбор измерений с блока СМД-КМ по проводным каналам в соответствии с интерфейсом RS-232, USB 2.0 или по GSM-каналу и занесение полученных данных в базу данных; передачу тревожных сообщений потребителю посредством SMS-сообщений; отображение состояния системы и происходящих в ней изменений.

Структура системы СМД ПИЖМ.424358.004 приведена на рисунке 9.

Система СМД ПИЖМ.424358.004 работает в режиме опроса и передачи информации от блока СМД-УППИ в блок СМД-КМ с помощью стандарта передачи данных ZigBee IEEE Std 802.15.4 (частота передачи

данных от 2400 до 2438,5 МГц), хранения информации в блоке СМД-КМ с последующей передачей информации в ноутбук по стандарту RS-232, USB 2.0 или по GSM-каналу.

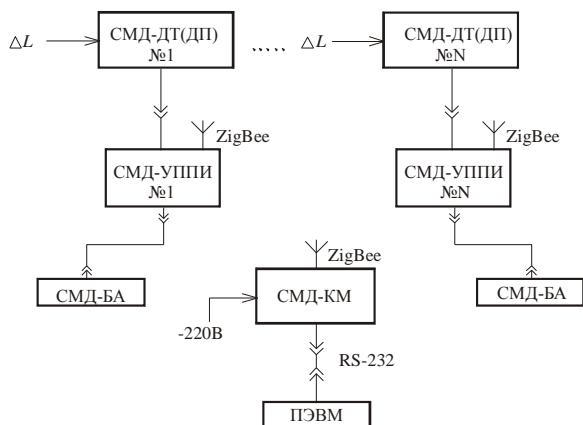


Рисунок 9 – Структура системы СМД ПИЖМ.424358.004

Система функционирует круглосуточно в режиме пониженного энергопотребления («спящем» режиме). Периодически, в соответствии с программой, система «просыпается». Блок СМД-КМ осуществляет поиск и опрос каждого блока СМД-УППИ короткими сеансами связи. Блок СМД-КМ выдает сообщение о каждом датчике (о каждом УППИ). В этой посылке содержится вся информация, номер и тип датчика, показание его деформации, заряд аккумулятора. С помощью специального ПО, предустановленного на ПЭВМ, эта посылка расшифровывается, дальнейшая обработка происходит на ПЭВМ, а именно, построение графиков зависимости деформации от времени. Ведется статистика пропусков и ложных срабатываний. Получив информацию об измеренном значении деформации от каждого СМД-УППИ, блок СМД-КМ дает команду на переход в режим пониженного энергопотребления («засыпание») каждому блоку СМД-УППИ.

Практическое применение системы СМД ПИЖМ.424358.004. С августа 2011 года система СМД ПИЖМ.424358.004 установлена на путепроводе «Сельмашевский» в г. Гомеле. В состав системы автоматического мониторинга входят: компьютер «Нетбук», координатор сети ПИЖМ.466217.017, датчики деформации ПИЖМ.468223.017 (7 шт.), ретранслятор ПИЖМ.468223.005-02, блок аккумуляторов ПИЖМ.468223.03

Схема размещения датчиков на путепроводе «Сельмашевский» приведена на рисунке 10.

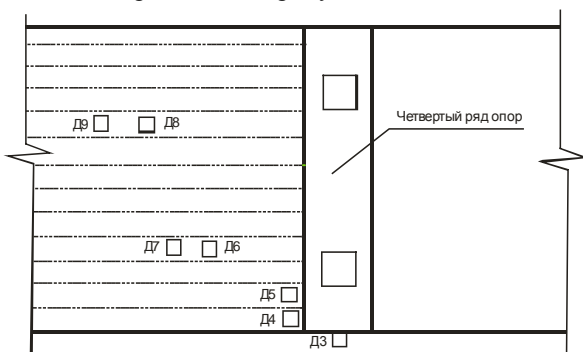


Рисунок 10 – Схема размещения датчиков на путепроводе «Сельмашевский», г. Гомель: Д2 – ретранслятор; Д3 – Д9 – датчики

Установка датчиков выполнена специалистами ОАО «Авангард» в места, указанные представителем КУП «Гомельский городской дорожный строительно-ремонтный трест». Для этого на отмеченных участках просверливали два отверстия по разные стороны от трещины и перпендикулярные ей диаметром 8–10 мм, в них вставляли анкера, и уже в анкера закручивали шпильки, на которые крепили датчик. При необходимости для увеличения базы измерения использовали арматуру для соединения датчика с хвостовиком. После этого к датчику подключали блок измерения деформации и блок аккумуляторов. Количество и места установки ретрансляторов определялись специалистами ОАО «Авангард» исходя из условий прохождения радиосигнала и возможности надежной фиксации ретрансляторов.

Обслуживание системы и датчиков деформации в процессе эксплуатации сводится к контролю показаний датчиков и контролю напряжения аккумуляторов. В случае повреждения или поломки датчика производится его замена. Определение причин поломки, возможности ремонта датчика или его ремонт осуществляется в условиях ОАО «Авангард».

