

ГЕОДЕЗИЯ

УДК 528.48

**СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ НАБЛЮДЕНИЯ ЗА ДЕФОРМАЦИЯМИ ПРИРОДНЫХ
ОБЪЕКТОВ И ИНЖЕНЕРНЫХ СООРУЖЕНИЙ****А.Ю. КИРПИЧЁВ***(Представлено: канд. техн. наук, доц. Г.А. ШАРОГЛАЗОВА)*

Рассмотрены современные технологии организации деформационного мониторинга ответственных инженерных сооружений в условиях все возрастающего влияния деятельности человека на экологию и окружающую среду.

Наблюдаемый в настоящее время стремительный технический прогресс оказывает все возрастающее вредное воздействие на окружающую среду, что проявляется в различных природных катаклизмах и авариях на инженерных сооружениях. Как земная кора (природный объект), так и техногенные сооружения, для сохранения равновесия в природе должны вести себя устойчиво. Но как свидетельствует опыт, это равновесие оказывается очень хрупким и легко нарушается. Хозяйственная деятельность человека усиливает деформационные процессы в земной коре, может спровоцировать землетрясения или иные природные катаклизмы, которые, в свою очередь, приведут к авариям на техногенных объектах. Взаимобусловленность влияний тектонических и техногенных факторов на природное равновесие является общеизвестным фактом. Ответственные инженерные сооружения, особенно экологически опасные, строятся возводить на стабильных тектонических структурах с учетом прочности горных пород, а также с расчетом сейсмостойкости сооружения, что далеко не всегда реализуемо.

Поэтому организация деформационного мониторинга природно-технических объектов чрезвычайно важна и актуальна. Деформационный мониторинг – это, прежде всего, геодезический мониторинг природных и инженерных объектов с оценкой их взаимобусловленного влияния на состояние природного равновесия и устойчивость сооружений. Актуальными здесь является организация следующего геодезического мониторинга:

- на подрабатываемых территориях;
- оползнеопасных склонов;
- ответственных инженерных, особо опасных и динамических (находящихся в состоянии непрерывных знакопеременных деформаций) сооружений: мостов, ГЭС, АЭС, высотных сооружений и т.д.

Деформационный мониторинг должен проводиться по единой заранее разработанной технологической схеме и современными методами с привлечением не только геодезических приемов, но и других технических возможностей.

Правильная организация слежения за деформациями ответственных инженерных сооружений является актуальным вопросом. Особенно эта проблема остро стоит в густонаселенных районах, так как в связи с развитием и ростом инфраструктуры больших городов наблюдается увеличение объемов строительства как автодорожных, так и железнодорожных магистралей. Это вызывает необходимость в возведении большого числа транспортных развязок, мостов и путепроводов, в том числе и в условиях плотной городской застройки. Поэтому для безопасного проведения строительно-монтажных работ и последующей эксплуатации необходимо проводить контроль за деформацией не только возводимых сооружений, но и уже существующих зданий [1].

В настоящее время имеется широкий спектр оборудования и программного обеспечения для решения задач деформационного мониторинга. В зависимости от применяемого оборудования методы наблюдений можно условно разделить на следующие группы:

1. Классические методы геодезических измерений
2. Лазерное сканирование
3. Использование ГНСС систем
4. Мониторинг объектов с применением датчиков
5. Автоматизированные системы мониторинга

Данное деление методов очень условное, потому что в большинстве случаев оно носит комбинированный характер. Например при деформационном мониторинге плотины Рублёвского гидроузла компанией ГУП “Мосгоргеотрест” было реализовано решение компании Leica Geosystems, которое включало в себя использование комбинированной автоматизированной системы мониторинга с использованием

ГНСС оборудования Leica GMX902 GG, системы инклинометров Leica NIVEL 220, роботизированного тахеометра Leica TS15A.

Поэтому вкратце рассмотрим каждый из этих методов.

