

УДК 528.48

Хиллер Б.О., «Г.Ф.К.», г. Москва,
к.т.н., профессор Староверов В.С.,
к.т.н., доцент Шульц Р.В., Адаменко А.В.,
Київський національний університет будівництва і архітектури

ГЕОДЕЗИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ МОСТОВ

В статье рассматриваются основные методы и технические средства геодезических работ по мониторингу мостов.

Мосты относятся к ответственным сооружениям, за которыми в процессе эксплуатации необходимо проводить геодезический мониторинг их устойчивости. Правильно и качественно выполненный контроль за стабильностью построенной конструкции увеличивает срок и надежность эксплуатации моста и в значительной степени повышает безопасность его использования. Главной задачей контроля за деформациями мостовых переходов является определение тенденции изменения геометрических параметров конструкций через периодические наблюдения за деформациями узлов конструкций сооружения, и предупреждение появления недопустимых деформаций в узлах конструкций.

Традиционно, геодезический мониторинг деформаций мостов осуществляется путем проведения периодических геодезических или фотограмметрических наблюдений. К недостаткам таких «традиционных» методов проведения мониторинга сооружений относятся высокая трудоемкость исследований и возможность определения деформаций исключительно только после проведенного повторного цикла измерений.

На этапе планирования мониторинга мостов и инженерных конструкций в целом, необходимо определить точность и периодичность геодезических наблюдений и места расположения контрольных марок. Как известно, точность определения и период наблюдений за деформациями инженерных сооружений зависит, в первую очередь, от скорости самой деформации и рассчитанной величины полной деформации конструкции.

Определение точности и периодичности измерений выполняют на основе расчета гипотетической модели деформации мостового перехода. Анализируя эту модель деформации, получают какие-то приближенные характеристики, в соответствии с которыми выполняют первый цикл наблюдений. С каждым циклом измерений, гипотетическая модель деформаций уточняется, соответственно, уточняется время проведения следующего цикла и необходимая точность выполнения измерений. В соответствии с работой [1],

периодичность наблюдений за деформациями сооружения определим по следующей формуле:

$$t_i = -\frac{\ln\left(1 - i \frac{\Delta S}{S_k}\right)}{\alpha}, \quad (1)$$

где t_i – время от первого цикла наблюдений; ΔS – средняя величина деформации между циклами; S_k – полная расчетная деформация; α – коэффициент сжатия грунтовой основы.

В таком случае необходимая точность выполнения наблюдений за деформацией мостового перехода :

$$m(\Delta S) = \frac{\Delta S}{N\sqrt{2}}, \quad (2)$$

где $m(\Delta S)$ – средняя квадратичная погрешность наблюдений; N – произвольный коэффициент, который указывает на относительную точность определения скорости деформации.

Применение современных геодезических технологий позволяет облегчить задачу геодезического мониторинга деформации мостов. К таким технологиям безусловно относятся автоматизированные системы деформационного мониторинга (АСДМ). Преимуществом использования АСДМ является возможность, одновременного с измерениями, определения величин деформаций мостов, что дает возможность откорректировать методику измерений, в случае необходимости, до завершения цикла наблюдений. Другой возможностью использования АСДМ является постоянный контроль за соблюдением геометрии моста с выводением в автоматическом режиме данных измерений на экран компьютера пользователя, который может находиться даже за сотни километров от сооружения.

Контроль за деформациями конструкций моста должен выполняться на всех этапах его строительства и эксплуатации. Весь комплекс геодезических работ по мониторингу мостов условно можно разделить на две группы, которые отличаются по условиям и технологии выполнения работ :

- наблюдение за деформациями опор мостовых переходов;
- наблюдение за деформациями прогонных конструкций мостовых переходов.

Рассмотрим детальнее технологию геодезических наблюдений в каждой группы отдельно.

Наблюдение за деформациями опор мостовых переходов

Геодезический контроль стабильности мостовых опор начинается сразу по завершению строительства опор. Первый цикл измерений обычно

выполняют после возведения тела опоры и подферменных площадок, по результатам измерений вычисляют начальные координаты деформационных марок.

