

ГЕОДЕЗИЯ

УДК 528.482

ИНЖЕНЕРНО-ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ ДЕФОРМАЦИЙ КОНСТРУКЦИЙ ПОКРЫТИЯ ЛЕТНЕГО АМФИТЕАТРА В ГОРОДЕ ВИТЕБСКЕ ПРИ ИХ ЭКСПЛУАТАЦИИ

канд. техн. наук, доц. А.М. ДЕГТЯРЕВ;
канд. техн. наук, доц. В.В. ЯЛТЫХОВ; А.И. КОЗАКЕВИЧ
(Полоцкий государственный университет)

На основе многолетних наблюдений за изменением геометрических параметров уникального арочного сооружения показано, что для такого типа сооружений можно получить хорошие результаты не только на основе индивидуальной программы наблюдений, а и на основе традиционных схем, но с использованием самых современных средств измерений и углубленного этапа проектирования. Результаты выполненных работ подтверждают сформулированные теоретические утверждения. Выполнен анализ полученных результатов, который показывает, что все смещения арочного покрытия имеют значительную корреляцию с температурным фактором.

Летний амфитеатр в городе Витебске – сложная металлическая конструкция, состоящая из множества сопряженных между собой структурных элементов, что определяет уникальность этого объекта. Структурные элементы и их связи несут различные нагрузки не только самих конструктивных элементов, но и изменяют свое пространственное положение в зависимости от многих факторов, основным из которых является температурный. Опыта строительства и эксплуатации подобных объектов как в Республике Беларусь, так и за рубежом не имеется. Так как сооружение достаточно сложное, с множеством степеней свободы, вероятность нарушения геометрических характеристик будет намного выше, чем у других, более простых объектов [1; 2]. Очевидно, что для подобных сооружений в качестве процедуры наблюдения за деформациями в процессе эксплуатации должна была бы разрабатываться индивидуальная программа, учитывающая все особенности такого объекта.

В предлагаемой работе показана возможность использования достаточно традиционной последовательности наблюдений, но на основе современных средств измерений, что позволило, как показали циклические измерения, достаточно эффективно и успешно решить поставленную задачу без привлечения индивидуальных программ.

Объективной информацией поведения конструктивных элементов и, в конечном итоге, всего сооружения в целом является получение этой информации для тех точек сооружения, в которых наиболее возможны возникновения напряженного состояния. В таком случае важным является именно расположение точек для получения наибольшей информативности поведения конструктивных элементов сооружения. Для определения пространственного положения деформационных марок с целью ослабления влияния систематических ошибок при измерениях использовались одни и те же приборы и приспособления во всех циклах мониторинга [2–4].

Исследовательская часть. При выполнении измерений использовался тахеометр TPS 1201 производства Швейцарской фирмы Leica Geosystems. Применение данного прибора дает возможность получить необходимую точность определения деформаций сооружения при выполнении измерений по соответствующей методике.

Основным методом определения координат точек арочного металлического покрытия использовалась пространственная линейно-угловая (векторная) засечка, или обычная сферическая система координат (см., например, [5]).

Приращения координат Δx , Δy и превышения Δh определяемых точек относительно геометрического центра прибора вычислялись по формулам [5; 6]:

$$\begin{aligned}\Delta x &= d \cos v \cdot \cos \alpha; \\ \Delta y &= d \cos v \cdot \sin \alpha; \\ \Delta h &= d \sin v,\end{aligned}\tag{1}$$

где d – измеренное расстояние; α – дирекционный угол; v – измеренный вертикальный угол.

Средние квадратические погрешности приращений координат и превышений связаны со средними квадратическими погрешностями измеренных величин известными формулами:

$$m_{\Delta x} = \sqrt{(\cos(v) \cdot \cos(\alpha))^2 m_d^2 + (d \cos(v) \cdot \sin(\alpha))^2 \left(\frac{m_\alpha''}{\rho}\right)^2 + (d \cos(\alpha) \cdot \sin(v))^2 \left(\frac{m_v''}{\rho}\right)^2};$$

$$m_{\Delta y} = \sqrt{(\cos(v) \cdot \sin(\alpha))^2 m_d^2 + (d \cos(v) \cdot \cos(\alpha))^2 \left(\frac{m_\alpha''}{\rho}\right)^2 + (d \sin(\alpha) \cdot \sin(v))^2 \left(\frac{m_v''}{\rho}\right)^2};$$

$$m_h = \sqrt{(\sin(v))^2 m_d^2 + (d \cos(v))^2 \left(\frac{m_v''}{\rho}\right)^2}.$$

