

ДЕФОРМАЦИОННЫЙ МОНИТОРИНГ МОСТОВ: ЗНАЧЕНИЕ И ЗАДАЧИ

Мосты являются сосредоточением и реализацией инженерной мысли и привлекают внимание общества. Мостовые сооружения древности входили в важнейшие дороги империй Китая и Рима, цивилизации древних инков. В наши дни невозможно представить без мостов такие города как Лондон, Нью-Йорк, Сан-Франциско, Сидней и Санкт-Петербург. Мост Йонг-Джон в Корее, Жемчужный мост и подвесной мост Акаши-Кайкио в Японии, Грэтбелт Линк в Дании притягивают взор и оказывают эстетическое воздействие. В ближайшем будущем Владивосток также нельзя будет представить без двух мостов — через бухту Золотой Рог и через пролив Босфор Восточный на остров Русский.

Проекты по созданию небывалых по масштабам инженерно-технических сооружений, например, таких как высотные здания причудливых форм, мощные плотины, гигантские мосты с тросовыми растяжками, стали еще более амбициозны. В связи с этим резко возросли требования к обеспечению безопасных условий эксплуатации объектов. К их числу относятся вантовые мосты. Пролетные строения таких конструкций состоят из балок жесткости и поддерживающих их гибких прямолинейных стержней — вант, закрепленных на пилонах.

В мире насчитывается более 1100 вантовых и подвесных мостов, в том числе порядка 60 — с длиной пролета более 300 м. В СССР первый вантовый мост был построен в Киеве через р. Днепр в 1976 г. В России за последние годы такие сооружения возведены в Сургуте (2000 г.), Санкт-Петербурге (2004 г.) и Москве (2007 г.). Сейчас ведется строительство двух вантовых мостов во Владивостоке.

Всего же современная мировая транспортная сеть насчитывает более 2,5 миллиона мостов. Ежегодно вводится в строй около 5 тысяч мостовых переходов.

Современные мосты большой протяженности выдерживают колоссальные нагрузки и напряжения, отчасти благодаря их способности незначительно деформироваться в зависимости от воздействия внешних условий. Среди внешних факторов, оказывающих влияние на деформации мостового сооружения, наиболее весомыми являются изменение силы и направления ветра, количество осадков, движение волн, сейсмические толчки и транспортная нагрузка (количество, вес и скорость движения находяще-

гося на мосту автотранспорта) и изменение внешних условий, таких как суточная смена температуры воздуха и прямое солнечное излучение, а также изменение силы и направления ветра, количество осадков, движение волн и сейсмические толчки.

Даже в наиболее развитых странах имеются проблемы с мостами. Так, американское федеральное Агентство автомагистралей (US FHWA) в 2005 г. установило, что из 595 000 американских мостов около 15% не соответствуют нормам по конструктивным причинам. В Европе около 10% мостовых конструкций имеют дефекты и несоответствия проекту. Около 250 000 эксплуатируемых мостов в мире требуют обследования и ремонта, мониторинга и контроля состояния конструкции.

Постоянные воздействия внешних факторов приводят к постепенному износу сооружения, а при сверхнормативных нагрузках это может привести к ускоренному износу, необратимым деформациям и разрушению элементов конструкции. Для контроля и прогнозирования состояния мостового сооружения, с целью заблаговременного предупреждения о тенденциях изменений геометрических параметров сооружения, необходимо периодически проводить обследование конструкции моста с выполнением комплекса геодезических измерений его параметров.

Однако при возникновении критической ситуации такие измерения не позволяют получать оперативные данные, а также не несут достаточной информации для расчета действительных текущих динамических характеристик сооружения для сравнения с их проектными значениями. Поэтому в настоящее время актуальной задачей является разработка постоянно действующей системы, способной осуществлять сбор, систематизацию, хранение, анализ, преобразование, отображение и распространение пространственно-координированных данных о контролируемых элементах сооружения во время эксплуатации. Кроме того, мониторинг таких сооружений, как мосты с пилонами высотой в сотни метров, необходимо осуществлять уже на этапе строительства. Выполнять мониторинг пилонов необходимо перед выносом проекта в натуру, поскольку конструкции по мере возведения начинают испытывать нагрузки от влияния изменения температуры, ветра и нарастающего собственного



Система мониторинга моста через реку Енисей вблизи Красноярска

веса. Это, свою очередь, может стать причиной появления пространственных деформаций возводимых конструкций и отклонений от проекта.