К наиболее характерным видам деформаций опор мостовых переходов относятся проседание, горизонтальные сдвиги и крен. Во время геодезических измерений при наблюдении за стабильностью геометрии мостовых опор должны контролироваться все указанные виды деформаций.

Автоматизированный контроль горизонтальных смещений мостовой опоры возможен при условии использования системы GPS приемников. В таком случае один GPS приемник устанавливается на пункте опорной геодезической сети, один, или несколько GPS приемников закрепляется на мостовой опоре, в подготовленном для этого месте (рис. 1, 2).



Рис. 1. Установка GPS приемника на базовую станцию

Устанавливая GPS приемники на верху мостовой опоры, по пересечению осей, возможно выполнять контроль и за кручением опоры. По разнице данных измерений GPS приемников, определяется изменение расстояния и азимута линии, образованной двумя GPS приемниками.

По полученным данным определяют изменение положения мостовой опоры относительно пункта опорной геодезической сети. Для повышения надежности и точности измерений часто на пунктах опорной геодезической сети устанавливают два GPS приемника. Такая система будет нечувствительна к возможной потере сигнала спутников базовым приемником, что значительно повышает надежность измерений и обеспечивает их выполнение в любой промежуток времени.

Автоматизированная система деформационного мониторинга представляет собой комплекс аппаратно-программных средств для измерений и обработки полученных результатов. К АСДМ входят GPS приемники,

высокоточные электронные тахеометры, коммуникационная и компьютерная аппаратура, а также программное обеспечение для управления системой.



Рис. 2. Установка GPS приемника на точке мониторинга.

В состав автоматизированных систем геодезического мониторинга мостовых переходов включают датчики наклона, которые позволяют в автоматическом режиме определять крен мостовой опоры. Датчики наклона устанавливаются на мостовых опорах в двух перпендикулярных плоскостях, по кабелям датчики наклона в автоматическом режиме передают пользователю изменение наклона своего положения. Для корректного определения данных наблюдений, датчик в автоматическом режиме выдает также параметры внешней среды.

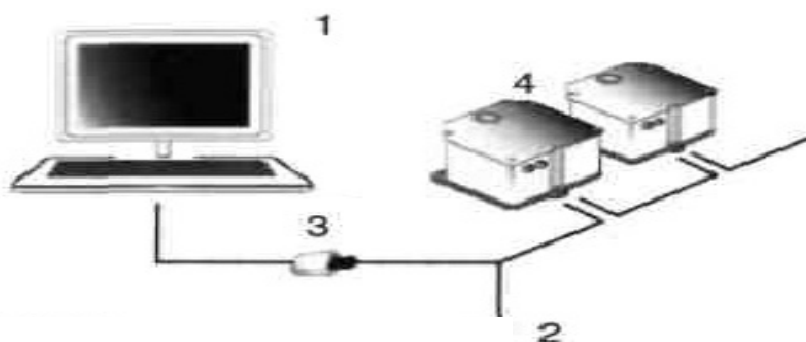


Рис. 3. Принципиальная схема использования датчиков наклона.

На рис. 3 показана схема применения датчиков наклона. Датчики питания 4 последовательно подключены в сеть и соединяются с компьютером

1 через преобразователь RS232/RS482 3. Вся система подключена к блоку питания 2.

Типичным датчиком наклона является Leica NIVEL 210 (рис. 4). Нормируемая точность такого датчика составляет 1 мм на 1000 метров. Такая точность датчика, позволяет фиксировать даже изменение наклона мостовой опоры на 0,2".



Рис. 4. Датчик наклона Leica NIVEL 210

Классическим методом определения крена мостовой опоры является метод определения смещений деформационных марок, заранее закрепленных на теле опоры, с течением времени. Такие измерения выполняют посредством высокоточных линейно-угловых измерений. Включенный в состав автоматизированной системы деформационного мониторинга высокоточный автоматизированный тахеометр позволяет выполнять такие измерения по составленному графику автоматически.

