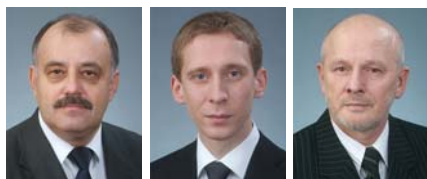


Геодезический мониторинг объектов инфраструктуры железнодорожного транспорта спутниковыми методами

М. Я. БРЫНЬ, канд. техн. наук, доцент, зав. кафедрой, **А. А. НИКИТЧИН**, канд. техн. наук,

Е. Г. ТОЛСТОВ, канд. техн. наук, доцент, кафедра «Инженерная геодезия» ПГУПС



Одно из приоритетных направлений научных исследований, определенных Объединенным ученым советом ОАО «РЖД» в области системных стратегических задач, — разработка системы процессного управления безопасностью железнодорожных перевозок. Для этого необходимо создание системы непрерывного мониторинга, в том числе и геодезического, объектов инфраструктуры: искусственных сооружений, элементов верхнего строения пути, а также зданий и сооружений. Особую актуальность указанная задача приобретает при организации высокоскоростного движения.

Постоянное воздействие нагрузок и изменение значений внешних факторов приводят к постепенному износу и необратимым деформациям элементов конструкций, к их разрушению. Поэтому нужна разработка централизованной системы для сбора, систематизации, хранения, анализа, преобразования, отображения и распространения пространственно-координированных данных о контролируемых элементах сооружения с целью своевременного выявления критичных величин деформаций, причин их возникновения, составления прогнозов развития деформаций, выработки и осуществления мер по устранению нежелательных процессов.

В настоящее время основным средством мониторинга следует считать аппаратуру, работающую по сигналам глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС) ГЛОНАСС и GPS. Система геодезического мониторинга (СГМ), основанная на применении ГНСС, функционирует в режиме реального времени при всех погодных условиях, обеспечивая сантиметровой уровень точности. В результате измерений, выполненных с помощью спутниковых навигационных систем, получают координаты траектории перемещения контролируемых точек. Это исходные данные для анализа и подготовки заключения о деформаци-

ях элементов конструкции сооружения, а также для определения степени влияния на них внешних факторов. На основе полученных в ходе анализа данных назначаются места и даты контрольных осмотров или проводится необходимое техническое обслуживание для поддержания длительной эксплуатации конструкции сооружения.

Таким образом, цель геодезического мониторинга объектов инфраструктуры железнодорожного транспорта состоит в повышении надежности системы и обеспечения безопасных условий их эксплуатации.

Система геодезического мониторинга решает следующие задачи:

- определение пространственного положения элементов конструкции и их изменений с течением времени;

- определение геометрических параметров и выявление причин их изменения;
- вычисление динамических характеристик объектов и установление зависимости таких характеристик от внешних воздействий;
- выдача предупреждения в случае несоответствия геометрических и динамических характеристик сооружения их предельно допустимым значениям.

К функциям системы геодезического мониторинга следует отнести измерение физических величин, передачу, обработку, накопление и предоставление информации обслуживающему персоналу в непрерывном режиме.

Структуру системы геодезического мониторинга предлагается проектировать как модульную. Все модули целесообразно разделить на два основных блока:

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

В состав блока сбора данных (табл. 1) предлагается включать модули различной измерительной аппаратуры. Кроме того, необходимо оборудование для передачи выполняемых измерений в блок обработки и анализа. Такое оборудование выделено в отдельный модуль, поскольку его структура может существен-

Таблица 1. Основные модули блока сбора данных

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

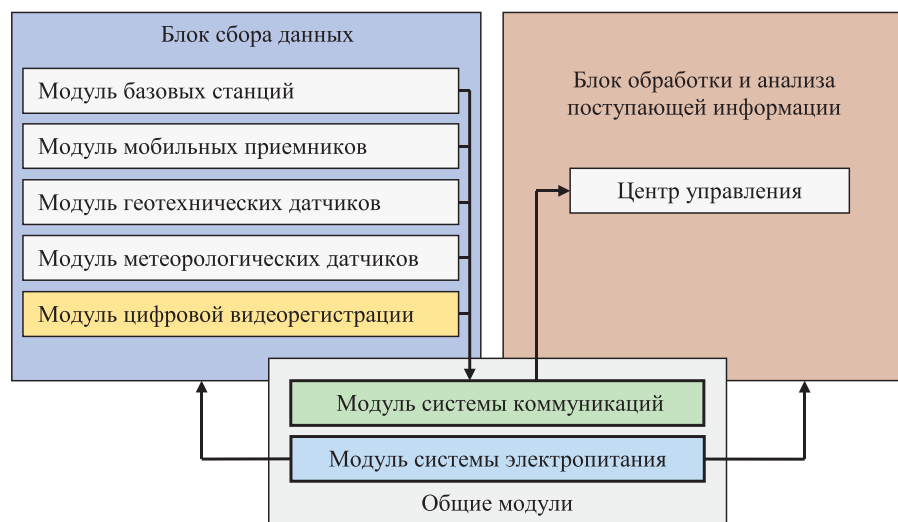


Рис. 1. Структура системы геодезического мониторинга

но различаться в зависимости от объекта. По тем же причинам модули коммуникаций и электроснабжения являются общими для того и другого блока.

