

УДК 528.48

РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ БОЛЬШЕПРОЛЕТНЫХ ПОКРЫТИЙ СООРУЖЕНИЯ

М. Лобов, С. Маликов, А. Чирва

Донбасская национальная академия строительства и архитектуры

Ключевые слова: геодезический мониторинг, автоматизированный кренометр, горизонтальные и вертикальные деформации, инварная струнная система.

Постановка проблемы

В последние годы все больше возводится большепролетных сооружений, имеющих горизонтальные или наклонные покрытия (спортивные комплексы, торговые центры и др. массовые сооружения). Под действием силы тяжести, значительного количества снега в зимнее время происходят деформации покрытий, превышающие расчетные величины, в результате которых опорные элементы (колонны, фермы, шарнирные узлы) испытывают неодинаковые нагрузки, в результате которых опорный контур и само покрытие могут изменить свои параметры в значительных пределах, приближаясь к предельному состоянию, а иногда и к аварийному (большепролетные сооружения в Москве, Санкт-Петербурге, в Словакии и других странах).

Показательными являются наши исследования в г. Москве по определению деформаций покрытий олимпийских объектов на проспекте Мира (Олимпийский крытый стадион и плавательный бассейн), которые имеют большепролетные покрытия. Так, проведенный впервые геодезический мониторинг покрытий в зимнее время показал, что максимальное смещение точек при колебаниях температуры и неравномерном распределении снеговой нагрузки происходит примерно в четырех сечениях, когда опорный контур сжимается внутрь с одной стороны и сдвигается наружу с противоположной. Определение горизонтальных деформаций покрытий в момент экстремальных нагрузок представляется сложным процессом, требующим значительных затрат времени и специальной высокоточной геодезической технологии. С появлением электронных тахеометров и сканирующих систем проблема измерений с необходимой точностью стала решаемой, однако требуется выполнение работ на высоте в зимнее время, когда из-за большого количества снега, наледи перемещение по покрытие и поиск реперов бывают затруднительны.

Изложение основного материала

Рассмотрим возможность применения различных способов контроля горизонтальных деформаций большепролетных конструкций. В процессе горизонтальных деформаций происходят перемещения верха колонн, поэтому для измерения деформаций покрытий можно использовать как простейшие приборы измерения кренов колонн, так и автоматизированные системы, расположенные внутри исследуемых сооружений. В связи с тем, что доступ к колоннам возможен, как правило, с внутренней стороны, простейшими приборами для определения их крена могут служить

индикаторы вертикали для визуального определения крена или самописцы для вычерчивания изменяемого положения верха колонны на бумажной координатной основе, когда нижняя часть тяжелого отвеса содержит пишущее устройство. Полученные графики смещений позволяют определить деформации верха каждой колонны и определить общую деформацию покрытия. При этом на листе может быть заранее нанесена красная линия, соответствующая предельной величине расчетного (или аварийного) смещения верха колонны или покрытия при максимальной нагрузке. Такие устройства можно устанавливать на 3–4 колоннах с каждой стороны сооружений прямоугольной формы или через 4–5 колонн на сооружениях криволинейной формы. Для исключения повреждений каждый датчик закрыт пластмассовой трубой. Стоимость такого датчика не превышает 300–400 грн., точность измерения крена колонны 1–2 мм. Такую систему мы разработали при исследовании деформаций Олимпийского плавательного бассейна, когда датчики устанавливались на 12 колоннах в четырех сечениях (45°, 135°, 225°, 315°) относительно главной оси I–III. Так как верхняя часть колонн имеет площадки в виде плиты, то можно размещать измерительную систему в виде микроnivelиров с электронной регистрацией, в основе которых используются электронные уровни [1]. Определяя наклон верхней плоскости колонны, получаем составляющие крена по формулам (рис. 1).

$$q_x = \frac{L \cdot \delta_x}{b}, \quad (1)$$

$$q_y = \frac{L \cdot \delta_y}{b}, \quad (2)$$

$$Q = \sqrt{q_x^2 + q_y^2}. \quad (3)$$

Для получения непрерывной деформации использовался самопишущий прибор. При использовании уровней с мостовой схемой включения преобразователя получаем наиболее оптимальный диапазон измерений и необходимую точность. Технические параметры этой системы приведены в таблице.