Наблюдение за деформациями прогонных конструкций мостовых переходов

При наблюдениях за деформациями прогонных конструкций мостовых переходов определяют изменение геометрии балки жесткости, арки и других конструкций, через которые передаются нагрузки от транспорта на мостовые опоры. Одинаковая технология выполнения измерений позволяет объединить геодезические работы по наблюдению за такими разными конструкциями в одну группу. По результатам наблюдений за деформацией прогонных конструкций определяют прогиб, перекосы и изломы последних.

Наблюдения за деформациями прогонных конструкций начинают сразу после установления их на опоры. Как правило, в начале наблюдения выполняют чаще (до четырех раз на год), со временем, интервал между циклами наблюдений увеличивается. Наблюдения за деформацией прогонных конструкций выполняют по закрепленным еще во время монтажа деформационным маркам. В качестве деформационных марок рекомендуется использовать катафодные марки, или постоянно закрепленные отражатели. Деформационные марки закрепляют в узлах конструкции (в фермах – на пересечении осей стержней). Марки должны быть закреплены в местах крепления прогонных конструкций с мостовыми опорами и в середине прогонов с обеих сторон проездной части мостового перехода.



Рис. 5. Высокоточный тахеометр Leica TM 30

Широкое применение при наблюдениях за деформацией прогонных конструкций приобретают автоматизированные системы деформационного мониторинга. Типичный высокоточный тахеометр, который входит в состав АСДМ, показан на рис. 5. Тахеометр ТМ30 является прецизионным геодезическим прибором с точностью измерений углов $0,5''$, линий - $[0,6 + 1(S_{\text{кк}})]_{\text{мм}}$. Тахеометр имеет сервопривод, что позволяет проводить управление и наведение прибором из компьютера.

На рис.6 показана принципиальная схема автоматизированной системы деформационного мониторинга арочного моста. В такой системе АСДМ, один или несколько тахеометров 1, в автоматическом режиме, постоянно или по некоторой программе, выполняют наблюдение контрольных точек 3, которые расположены в узлах конструкции и на опорных пунктах. Координаты

контрольных точек, которые затруднительно измерять с помощью тахеометра, определяют из GPS измерений 2. Дополнительно выполняют измерение крена опор мостового перехода с помощью датчиков наклона 4. Специализированное программное обеспечение постоянно сравнивает полученные результаты с проектными данными и выдает величины отклонений с помощью графиков и таблиц на дисплей оператора. По коммуникационным каналам эти данные в режиме реального времени через Интернет могут передаваться и другим заинтересованным лицам. Фирма Leica Geosystems (рис. 7) разработала специализированную программу, которая автоматически выполняет цикл измерений по разработанной программе и выполняет их автоматическую обработку.

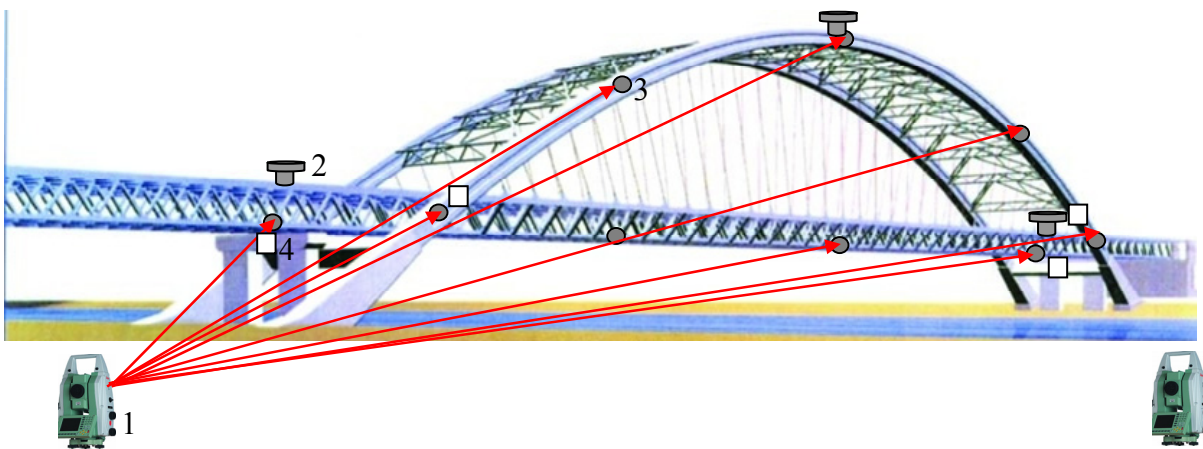


Рис. 6 Принципиальная схема АСДМ.