Метод классических измерений включает в себя методы геометрического нивелирования и тахеометрической съемки. Независимо от того, что данные методы используются очень давно, они не теряют своей актуальности и сегодня. При использовании метода геометрического нивелирования превышения между точками на расстоянии 5–10 м можно определять с точностью до 0,05–0,1 мм, а на расстоянии сотен метров – с точностью до 0,5 мм. При определении осадок мостов и эстакад используют нивелирование I и II классов, СКП превышений на станции в этих случаях равны 0,4 и 0,9 мм соответственно. Отметки деформационных точек (марок) на весь период наблюдений определяют относительно исходного опорного репера или группы реперов. Полученные результаты уравнивают, оценивают фактическую точность отметок, по разностям отметок в циклах строят графики осадок [2]. В настоящее время наибольшая степень автоматизации геометрического нивелирования достигается при использовании цифровых нивелиров, представителями которых к примеру являются нивелиры серии Leica Sprinter, Trimble Dini, Sokkia SDL.

Ко второй составляющей классических методов измерений относят тахеометрическую съемку. На данный момент этот вид работ выполняется точными, высокоточными и роботизированными тахеометрами. В современных реалиях все тахеометры которые применяются для мониторинга на крупных объектах имеют безотражательный режим измерений, так как не всегда есть возможность установить марку либо призму. Во многих моделях реализована оптическая система со встраиваемой камерой, которая позволяет более точно навестись на точку посредством вывода изображения либо на дисплей тахеометра, либо контроллера. Данная опция реализована в тахеометрах Trimble S серии и в роботизированных тахеометрах Leica.

Метод наблюдения за деформационными процессами с помощью лазерных сканеров схож с измерением роботизированным тахеометром. Если подойти к технической стороне вопроса, то можно сказать, что лазерный сканер – это прибор, оснащенный высокоскоростным безотражательным лазерным дальномером и системой изменения направления луча лазера – специальное поворотное зеркало. Задав область сканирования – сектор поворота зеркала, в котором будет с большой скоростью до 50000 точек в минуту распространяться лазерный луч дальномера, можно получить сплошную съемку интересующего объекта. Причем плотность точек лазерного сканирования может быть от 0,25 мм до 1 м и более. В результате получается массив точек, каждая из которых имеет 3 пространственные координаты X Y Z.

Все управление работой прибора осуществляется с помощью портативного компьютера со специальным ПО. Полученные значения координат точек из сканера передаются в компьютер и накапливаются в специальной базе данных.

Лазерные наземные сканеры часто классифицируют по принципу определения пространственных координат на импульсные, фазовые и триангуляционные.

В импульсных сканерах реализован метод определения расстояний, основанный на точном определении времени прохождения импульса до цели и обратно. Так как в этом методе используется световой импульс для непосредственного измерения расстояния, то главное достоинство таких сканеров – в большой дальности измерений (несколько сотен метров).

Дальность действия фазовых сканеров ограничена 100 м. В сканерах этого типа расстояние определяется на основе измерения сдвига фаз излучаемого и отраженного сигналов. Поскольку в этом методе используется модулированный световой сигнал, для определения расстояния, в отличие от импульсного метода, большой мощности лазера не требуется, поэтому расстояния могут быть измерены с ошибкой в несколько мм. Скорость измерений фазовых сканеров на несколько порядков (1–2) превосходит скорость импульсных сканеров.

Триангуляционный метод реализован в высокоточных сканерах. Конструктивной особенностью сканеров такого типа является то, что излучатель и приёмник сигнала разнесены на известное расстояние (базис). Такие сканеры позволяют достичь точности измерений в десятые и даже сотые доли миллиметра, но на коротких дистанциях (в несколько метров). Последовательность производства работ по лазерному сканированию показана на рисунке 1 [3].

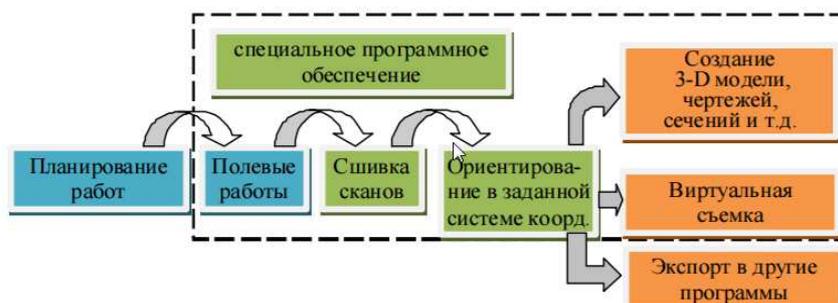


Рисунок 1. – Последовательность производства работ по лазерному сканированию [3]

Следующим разделом наблюдений за деформациями является деформационный мониторинг объектов с применением ГНСС

Глобальная навигационная спутниковая система (ГНСС) – это система, при помощи которой можно получить координаты в любой точке земной поверхности путем обработки спутниковых сигналов.