При $L \approx 12$ м погрешность определения наклона не превышала 15 мкм. Недостатком этой системы является неоднозначность определения наклона и необходимость установки двух уровней с попеременной фиксацией наклона относительно главных осей колонны.

Параметры измерительной системы с электронными уровнями

№	Диапазон измерений	Цена деления уровня
1	25"	0,5"
2	10"	0,2"
3	5"	0,1"

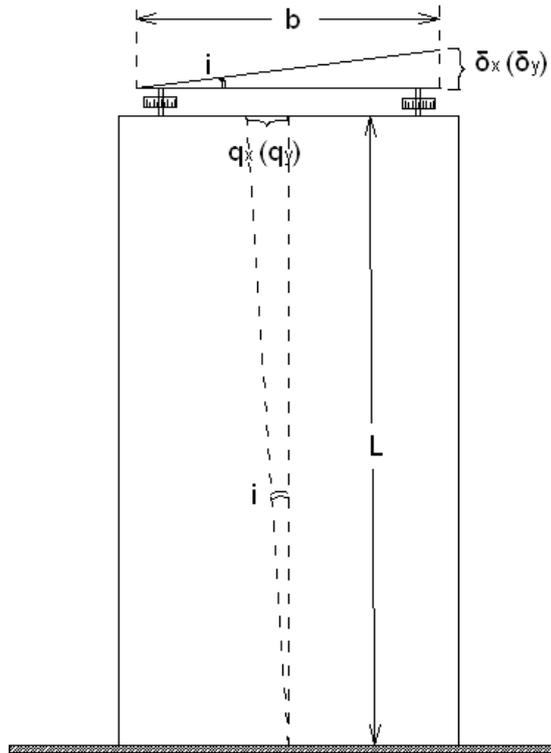


Рис.1. Схема определения наклона колонны электронным уровнем

Поэтому, учитывая этот недостаток, на кафедре инженерной геодезии Донбасской национальной академии строительства и архитектуры разработан автоматический кренометр с емкостным датчиком особой конструкции [2], в котором крен колонны или наклон определяется однозначно. Конструкция измерительного прибора состоит из опорного датчика и двух рабочих, установленных под углом 90° к опорному датчику. В качестве диэлектрика использована специальная электропроводящая жидкость (рис. 2). На рис. 3 приведена структурная схема автоматического кренометра.

При оптимальной базе датчика $b = 300$ мм обеспечивается точность определения крена в пределах 10 мм в диапазоне смещений до 100 мм при высоте колонн до 30 м.

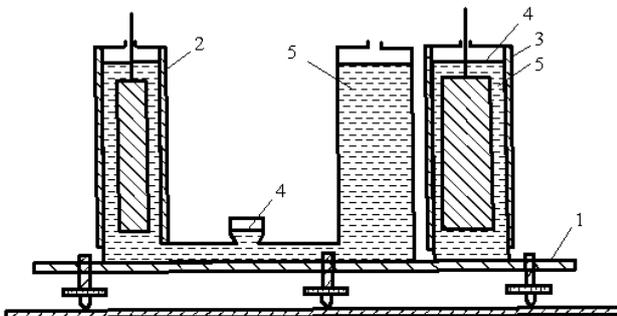


Рис. 2. Схема емкостного измерительного датчика кренометра: 1 – подставка; 2 – рабочий датчик; 3 – опорный датчик; 4 – демпфер; 5 – жидкостный диэлектрик