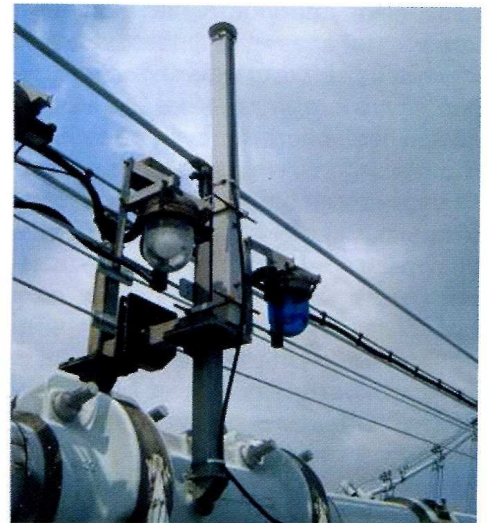
В процессе строительства мостов необходимо организовывать периодический и постоянный мониторинг. Однако по мере завершения строительства непрерывный мониторинг будет приобретать все большую значимость. Наблюдения за состоянием моста должны осуществляться в полном объеме как во время строительства, так и в период эксплуатации сооружения.

Целью деформационного мониторинга мостов является контроль геометрических параметров в соответствии с проектом и обеспечение безопасности их строительства и дальнейшей эксплуатации.

Традиционно периодический мониторинг состояния сооружения выполняется с использованием различных геодезических средств:

- оптические высокоточные нивелиры (определение вертикальных осадок);
- электронные тахеометры TPS (определение горизонтальных и вертикальных смещений);
- спутниковые приемники GPS (определение горизонтальных и вертикальных смещений);
- дальномеры (определение горизонтальных смещений);
- датчики наклона, акселерометры, тензометры, щелемеры и другие средства сбора данных.

Обследования выполняются, в зависимости от типа сооружения и его состояния, через год или по запро-



Станция спутникового мониторинга висячего моста Tsing Ma в Китае

су эксплуатирующей организации. А после проведения цикла измерений требуется значительное время для перевода данных в цифровой вид и их обработки.

В результате обработки геодезических измерений получают информацию о текущем состоянии объекта в виде значений деформации, смещений и отклонений от проектного или его предыдущего состояния. Геотехнические средства позволяют фиксировать параметры, которые могут быть проанализированы совместно с результатами геодезических измерений для выяснения корреляции и причин изменения состояния объекта.

Возрастающее значение для развития всех отраслей экономики приобретают информационные системы, с помощью которых можно получить оперативные данные о состоянии



объектов, моделировать и прогнозировать различные процессы.

Современные средства измерений позволяют предоставлять данные измерений сразу в цифровом виде, а новейшие средства коммуникаций — передавать эти данные на вычислительные системы для обработки в режиме реального времени. Применяя новые алгоритмы обработки и программные продукты, можно в значительной степени автоматизировать процесс сбора, передачи и обработки информации, в том числе данные мониторинга, сокращая трудоемкость и повышая оперативность. Это превращает рутинные процессы периодического обследования сооружений в действительно оперативный мониторинг.

Система, включающая современные сенсоры и коммуникации, может быть установлена практически на любом объекте. Она может работать без участия человека, непрерывно отслеживая изменения деформационных параметров, пополняя и обновляя различные базы данных информационных систем. Современные автоматизированные системы деформационного мониторинга (АСДМ) востребованы, они широко внедряются и используются как в нашей стране, так и за рубежом.

ООО «Фирма Г.Ф.К.», 18 лет занимающаяся внедрением современных геодезических технологий в России, реализовала ряд серьезных проектов по внедрению АСДМ на основе различного измерительного оборудования, например:

- мониторинг комплекса высотных зданий «Москва-СИТИ» в 2007–2009 гг. (заказчик: НИИОСП им. М.Н. Герсеванова);

- мониторинг несущих конструкций Ледового дворца в Крылатском, г. Москва, в 2007–2008 гг. (заказчик: Служба эксплуатации дворца, совместно с НПО «Содис»);

- мониторинг Алабяно-Балтийского автодорожного тоннеля на Ленинградском шоссе в июне–августе 2008–2009 гг. (заказчик: НИИ Инжтоннельгеодезия).

«Фирма Г.Ф.К.» совместно с ОАО «РусГидро» внедряет Экспериментальную комплексную систему деформационного мониторинга на таких гидротехнических сооружениях как Бурейская ГЭС (октябрь 2008 г.), Саяно-Шушенская ГЭС (февраль–май 2010 г.), Богучанская ГЭС (с июня 2010 г.).

Компания также сотрудничает с проектными институтами, организациями, осуществляющими авторский контроль строительства, и геодезическими службами строительных компаний, работающих над возведением мостов через бухту Золотой Рог во Владивостоке и через пролив Босфор Восточный. Это ОАО «Гипростроймост», ООО «Мостовое бюро», УСК «МОСТ», ООО «СК Мост», ОАО «ТМК», ОАО «Дальмостострой». Тесные отношения сложились и с аэро-геодезическим предприятием ФГУП «ПриморАГП» (г. Владивосток). «Фирма Г.Ф.К.» обеспечила применение данными компаниями самых современных спутниковых ГЛОНАСС/GPS технологий, высокоточных инклинометров и другого оборудования при геодезическом обеспечении строительства.