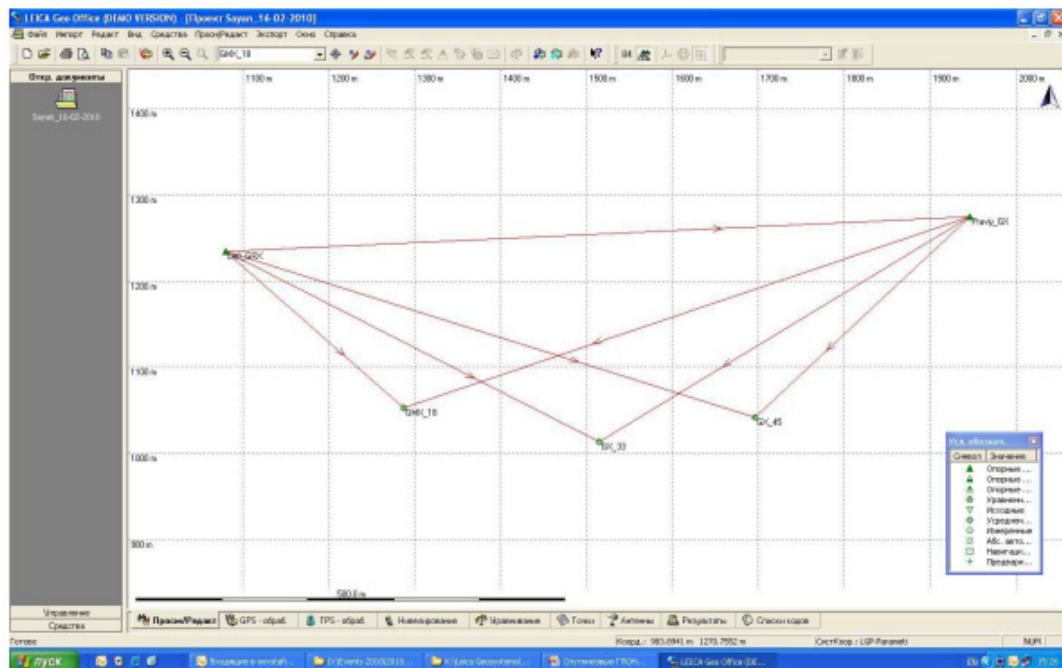


Рис. 7 Вывод результатов измерений мониторинга на экран компьютера в программе GeoMos.

Гибкость программы характеризуется следующими параметрами:

- возможность уточнения координат станции по контрольным опорным пунктам;
- возможность задания нескольких групп деформационных марок со своим периодом и технологией измерений;
- возможность задания разных методик измерений по циклам.

Таким образом, использование новейших технологий, а именно, автоматизированных систем деформационного мониторинга, позволяет оперативно или постоянно проводить наблюдение за деформациями мостов, что в свою очередь позволяет выявить и определить величины имеющихся деформаций в любой произвольный промежуток времени.

Литература

1. Видуев Н. Г., Староверов В. С. Расчет точности наблюдений за осадками инженерных сооружений. – В зб. "Инженерна геодезія", вип. №12. – К.: Будівельник, 1972. – С. 3-12.
2. Хиллер Б. О. Деформационный мониторинг как составная часть системы безопасности городской инфраструктуры. // IV открытый градостроительный форум «Город завтра», сессия «Безопасность строительства и эксплуатации объектов», Новосибирск, 14 апреля 2010 г.

Анотація

В статті розглянуті основні методи та технічні засоби при виконанні геодезичних робіт по моніторингу мостів.

Annotation

The article highlights the main methods and technical assistance of geodetic survey in the field of bridge mounting.