Наблюдение за деформациями проводится уже более года. Вывод текущей информации организован в мониторинговый центр ОАО «Авангард». Ежедневно показания датчиков систем вместе с графиками изменения деформаций направляются в электронном виде в офис представителя ОАО «Авангард» в г. Гомель и в НИЛ «Строительные конструкции, основания и фундаменты» им. д. т. н., профессора И. А. Кудрявцева Белорусского государственного университета транспорта, специалисты которой осуществляют контроль и оценку наблюдений.

Информация за указанный период снимается регулярно и в полном объеме без сбоев и отказов.

В случае резких изменений показаний датчиков или приближения значений показаний датчиков к установленным предельным значениям информация об этом немедленно передается в КУП «Гомельский ГДСРТ», организовывается выезд его представителей совместно с сотрудниками НИЛ «СКОиФ» на путепровод для осмотра мест установки датчиков и определения фактического состояния трещин.

В качестве примера на рисунке 11 приведены данные наблюдений за период с 1.06 по 16.06.2012 г. датчика № 3, а в таблице 1 – суммарные данные с оценкой проведенных наблюдений.

На основании первичных наблюдений можно сделать вывод о стабильном состоянии подконтрольного объекта на определенном для мониторинга участке путепровода. Однако для полномасштабного анализа состояния объекта необходимо увеличить количество и номенклатуру датчиков мониторинга деформаций, наклона и перемещений.

Система СМД ПИЖМ.424358.004 показала свою надежность и может быть рекомендована для использования на различных мостовых сооружениях. Ее применение позволит оперативно контролировать состояние мостовой конструкции, смещения и прогибы, возникающие в результате влияния внешних природно-климатических воздействий, а также интенсивной транспортной нагрузки.



Рисунок 11 – Данные наблюдений за состоянием трещины датчиком № 3

Таблица 1 – Оценка наблюдений за состоянием трещин

№ датчика	Диапазон изменений, мм	Оценка наблюдения
3	От (-0,11389) до (0,04423)	Незначительное сжатие трещины
4	От (-0,1) до (0,0)	Незначительное сжатие трещины
5	От (-0,07299) до (-0,07299)	Незначительное сжатие трещины
6	От (-0,00626) до (0,0184)	Незначительное сжатие трещины
7	От (-0,01898) до (0,08043)	Незначительное сжатие трещины
8	От (-0,01135) до (0,00626)	Незначительное сжатие трещины
9	От (-0,04716) до (0,00626)	Незначительное сжатие трещины

Важной функцией системы является мгновенное оповещение сотрудников службы эксплуатации моста и службы быстрого реагирования (ГАИ, МЧС и др.) о потенциально опасной ситуации в случае превышения допустимых размеров деформаций конструкции. Это увеличивает безопасность движения транспорта по и под мостовым сооружением, позволит избежать тяжелых последствий в случае чрезвычайной ситуации. Анализ потока данных системы мониторинга даст возможность увидеть тенденции к возможным предельно-допустимым изменениям конструкции мостового сооружения, своевременно получить информацию и принять решение о необходимости изменения режима эксплуатации контролируемого объекта или его ремонта.

Заключение. СММК разрабатывается для обеспечения безопасности зданий и сооружений, проектиру-

ется и реализуется в соответствии с требованиями нормативно-технической документации. В отличие от ряда других систем СММК функционирует автоматически, непрерывно, в режиме реального времени и обеспечивает мониторинг и решение задач оповещения, в том числе на эвакуацию людей. База данных измерений, накопленных сигнальной подсистемой, – это аналог «черного ящика» самолета, позволяющая более точно определить изменение технического состояния несущих конструкций объекта, сформировать объективные заключения.

Внедрение АСДМ СМД ПИЖМ.424358.004 на путепроводе «Сельмашевский» в полном объеме и хотя бы на основных мостах и путепроводах г. Гомеля позволит не только максимально обезопасить жителей областного центра от создания чрезвычайных ситуаций, но и наладить своевременное обследование, плановое техническое обслуживание и ремонты, что даст возможность только в масштабе одного города ежегодно экономить сотни миллионов бюджетных рублей.

Список литературы

- 1 Система мониторинга технического состояния мостовых сооружений / А. А. Васильев // Современные методы и приборы контроля качества и диагностики состояния объектов : материалы междунар. науч.-техн. конф. / М-во образования Респ. Беларусь, М-во образования и науки Рос. Федерации, Нац. акад. наук Респ. Беларусь, Ин-т прикладной физ. НАН Респ. Беларусь, Белорусская ассоциация неразруш. контр. и техн. диагн., Рос. общество по неразруш. контр. и техн. диагн., УП «Белгазпромдиагностика», Белорус.-Рос. ун-т ; редкол. : И. С. Сазонов (гл. ред.) [и др.]. – Могилев : Белорус.-Рос. ун-т, 2012. – С. 239–241.

Получено 22.11.2012

A. A. Vasilyev, I. G. Shalkovsky. System of automatic control is basis of long term accident free exploitation of bridge constructions.

There were considered the reasons and aims of creation of building constructions monitoring system (BCMS). A typical structure of BCMS is given. It was made the analysis of necessity reasons of bridge constructions BCMS creation. It was considered the structure and system element base for bridge constructions automatic monitoring “SMD PIZM.424358.004”, developed in St. Petersburg. It is shown practical application of this system for real time estimation of deformation property of load carrying reinforce concrete elements of “Selmashevsky” viaduct in Gomel and its significance for bridge construction long term accident free exploitation.