Структура системы геодезического мониторинга, а также связи между модулями блоков представлены на рис. 1.

Рассмотрим подробнее состав модулей двух блоков системы геодезического мониторинга. Один из основных модулей блока сбора данных — модуль базовых станций. Данные станции обеспечивают дифференциальными поправками спутниковые геодезические приемники, используемые при выполнении разбивки осей сооружений, выноса в натуре и монтажа конструкций. Таким образом, постоянно действующая спутниковая базовая станция может служить не только для геодезического обеспечения строительства, контроля пространственного положения возводимых конструкций, но и для непрерывного мониторинга деформаций всего сооружения во время его строительства и эксплуатации.

Постоянно действующая спутниковая базовая станция включает в себя ГНСС-приемник, спутниковую антенну, молниеотводы. Функции обеспечения бесперебойного питания и связи с центром управления возложены на соответствующие модули.

Спутниковую антенну базовой станции предлагается устанавливать на пунктах реперной геодезической сети. Базовая станция управляется автоматически с персонального компьютера (ПК) при помощи специализированного программного обеспечения. Она может работать автономно, без участия оператора. Базовые станции формируют спутниковые данные для обработки совместно с данными спутниковых из-

мерений на точках мониторинга. Данные базовой станции и мобильных ГЛОНАСС/GPS-приемников, а также геотехнических и метеорологических сенсоров на точках мониторинга передаются в сервер центра управления системой мониторинга для дальнейшей обработки. При необходимости спутниковые данные передаются по каналам связи на FTP-сервер для удаленного доступа.

С целью повышения эффективности и обеспечения бесперебойной работы базовых станций при выборе места их установки на стадии проектирования следует руководствоваться следующими критериями:

- обеспечение стабильности положения антенны;
- беспрепятственный обзор неба;
- отсутствие в непосредственной близости объектов, которые могут служить причиной возникновения многопутности сигнала;
- отсутствие в близлежащей области радиопередатчиков, которые могли бы быть источниками помех;
- обеспечение линии коммуникаций для управления базовыми станциями и передачи информации в центр управления;
- наличие источника надежного бесперебойного электропитания оборудования;
- защита оборудования от воздействия внешней среды, молний и грозовых разрядов;
- обеспечение антивандалных мер.

Перейдем к рассмотрению модуля мобильных приемников, который, как и модуль базовых станций, имеет в качестве основного элемента спутниковую геодезическую аппаратуру. Размещенные на характерных точках

конструкции элементы данного модуля выполняют спутниковые измерения, на основании которых становится возможным вычисление изменений координат контролируемых точек.

Модуль геотехнических датчиков нужен для контроля спутниковых геодезических измерений другими независимыми методами. Составляющими этого модуля могут быть высокоточные инклинометры, тензометры и пр. Конкретный набор оборудования определяется в ходе проектирования СГМ.

Сбор данных о метеоусловиях — необходимый элемент контроля технического состояния любого инженерного сооружения. В составе соответствующего модуля должно быть оборудование для фиксации и передачи в цифровом виде информации о температуре воздуха и элементов конструкции, о давлении, направлении и скорости ветра и о других параметрах.

Следует отметить необходимость модуля, содержащего цифровые видеокамеры. Такая аппаратура способна обеспечивать решение задач службы безопасности. Кроме того, по результатам регистрации транспортного потока можно делать выводы о влиянии транспорта на динамическую работу конструкции.

Методы геодезического мониторинга исследованы в ходе научного эксперимента, проведенного 12–13 сентября 2008 г. на объекте «Большой Обуховский мост» (вторая очередь) кольцевой автодороги вокруг Санкт-Петербурга кафедрой инженерной геодезии ПГУПС совместно с Университетом прикладных наук (University of applied science, Berlin, Germany) при поддержке Московского представительства компании «Leica Geosystems». Цель этого эксперимента состояла в определении изменений геометрических параметров основных элементов конструкции Большого Обуховского моста и их амплитудно-частотных характеристик на основе применения спутниковой геодезической аппаратуры.