Вопросы применения комплексного мониторинга строящихся мостовых переходов обсуждались вместе со специалистами вышеупомянутых

предприятий на семинаре «Системы деформационного мониторинга мостовых конструкций», который «Фирма Г.Ф.К.» провела в августе 2010 г. в г. Владивостоке. Семинар был организован при поддержке УСК «Мост» и участии ПГУПС (Петербургского государственного университета путей сообщения). Участники семинара заслушали доклад о системе контроля вертикальности высотных зданий, которая использовалась при возведении башни Burj Dubai (Объединенные Арабские Эмираты) высотой 828 метров. Некоторые инженерные решения, применявшиеся в Дубае, подходят для использования и при возведении 320-метровых пилонов моста через пролив Босфор Восточный, несмотря на значительные отличия объектов. Подобная система должна быть сначала спроектирована, а потом смонтирована на мостовых переходах на остров Русский и через бухту Золотой Рог. На сложных внеклассных объектах создание проекта мониторинга требует индивидуального подхода. Мировой опыт в области создания подобных систем является полезным при разработке мониторинга мостового перехода через пролив Босфор Восточный.

По мнению специалистов «Фирмы Г.Ф.К.», система мониторинга мостов должна быть комплексной и развиваться с момента начала сооружения. На первом этапе в районе строительства должна быть создана современная геодезическая инфраструктура, включающая разбивочную основу и спутниковые базовые станции, которые транслируют дифференциальные RTK поправки. Прямостовое планово-высотное опорное

обоснование должно быть увязано со спутниковыми базовыми станциями, которые, в свою очередь, должны быть привязаны к пунктам государственной геодезической сети по принципу «от общего к частному» с вычислением параметров трансформации координат в различные системы координат. При выносе проекта в натуру и геодезическом контроле необходимо применять спутниковые средства измерений, поскольку погодные условия при высоте пилонов уже более 100 метров не позволяют использовать традиционные оптические инструменты.

При этом необходимо использовать единые данные спутниковых базовых станций при выполнении геодезических разбивочных работ обычным способом и применении автоматизированной системы геодезического обеспечения возведения конструкций. Создание такой инфраструктуры станет заблаговременными инвестициями в систему контроля деформаций сооружения в дальнейшем, поскольку она может быть передана после окончания строительства в ведение эксплуатирующей организации для дальнейшего мониторинга состояния сооружения.

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 (инклинометры), 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 конструкции мостового сооружения. Инфраструктура, обеспечивающая работу комплекса аппаратно-программных средств, должна включать центр управления системой, оборудование, систему электропитания и систему коммуникаций.



Участники семинара по мониторингу мостов в августе 2010 г. в г. Владивосток

Применение автоматизированной системы мониторинга деформаций на мосту позволяет оперативно контролировать состояние мостовой конструкции, смещения и прогибы, возникающие в результате влияния внешних природно-климатических воздействий, а также интенсивной транспортной нагрузки. Важной функцией системы также является мгновенное оповещение сотрудников службы эксплуатации моста и службы быстрого реагирования (ГИБДД, МЧС и др.) о потенциально опасной ситуации в случае превышения допустимых размеров деформаций конструкции. Это увеличивает безопасность движения транспорта по мосту и под мостом, позволит избежать тяжелых последствий в случае чрезвычайной ситуации.

Анализ потока данных системы мониторинга позволит увидеть тенденции к возможным предельно-допустимым изменениям конструкции мостового сооружения, своевременно получить информацию и принять решение о необходимости изменения режима эксплуатации моста или его текущего ремонта. Предупредительные меры позволят экономить средства, не прибегая к капитальной реконструкции сооружения, которая станет необходимой в случае непредсказуемой деформации или разрушения.

Стоимость АСДМ может составлять до 0,01% стоимости возведения самого сооружения, а все эксплуатационные расходы, включая расходы на электропитание, обеспечение работы каналов коммуникации, плановое обслуживание автоматизированной системы мони-

торинга, значительно меньше затрат на периодическое обследование традиционными геодезическими средствами. При централизованном управлении несколькими системами из единого центра мониторинга объектов городской инфраструктуры расходы на эксплуатацию каждой системы в отдельности снижаются. Одна группа из 5–10 специалистов способна обслуживать и обеспечивать работу систем объектов и центр мониторинга всего города или региона.

Качество строительных работ и осуществление наблюдений за деформациями имеют решающее значение для безопасности эксплуатации зданий и сооружений, предотвращения аварий и человеческих жертв. Предлагаемые компанией «Фирма Г.Ф.К.» системы мониторинга и контроля состояния объектов транспортной инфраструктуры, зданий и сооружений, промышленных объектов, а также земной поверхности (оползней, просадок) могут внести существенный вклад в решение этой задачи.



**ООО «Ижнинринговый
центр ГФК»**
111524, г. Москва,
Перовская ул., дом 1,
3 этаж, комн. 307
Тел.: 8 (926) 212-70-26
8 (926) 212-70-27
www.icentre-gfk.ru