

ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЙ МОНИТОРИНГ СТРОИТЕЛЬСТВА И ЭКСПЛУАТАЦИИ ВАНТОВЫХ МОСТОВ НА ОСНОВЕ СПУТНИКОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

М. Брынь, А. Никитчин, Е. Толстов

Петербургский государственный университет путей сообщения, г. Санкт-Петербург

А. Ященко, О. Евстафьев

г. Москва

Б. Резник

Берлинский технический университет прикладных наук, г. Берлин

В. Колгунов

Национальный университет “Львовская политехника”, г. Львов

Ключевые слова: мониторинг, вантовый мост.

Актуальность и цель работы

В современных условиях резко возрастают требования к обеспечению безопасных условий эксплуатации инженерно-технических объектов. К их числу относятся вантовые мосты. Пролётные строения таких конструкций состоят из балок жёсткости и поддерживающих их растянутых гибких прямолинейных стержней – вант, закреплённых на пилонах. В мире насчитывается более 1100 вантовых и подвесных мостов, в том числе с длиной пролёта более 300 м – порядка 60. В СССР первый вантовый мост был построен в Киеве через р. Днепр в 1976 г. В России в последние годы вантовые мосты построены в Сургуте (2000 г.), Санкт-Петербурге (2004 г.), Москве (2007 г.). Ведётся строительство двух вантовых мостов во Владивостоке.

Постоянные воздействия внешних факторов и нагрузок приводят к постепенному износу сооружения, а при сверхнормативных нагрузках могут приводить к преждевременному износу, необратимым деформациям и разрушению элементов конструкции. Для контроля и прогнозирования состояния мостового сооружения с целью заблаговременного предупреждения неблагоприятных тенденций изменений их геометрических параметров в настоящее время выполняются периодические обследования конструкции моста с выполнением комплекса геодезических измерений. Однако такие измерения не позволяют получать оперативные данные при возникновении критической ситуации, а также не несут достаточной информации для расчёта действительных текущих динамических характеристик сооружения для сравнения с их проектными значениями. Поэтому

актуальной задачей в настоящее время является разработка централизованной и постоянной системы, способной осуществлять сбор, систематизацию, хранение, анализ, преобразование, отображение и распространение пространственно-координированных данных о контролируемых элементах сооружения на всех этапах его строительства и эксплуатации. Назовём такую систему *системой геоинформационного мониторинга вантовых мостов*.

В качестве основного средства мониторинга следует рассматривать спутниковые геодезические приёмники, поскольку они обладают возможностью непрерывного выполнения измерений вне зависимости от погодных условий.

Целью геоинформационного мониторинга вантовых мостов, как и других систем мониторинга, является повышение надёжности системы обеспечения безопасных условий их строительства и эксплуатации.

Постановка задачи

К задачам, которые решает эта система, следует отнести следующие:

- определение пространственного положения элементов конструкции мостов и их изменений во времени;
- определение геометрических параметров элементов конструкции и выявление причин их изменения;
- вычисление динамических характеристик вантовых мостов и установление зависимости этих характеристик от внешних воздействий;
- выдача предупреждения о несоответствии геометрических и динамических характеристик сооружения их предельно допустимым значениям.

К функциям системы геоинформационного мониторинга следует отнести измерение физических параметров, а также передачу, обработку, накопление и предоставление информации обслуживающему персоналу в непрерывном режиме.

Важной особенностью системы геоинформационного мониторинга вантовых мостов является её модульная структура. Поэтому её элементы, устанавливаемые на конструкции мостов, могут быть перенесены на новое место по мере возведения сооружения, а также дополнены либо заменены. По окончании строительства данные элементы могут как войти в состав системы эксплуатируемого объекта, так и быть перевезенными на другой объект строительства для введения в состав новой системы.

Решение поставленной задачи

Все модули целесообразно разделить на два основных блока:

- блок сбора геоданных;
- блок обработки и анализа поступающей информации.

В состав блока сбора геоданных следует включать модули различной измерительной аппаратуры. Состав рассматриваемого блока представлен в табл. 1. Помимо измерительной аппаратуры, необходимым является наличие оборудования для передачи результатов выполненных измерений в блок обработки и анализа. Данное оборудование выделено в отдельный модуль, поскольку может кардинально различаться по своей структуре в зависимости от конкретного объекта. По тем же причинам модули коммуникаций и электроснабжения являются общими для обоих блоков.

Структура системы геоинформационного мониторинга, а также связи между модулями блоков представлены на рисунке.

Для обеспечения устойчивой работы системы мониторинга и выполнения геодезических работ в районе строительства вантовых мостов следует, на наш взгляд, организовывать минимум две базовые станции, располагаемые в районах противоположных подходов к мосту.

Мобильные приемники следует устанавливать в характерных точках конструкции вантового моста. При этом выбору характерных точек конструкции следует уделять особое внимание ещё на стадии проектирования системы мониторинга. Логичным является назначение контролируемых точек в местах, подверженных наибольшему изменению пространственного положения. Для вантовых мостов такие точки находятся на верхних площадках пилонов и на середине пролётных строений.