Спутниковые измерения на объекте выполнены комплектом спутниковой аппаратуры Leica (Швейцария). В качестве базовых станций использовались приемники, установленные на двух пунктах мостовой разбивочной сети.

Два мобильных приемника (рис. 2) были установлены на середине руслового пролета (Leica GX 1230 GG) и на верхней площадке пилона (Leica GMX 902 GG). Их пространственное положение определялось относительно базовых станций.



Рис. 2. Спутниковые геодезические приемники, закрепленные на мосту

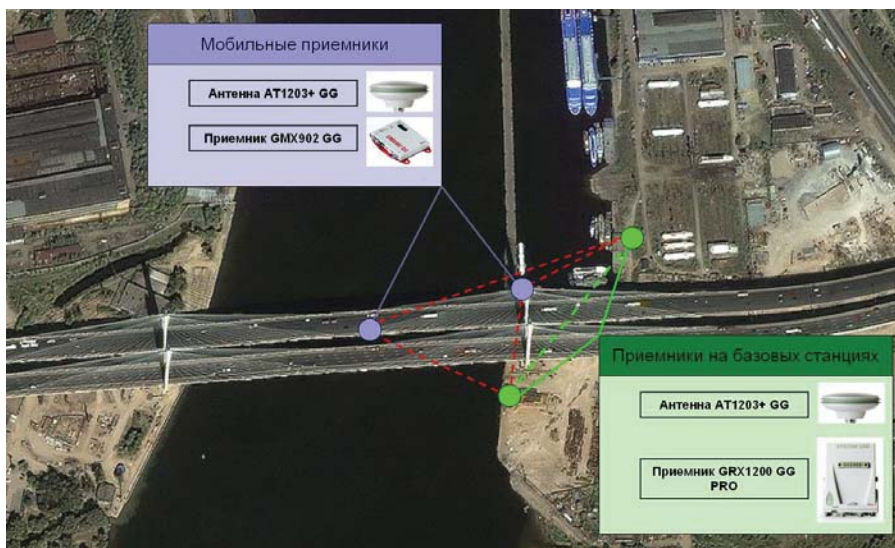


Рис. 3. Расположение спутниковой геодезической аппаратуры

Эпоха измерений спутниковыми приемниками была выбрана 0,05 с на пролете и 1 с на пилоне. Измерения продолжались в течение ~20 ч.

Схема расположения аппаратуры представлена на рис. 3.

Метеорологические измерения — определение скорости и направления ветра, температуры воздуха, влажности, давления, количества осадков, а также прямого солнечного света — выполнялись каждые 30 мин.

Предварительная обработка спутниковых измерений выполнена в программном комплексе Leica Geo Office (LGO). В результате были получены координаты определяемых точек в каждую эпоху измерений в системе координат мостового перехода.

Полученные данные импортировались в программный комплекс MatLab для последующей обработки.

Результаты статистической обработки представлены в табл. 2.

Таблица 2. Статистический анализ результатов спутниковых измерений

Место установки мобильного приемника	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	0,052	20,203
	h	130,149	130,240	0,091	130,190
Центр руслового пролета	x	60249,644	60249,700	0,056	60249,673
	y	30,427	30,597	0,170	30,521
	h	36,872	37,163	0,290	37,046

Таблица 3. 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	Отсутствует
4	0,405291	0,406250	0,237

Для оценки динамического поведения Большого Обуховского моста был применен разработанный на кафедре алгоритм. Результаты выявленных частот колебаний приведены в табл. 3. Следует отметить, что для обработки выбрано несколько интервалов времени.

Из результатов проведенного эксперимента следует, что выявленные с помощью проведенного геодезического мониторинга частоты собственных колебаний практически совпадают с их проектными значениями. Амплитуда колебаний верхней площадки пилона вдоль оси моста в 1,6 раза больше, чем в поперечном направлении, и составляет 8,4 см. Для центра руслового пролета амплитуда в поперечном направлении в 3,0 раза больше, чем по оси моста, и составляет 17 см. При этом амплитуды колебаний центра руслового пролета по высоте находились в пределах 29 см.

Разработанные на кафедре методы создания систем геодезического мониторинга, а также алгоритмов обработки данных внедрены в производственную деятельность ведущих проектных институтов в сфере транспортного строительства, в их числе ООО «НПО "Мостовик"», ЗАО «Институт Гипростроймост-Санкт-Петербург» и ЗАО «Институт "Стройпроект"». Разработки использованы при строительстве Большого Обуховского моста в Санкт-Петербурге, мостового перехода через бухту «Золотой Рог», а также мостового перехода на о. Русский через пролив Босфор Восточный во Владивостоке.