Определение координат по наблюдениям навигационных спутников возможно следующими методами [3]:

1) абсолютным, когда координаты получают одним приёмником в системе координат искусственного спутника Земли (ИСЗ) методом засечки положения приёмника от КА с известным положением. Метод также носит название «точечное позиционирование»;

2) дифференциальным, когда наблюдения выполняются не менее чем двумя приёмниками, один из которых расположен на опорном пункте с известными координатами, а второй – на определяемом. В этом методе по результатам наблюдений на опорном пункте получают поправки к параметрам наблюдений для определяемого пункта или к его координатам, т.е. наблюдения обрабатываются отдельно. Метод обеспечивает «мгновенные» решения, или решения в реальном времени;

3) относительным, когда одновременно выполненные на опорном и определяемом пунктах наблюдения обрабатываются совместно. В этом методе определяют вектор, соединяющий опорный и определяемый пункты, или так называемый «вектор базовой линии».

В каждом из указанных методов определение координат возможно путём измерения как по фазе кода (по кодовым псевдодальностям), так и по фазе несущей частоты сигнала (обычно просто по фазе несущей).

Точность кодовых дальностей имеет метровый уровень, точность фазовых измерений составляет несколько мм. Точность дифференциального и относительного методов выше, чем у абсолютного (ошибки на уровне см и меньше).

В каждом из методов наблюдения могут быть выполнены в режимах статики и кинематики. В первом случае оба приёмника стационарны, во втором – один приёмник неподвижен, а другой перемещается.

Статическое позиционирование позволяет повысить точность определений за счёт накопления данных. Относительное позиционирование по фазовым измерениям является наиболее точным методом определения координат и используется в геодезии наиболее часто.

Кинематическое позиционирование даёт возможность получать траекторию движения объекта, на котором установлен подвижный приёмник – ровер.

В широком смысле под мониторингом понимается наблюдение за окружающей средой, представляющей собой динамическую, то есть постоянно изменяющуюся систему с целью ее контроля, изучения, прогноза и охраны. По уровню охвата территории различают глобальный, региональный и локальный мониторинг, по оперативности получения результата – от долей секунды до нескольких часов и даже суток и более [3].

Примерами деформационного мониторинга реализовано организацией НАВГЕОКОМ на примере вантового моста через мост через р. Мзымта. Мониторинг осуществлялся посредством комплекта ГНСС оборудования Leica GMX902 GG.

Напрямую деформированное состояние конструкций способны измерять датчики деформаций, перемещений и углов поворота. Для измерения перечисленных параметров используются самые различные приборы: механические, оптомеханические, электромеханические, электронные. К таким приборам относятся тензодатчики, оптические датчики, струнные пьезодатчики деформаций. В работе М.Л. Хазанова приведено полное описание и сравнительный анализ большого количества различных приборов, позволяющие с той или иной степенью достоверности определять напряженно-деформированное состояние конструкций. Среди них особое внимание необходимо уделить электронным приборам, или приборам, работающим с аналогово-цифровыми преобразователями (АЦП), так как они позволяют проводить измерения без непосредственного участия человека с образованием компьютерных сетей для получения и обработки полученной информации. Электронные приборы пришли на смену большому количеству механических датчиков самых разнообразных конструкций и систем: для тензометров это системы Гунберга, Аистова, Нилендера; виброизмерители Шенека, Гейгера; инклинометры Стопани и измерители усилий Махновского.

Наиболее распространенными приборами измерения деформаций являются тензодатчики на основе тензорезисторов, индуктивных датчиков и оптоэлектронных датчиков деформаций. Действие тензорезисторов основано на изменении электрического сопротивления элемента при его деформации. Достаточная чувствительность для измерения малых деформаций пролетных строений может достигаться путем применения качественных высокочувствительных АЦП, определенных схем подключения тензодатчиков типа «мост» или «полумост». Достигается необходимый уровень точности путем статистического анализа получаемых от тензорезисторов данных, их фильтрации с целью отбрасывания заведомо ложных показаний.