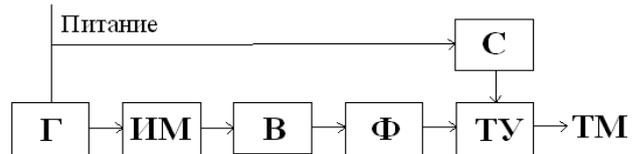


Рис. 3. Структурная схема автоматического кренометра: Г – высокоточный генератор; ИМ – измерительный мост; В – выпрямитель; Ф – низкочастотный фильтр; ТУ – телеметрический усилитель; С – стабилизатор напряжения; ТМ – кабельная линия телеметрии

При реконструкции НСК “Олимпийский” в г. Киеве для определения вертикальности конструкций верхнего яруса трибун были установлены датчики наклона ВКВ-2 на 33 опорах, снятие результатов по которым осуществлялось один раз в неделю. На остальных 29 опорах были установлены электронные рейки-отвесы РВЕ-1. Датчики установлены на оси опоры вблизи монтажного стыка опоры и ригеля верхнего яруса трибун на высоте около 5 м от поверхности ростверка. Программа измерений позволяет отображать результаты мониторинга в графической форме в угловой мере и в миллиметрах с передачей результатов для обработки в Excel. Обработка и визуализация данных осуществляется с помощью программного комплекса “Buildings” [3]. Перед проведением первого цикла измерений проведена подготовка, включающая разметку мест установки реек по оси опоры путем закрепления меток.

Измерения оседания опор верхнего яруса трибун осуществляются геометрическим нивелированием по методике II класса (нивелир Н-05 и инварные рейки). Для определения оседания опор второго яруса в них закладывались деформационные реперы. Измерения плано-высотного положения торцов ригеля опор верхнего яруса трибун осуществляются методом линейно-угловой сети с точностью триангуляции или полигонометрии 4 класса, электронным тахеометром с пунктов внутренней геодезической сети. Деформации покрытия определяются линейно-угловыми засечками, тахеометр наводится на закрепленные сверху марки-призмы. По результатам измерений в процессе реконструкции среднее оседание опор составило 15 мм, максимальное 75,6 мм; среднее значение горизонтальных смещений составило 17 мм, максимальное 49,9 мм; среднее значение отклонений от вертикали составило 6,4 мм, максимальное 26,7 мм на высоте 5,5 м. Для проведения мониторинга в процессе эксплуатации рекомендовано установить датчики измерения оседаний, горизонтальных перемещений и наклонов с большим диапазоном измерений (до 200 мм) [3]. Стоит отметить, что затраты на создание такой системы превысят 1,5 млн. грн., не считая стоимости проведения геодезических работ по созданию заново внутренней плано-высотной сети и проведения геодезических измерений.

Для большепролетных спортивных, торговых и массово-зрелищных сооружений при определении горизонтальных смещений конструкций рекомен-

дугается использовать разработанную нами инварную струнную систему, при условии возможности ее размещения внутри сооружения под перекрытием [4]. В этом случае измерения деформаций выполняются относительно центральной зоны покрытия, так как принимается, что все деформации происходят от центральной зоны к периферии.

На рис. 4 приведена схема размещения радиальной струнной системы, позволяющей измерять угловые смещения и радиальные с помощью датчиков при постоянном натяжении проволок с усилием 10 кг. Для покрытий прямоугольной формы достаточно иметь 6–8 проволок. Измерение смещений в плане может производиться дискретно или в автоматическом режиме с использованием таймера для включения питания блока считывания информации. В качестве измерителей по радиальным направлениям используются индуктивные датчики. Для исключения растяжения проволок оптимальный диаметр принят 1,6–2 мм. При использовании стальных проволок будут измеряться деформации, вызванные различными нагрузками, кроме температурных. При длинах проволок до 60 м точность измерения смещений возможна в пределах 2–3 мм относительно центральной точки, т.е. в относительной системе координат. Ориентировочная стоимость системы 20–30 тыс. грн.