Откуда общая погрешность пункта M_p по Гельмерту будет найдена из следующего выражения:

$$M_p = \sqrt{m_d^2 + \left(\frac{d \cos(v) \cdot m_\alpha''}{\rho}\right)^2 + \left(\frac{d m_v''}{\rho}\right)^2}. \quad (2)$$

Учитывая реальные условия на объекте, следует принять возможно наихудшие геометрические параметры засечки. Местоположение станции определялось из соображений обеспечения наивыгоднейших условий для производства измерений. Поэтому расстояния от прибора до фиксируемой точки на элементах конструкций арочного покрытия составили не менее двух значений превышений определяемой точки над прибором и не превосходили 100 м, вертикальные углы v при этом не превышали 30° .

Основной фактор, снижающий точность измерений электронным тахеометром, – влияние внешних условий. При передаче приращений координат и превышений на малые расстояния, когда луч проходит в идентичных атмосферных условиях, главная составляющая атмосферных влияний компенсируется, и реальная точность измерений может быть даже несколько выше паспортных. Так, точность линейных измерений в среднем составила 1,5 мм (при паспортных данных 2 мм), и на точность угловых (особенно при малых расстояниях) в основном влияет точность центрирования прибора и отражателя. Для минимизации влияния этой составляющей на объекте использовался метод принудительного центрирования отражателя (на исходных пунктах), обеспечивающий точность центрирования не хуже 0,2 мм. Координаты прибора определялись методом свободной станции.

При геодезических измерениях на точки, расположенные на металлоконструкциях арочного покрытия, использовался безотражательный метод измерений на специальные марки, закрепленные на металлоконструкциях (рис. 1).

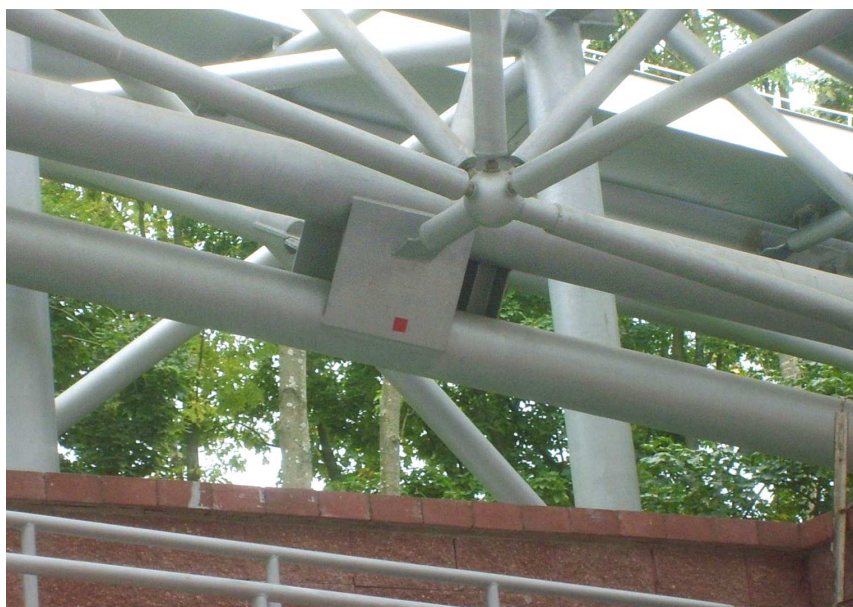


Рис. 1. Деформационные марки на металлоконструкциях

В качестве стабильных пунктов опорной геодезической сети для производства мониторинга выбранные точки на анкерных выходах фундаментов устоявшейся арочной конструкции над сценой Амфитеатра. Стабильность положения их центров анализировалась в процессе строительно-монтажных работ в период реконструкции амфитеатра и после их завершения в течение 3-х лет [2; 3].

Таким образом, на основании анализа формулы (2) и принятой методики выполнения работ средняя квадратическая ошибка определения пространственных координат деформационных марок не должна превышать 3 мм.

За период мониторинговых наблюдений арочного покрытия с 2007 по 2010 год было выполнено 16 циклов измерений по маркированным точкам покрытия. Количество таких маркированных контрольных точек на металлоконструкциях составило 48 (рис. 2).