Индуктивные тензодатчики основаны на изменении индуктивности соленоида при линейном перемещении якоря внутри обмотки. При работе датчика происходит первичное возбуждение обмоток и демодуляция их сигналов с помощью специальной электронной схемы. Индуктивные тензодатчики, и тензодатчики других конструкций установлены на пролетном строении моста Александра Невского в Санкт-Петербурге.

Важным параметром при проведении мониторинга высотных сооружений, таких как опоры мостов, пилоны вантовых и висячих мостов, а также пролетных строений является изменение угла наклона элементов. Для измерения угла наклона применяются инклинометры – специальные датчики, преобразующие изменение своего положения в аналоговые или дискретные электрические сигналы, регистрируемые системами сбора данных [4].

Существующие регламенты и инструкции по эксплуатации объектов определяют порядок, объём работ и периодичность геодезического мониторинга. Недостатком такого подхода является отсутствие информации о состоянии объекта между периодами проведения мониторинга, что в предельном случае не позволяет отследить быстроразвивающиеся деформационные процессы. В качестве примера можно привести контроль за склоном карьера, деформационные процессы в котором могут развиваться за 1–2 часа и привести к его обрушению.

Автоматизированные системы мониторинга свободны от такого недостатка, и позволяют собирать и обрабатывать данные о деформационных процессах контролируемого объекта с любой периодичностью, а также осуществлять экстренное оповещение заинтересованных служб о нештатных ситуациях. Автоматизированные системы деформационного мониторинга могут быть геодезическими, геотехническими или комбинированными. В геодезических системах мониторинга в качестве датчиков используются геодезические приборы, позволяющие непосредственно измерять координаты или смещения контролируемых точек объекта (например: тахеометры, спутниковые навигационные приёмники, инклинометры). В геотехнических системах используются датчики различных физических величин, которые обеспечивают дополнительную информацию о состоянии объекта (например: тензометры, акселерометры, экстензометры, датчики температуры, давления и влажности и др.). Наиболее полную информацию о состоянии контролируемого объекта дают, безусловно, комбинированные системы. Такие системы рекомендуются устанавливать на значимые объекты инфраструктуры [5].

Данный метод был реализован компанией СОДИС ЛАБ на многих объектах олимпиады в г. Сочи : Дворец спорта “Большой”, Дворец спорта “Айсберг”, Олимпийский стадион “Фишт”, Конькобежный центр “Адлер-Арена”. Так же такая система позволяет производить постоянный мониторинг оползневых явлений, для примера компания Алькомп при использовании оборудования компании Leica предложила решение по мониторингу оползневых склонов совмещенной автомобильной и железной дороги “ Адлер – Горноклиматический курорт “Альпика-Сервис”

Ознакомившись с различными направлениями в сфере разработок систем мониторинга инженерных сооружений, различными методами организации деформационного мониторинга, можно сделать вывод, что контролируемые при проведении мониторинга параметрами являются: пространственное положение объекта наблюдения и его конструктивных элементов, деформации конструкций, а также их вибрационные параметры. Для обеспечения автоматизированного мониторинга мостовых сооружений в настоящее время существует широчайшая приборная база, позволяющая контролировать большинство интересующих параметров работы сооружений. Выбор используемых приборов зависит от поставленных задач мониторинга.

ЛИТЕРАТУРА

1. СП 274.1325800.2016 Мосты. Мониторинг технического состояния [Электронный ресурс] // Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/456050588/>. – Дата доступа: 25.09.2019.
2. Марфенко С.В. Геодезические работы по наблюдению за деформациями сооружений. Уч. пособие. М.: МИИГАиК, 2004, – 36 с.
3. Азаров Б.Ф. Современные методы геодезических наблюдений за деформациями инженерных сооружений Ползуновский вестник № 1 2011. – 19–29 с.
4. Баранов Т.М. Метод оценки геодинамической безопасности железобетонных автодорожных мостов и технологии их мониторинга: дис. на соиск. канд. тех. наук – Иркутск, 2014. – 159 с.
5. Мониторинг деформаций [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://geosystems.ru/solutions/monitoring-deformatsiy/>. – Дата доступа: 25.09.2019