Основные модули блока сбора геоданных

Состав модуля	Место установки
Базовые станции, включающие пункт для установки спутниковой антенны, двухчастотные ГЛОНАСС/GPS-приёмники, крепления и необходимые принадлежности	Пункты каркасной геодезической сети
Модуль сенсорных блоков геоинформационного мониторинга, состоящий из двухчастотных ГЛОНАСС/GPS-приёмников, а также креплений и необходимых принадлежностей	Контролируемые точки на сооружении
Геотехнические датчики различного типа, крепления	Контролируемые точки на сооружении
Метеорологические датчики различного типа, крепления	Точки на сооружении
Цифровые видеокамеры	Точки на пилонах
Система коммуникаций	Вспомогательное оборудование
Система электроснабжения	Вспомогательное оборудование

Наличие модуля геотехнических датчиков обусловлено необходимостью контроля спутниковых геодезических измерений другими независимыми методами. В качестве составляющих данного модуля могут выступать высокоточные инклинометры, тензометры и пр. Конкретный набор оборудования определяется в ходе проектирования систем мониторинга.

Сбор данных о метеоусловиях является необходимым элементом контроля технического состояния любого инженерного сооружения. В состав соответствующего модуля должно входить оборудование, способное фиксировать и передавать в цифровом виде информацию о температуре воздуха и элементов конструкции, атмосферном давлении, направлении и скорости ветра и других параметрах.

Следует отметить также необходимость наличия модуля, содержащего цифровые видеокамеры. Данная аппаратура способна не только обеспечивать задачи службы безопасности движения, но также по результатам регистрации транспортного потока информировать о влиянии транспорта на динамическую работу конструкции.

Система геоинформационного мониторинга вантовых мостов экспериментально исследована в ходе научных наблюдений на объекте “Большой Обуховский мост” (вторая очередь) кольцевой автодороги вокруг Санкт-Петербурга.

GNSS-измерения на объекте работ выполнены комплектом спутниковой аппаратуры Leica (Швейцария). В качестве базовых станций использовались приёмники, установленные на двух пунктах мостовой разбивочной сети. Два мобильных приёмника были установлены на середине руслового пролёта и на верхней площадке пилона. Их пространственное положение определяли относительно базовых стан-

ций. Эпоха измерений спутниковыми приёмниками была выбрана 0,05 с на пролёте и 1 с на пилоне. Результаты спутниковых измерений преобразованы в систему координат моста.

Результаты статистической обработки спутниковых измерений представлены в табл. 2, а частоты собственных колебаний по предварительно разработанному авторами алгоритму – в табл. 3.