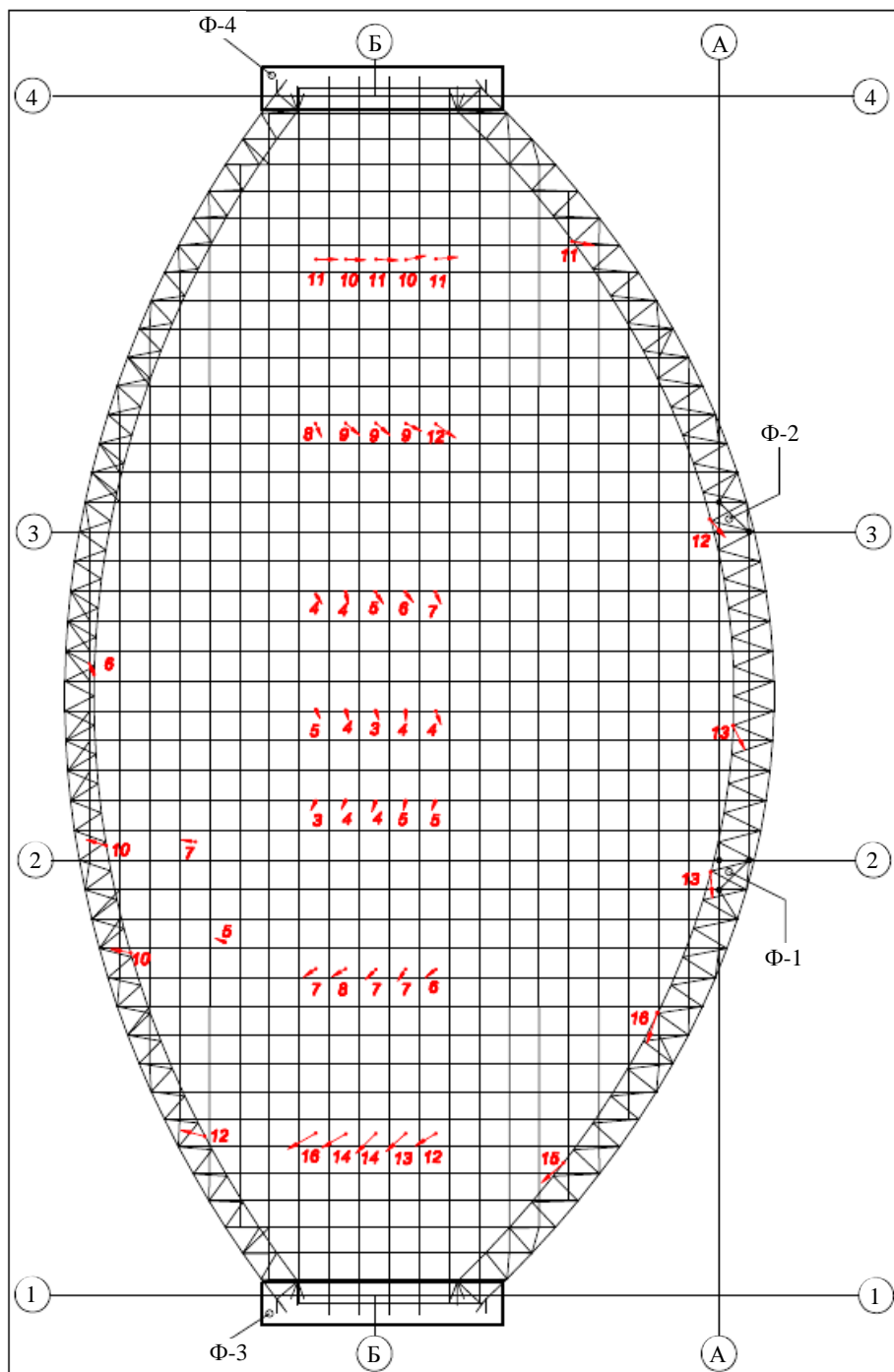


Рис. 2. Схема расположения и горизонтальные перемещения деформационных марок на металлоконструкции арочного покрытия

Методика измерений во всех циклах была неизменной. Прибор и наблюдатель – те же, что и в начале проводимого мониторинга. Это позволило максимально исключить систематические ошибки. Геодезические измерения по контрольным точкам арочного покрытия за 3-х летний период проводились в марте, июне, сентябре и декабре каждого года. Причем следует отметить, что время измерений по возможности совмещалось с моментами максимальных температур и нагрузок на арочное покрытие в виде снега. После математической обработки результатов измерений [6] составлялись векторные графики пространственных изменений контролируемых точек. На рисунке 2 показаны схема расположения и векторы смещений в горизонтальной плоскости контролируемых точек, полученных по результатам измерений в ноябре 2010 года по отношению к начальному циклу наблюдений [3].