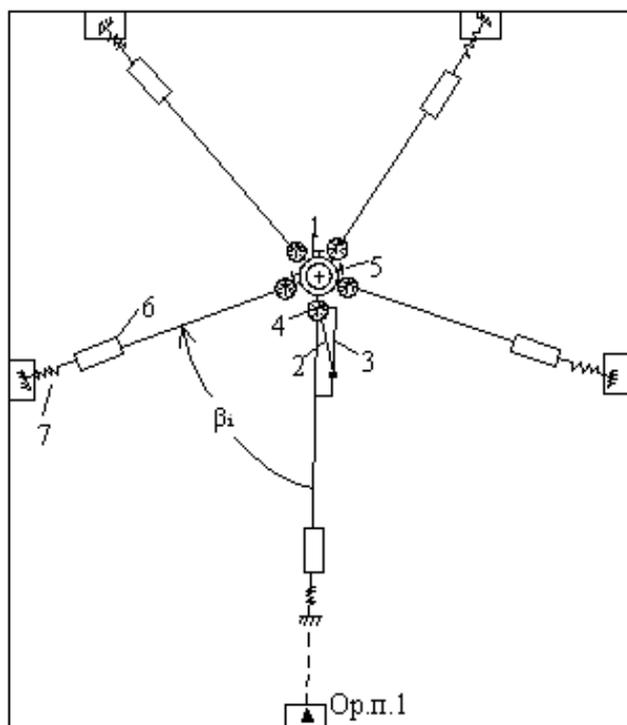


Рис. 4. Схема размещения измерительной системы горизонтальных деформаций покрытия:

- 1 – муфта на перекрытии с внутренней стороны;
- 2 – инварный стержень; 3 – рычаг измерителя углового смещения; 4 – измеритель; 5 – юстировочные винты;
- 6 – датчики индуктивности; 7 – натяжитель

Прогиб покрытия от снеговой или температурной нагрузки может определяться с помощью системы гидростатического нивелирования, с использованием наклономеров или геометрическим нивелированием.

Литература

1. Зацаринный А.В. Автоматизация высокоточных инженерно-геодезических измерений / А.В. Зацаринный. – М.: Недра. – 1976. – С. 203–207.
2. Автоматический кренометр / М.И. Лобов и др. Патент Украины. – № 41982. – 25.06.2009. – 4 с.
3. Григоровський П.Є. Досвід проведення геодезичного моніторингу при реконструкції НСК “Олімпійський” / П.Є. Григоровський, Ю.В. Дейнека // Матеріали Міжнародної конференції “Геодезичне забезпечення будівництва: сучасний стан, проблеми, перспективи розвитку”. – К.: НДІБВ. – 19-20.X.2011. – С. 17–34.
4. Лобов М.И. Плановая основа. – М.: Авторское свидетельство СССР на изобретение. – SU № 1185086 А2. – 23.03.1983. – 4 с.
5. Лобов М.И. Проблемы мониторинга спортивных сооружений / М.И. Лобов, Т.В. Морозова, А.С. Чирва // Матеріали міжнародної конференції “Геодезичне забезпечення будівництва: сучасний стан, проблеми, перспективи розвитку”. – К.: НДІБВ. – 19-20.X.2011. – С. 35–39.

Розроблення автоматизованої системи контролю великопрогонових покриттів споруд

М. Лобов, С. Маликов, О. Чирва

Розкрито авторський підхід до створення автоматизованої системи геодезичного моніторингу великопрогонових покриттів унікальних і складних споруд. Описано прилади моніторингу, принцип їхньої роботи, схеми розміщення обладнання на конструкціях споруд.

Разработка автоматизированной системы контроля большепролетных покрытий сооружений

М. Лобов, С. Маликов, А. Чирва

Раскрыт авторский подход к созданию автоматизированной системы геодезического мониторинга большепролетных покрытий уникальных и сложных сооружений. Описаны приборы мониторинга, принцип их работы, схемы размещения оборудования на конструкциях сооружений.

Design of an automated control system of large-coating facilities

M. Lobov, S. Malikov, A. Chirva

This article describes the author’s approach to creating an automated system of geodetic monitoring of span covers of the unique and complex facilities; monitoring devices, how they work, location of the equipment on the building structures.