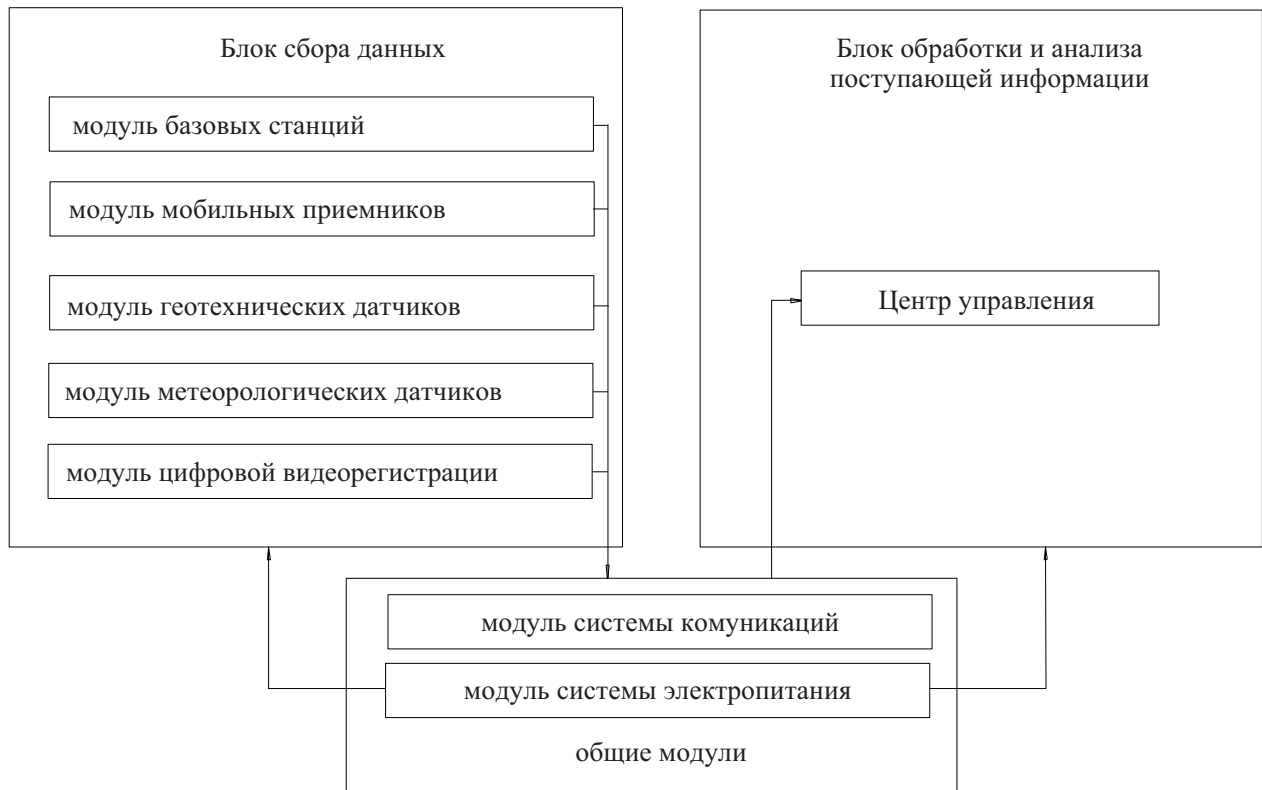


Схема структуры системы геоинформационного мониторинга

Таблица 2

Статистический анализ результатов спутниковых измерений

Место установки мобильного приёмника	Координата	Минимум, м	Максимум, м	Диапазон изменения координаты, м	Медиана, м
верхняя площадка пилона	x	60428,093	60428,177	0,084	60428,151
	y	20,170	20,223	0,053	20,203
	h	130,149	130,240	0,091	130,190
центр руслового пролёта	x	60249,644	60249,700	0,056	60249,673
	y	30,427	30,597	0,170	30,521
	h	36,872	37,163	0,291	37,046

Таблица 3

Проектные и выявленные частоты собственных колебаний

Форма колебания	Проектная частота, Гц	Выявленная частота, Гц	Отклонение, %
1	0,297845	0,296875	0,326
2	0,362997	0,359375	0,998
3	0,392238	не выявлена	–
4	0,405291	0,406250	0,237

Выводы

Анализ результатов показал, что амплитуда колебаний верхней площадки пилона вдоль оси моста в 1,6 раза больше, чем в поперечном направлении и составила 8,4 см. А для центра руслового пролёта амплитуда в поперечном направлении больше в 3,0 раза, чем по оси моста и составила 17 см. При этом амплитуды колебаний центра руслового пролёта по высоте находились в пределах 29 см. Эксперимент показал также, что выявленные частоты собственных колебаний практически совпадают с их проектными значениями.

Таким образом, система непрерывного автоматизированного мониторинга вантовых мостов на основе спутниковых технологий должна стать полноценным и необходимым инструментом контроля и обеспечения безопасности строительства и эксплуатации вантовых мостов. Дальнейшие исследования должны быть направлены на разработку программного обеспечения по установлению зависимости изменения геометрических параметров элементов конструкции вантовых мостов и их амплитудно-частотных характеристик от внешних воздействий.

Геоинформационный мониторинг строительства и эксплуатации вантовых мостов на основе спутниковых технологий
М. Бринь, А. Никитчин, Е. Толстов, А. Яценко, О. Евстафьев, Б. Резник, В. Колгунов

Показана сущность геоинформационного мониторинга вантовых мостов, определены его

функции и состав оборудования. Приведены результаты экспериментальных исследований на Большом Обуховском мосту в Санкт-Петербурге.

Геоінформаційний моніторинг будівництва та експлуатації вантових мостів на основі супутникових технологій

М. Бринь, А. Нікітчин, Е. Толстов, А. Яценко, О. Євстафьев, Б. Резник, В. Колгунов

Показана суть геоінформаційного моніторингу вантових мостів, визначені його задачі, функції та склад обладнання. Наведені результати експериментальних досліджень на Великому Обухівському мості в Санкт-Петербурзі.

Geoinformational monitoring constructions and usages of cable-stayed bridges on base of satellite technologies

M. Brin, A. Nikitchin, E. Tolstov, A. Yaschenko, O. Evstafev, V. Reznik, V. Kolgunov

The main positions of geoinformational monitoring of cable-stayed bridges are shown. The objectives, functions and the staff of the equipment are defined. The results of experimental researches at the Bolshoy Obukhovskiy bridge are listed.

European Geosciences Union

General Assembly 2010

Vienna, Austria, 02 – 07 May 2010

ГЕНЕРАЛЬНА АСАМБЛЕЯ EGU 2010

Генеральна Асамблея EGU 2010 збирає спеціалістів з наук про Землю з усього світу в одному місці й охоплює усі дисципліни планетарних і космічних наук. EGU може слугувати форумом для молодих вчених з метою оприлюднення їх робіт та обговорення ідей з експертами у всіх галузях наук про Землю.

Більше інформації на <http://meetings.copernicus.org/egu2010/>