Для большей наглядности высотные деформации представлялись графически. Так, на рисунке 3 показаны высотные перемещения арочного покрытия в вертикальной плоскости по строительной оси Б–Б от фундамента Ф-3 к фундаменту Ф-4. На рисунке 4 приведены графики высотных деформаций в поперечном направлении между строительными осями 2–3 по направлению с точки, расположенной над сценой сооружения, к фундаментам Ф-1 и Ф-2.

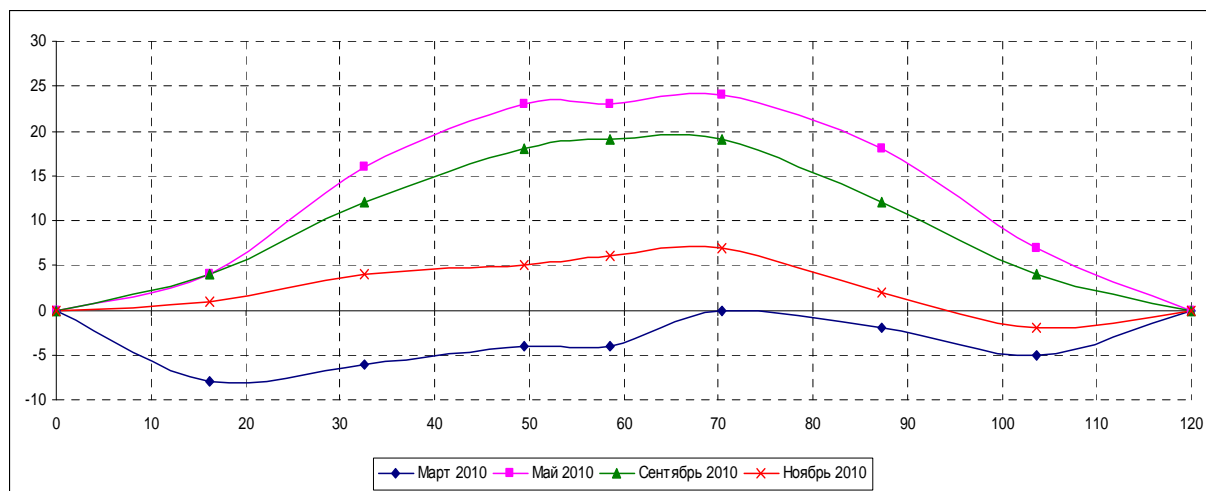


Рис. 3. Вертикальные перемещения деформационных марок на металлоконструкциях по оси Б–Б (с Ф-3 на Ф-4)

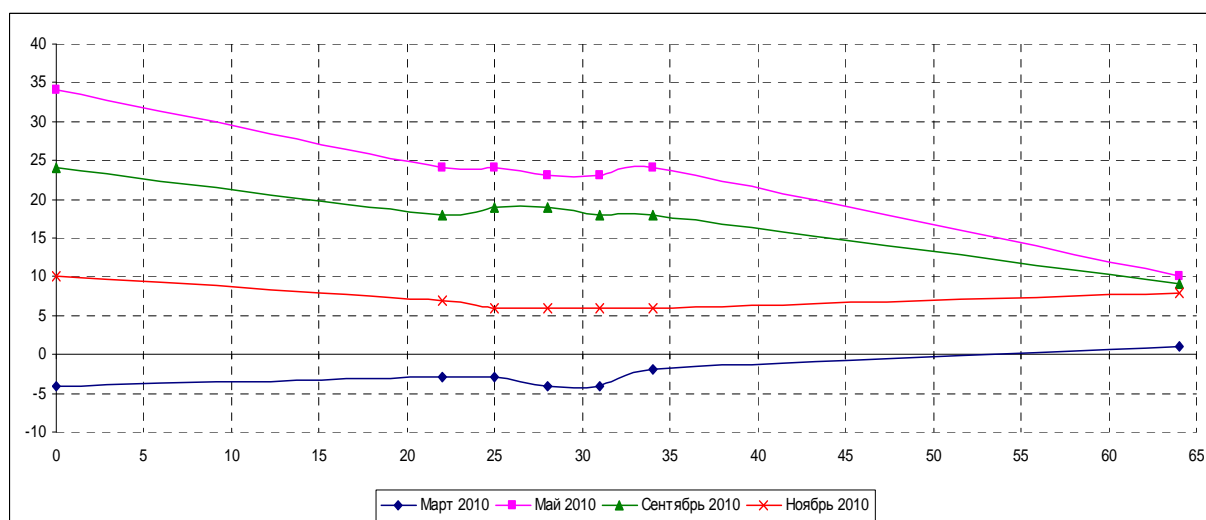


Рис. 4. Вертикальные перемещения деформационных марок на металлоконструкциях между осями 2–3

Как следует из полученных результатов, все смещения арочного покрытия имеют значительную корреляцию с температурным фактором. Сравнивая результаты мониторинга арочного покрытия с результатами, полученными в предыдущие годы (при близких параметрах внешних условий), можно

констатировать, что направления деформаций и их величины имеют незначительные расхождения. Этот факт характеризует стабильность положения металлоконструкций.

По результатам геодезического мониторинга металлоконструкций и фундаментов за трехлетний период наблюдений с 2007 по 2010 год можно сделать следующие **выводы**:

- пространственные перемещения маркированных контрольных точек не превышают расчетных и обусловлены главным образом изменениями влияния внешних факторов (в основном температурного). Максимальные перемещения по высоте металлоконструкций относительно нулевого цикла составили: 69; 53; 61 и 42 мм в 2007, 2008, 2009 и 2010 годах соответственно. Плановые деформации металлоконструкций в 2007, 2008, 2009 и 2010 годах имеют практически одинаковые величины и направления в соответствующих циклах наблюдений;

- как и в предыдущих циклах измерений, вызывает интерес поведение металлоконструкций в направлении на точки их сопряжения со вспомогательными опорами (Ф-1 и Ф-2 (см. рис. 2). Согласно графикам вертикальных перемещений деформационных марок на металлоконструкциях между осями 2–3 в поперечном сечении амплитуда вертикальных перемещений в 2010 году над сценой составила 38 мм, а около опор Ф-1, Ф-2 только 9 мм, что говорит о не равномерности вертикальных перемещений в поперечном сечении;

- вертикальные деформации вдоль оси Б–Б имеют практически симметричную форму (см. рис. 3 и 4), что говорит о равномерном распределении нагрузок на арочное покрытие;

- предложенная методика позволяет достоверно определить геометрические параметры структуры покрытия Летнего амфитеатра в городе Витебске в процессе эксплуатации. Результаты выполненных работ подтверждают сформулированные теоретические утверждения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Геодезические работы в строительстве. Технический кодекс установившейся практики. Правила проведения: ТКП45-1.03-26-2006 (02250). – Минск: М-во архит. и стр-ва Респ. Беларусь, 2006.
2. Геодезическое обеспечение монтажа фундаментов и покрытия при реконструкции Летнего амфитеатра в городе Витебске: техн. отчет. – ХД № 26640 от 26.10.06.
3. Инженерно-геодезические измерения перемещений конструкций фундаментов и покрытия при их эксплуатации (2010 г.): техн. отчет. – Новополоцк: Полоц. гос. ун-т, 2010. – 40 с.
4. Подшивалов, В.П. Тригонометрическое нивелирование коротким лучом / В.П. Подшивалов, А. Салим // Геодезия и картография. – 1994. – № 6. – С. 12–14.
5. Дегтярев, А.М. Геодезия: учеб.-метод. компл.: в 2 ч. Ч. 1 / А.М. Дегтярев. – 2-е изд., перераб. и доп. – Новополоцк: Полоц. гос. ун-т, 2010. – 364 с.
6. Геодезия. Вычисления и уравнивание в геодезии: справ. пособие / под ред. В.П. Савиных и В.Р. Яценко. – М.: Недра, 1992. – 250 с.

Поступила 03.03.2015

ENGINEERING AND GEODETIC MEASUREMENTS OF DEFORMATIONS OF STRUCTURES COVERAGE OF THE SUMMER AMPHITHEATRE IN VITEBSK DURING THEIR OPERATION

A. DEGTJAREV, V. JALTYHOV, A. KOZAKEVICH

Based on long-term observation of dynamics in geometric parameters of an arch structure, the article shows that it is possible to get good results not only using an individual observation program, but also with the help of traditional schemes and usage of up-to-date measurement techniques and a profound design stage. The results of carried work prove the formulated theoretic theses. The analysis of results shows that all arch coverage deformations have a significant correlation with temperature.