

УДК 528.7

ГЕОДЕЗИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ ЕРЕВАНСКОЙ ТЕЛЕБАШНИ

В. Маркарян, Л. Манукян

Ереванский государственный университет архитектуры и строительства

Ключевые слова: нивелирование, репер, превышение, осадка, уравнивание, смещение.

Вопросы геодезических наблюдений за осадкой и деформациями высоких железобетонных конструкций, в частности телебашен, в наше время являются особенно острыми. Для обеспечения устойчивости и безопасности эксплуатации этих сооружений необходимо периодически проводить геодезические наблюдения за осадкой основания и вертикальностью их металлических конструкций.

Ереванская телебашня имеет высоту 311,7 м была построена в 1974–1977 гг. Раннее ее высота составляла 180 м. Вес телебашни составляет 1900 тонн, а высота основания имеет отметку 1170 м (рис. 1).

С целью выполнения геодезического мониторинга Ереванской телебашни необходимо разработать принципы расчета точности наблюдений вертикальных смещений сооружения, выполнить предрасчет точности проекта высотной нивелирной сети для определения осадки ее основания и оценить результаты выполненных наблюдений.

Первые наблюдения за вертикальностью телебашни и осадкой ее основания выполнены в 1990 г. Для выполнения геодезических измерений высотной основой служили два репера, заложенные в основании телебашни и служебного здания на ее территории.



Рис. 1. Ереванская телебашня

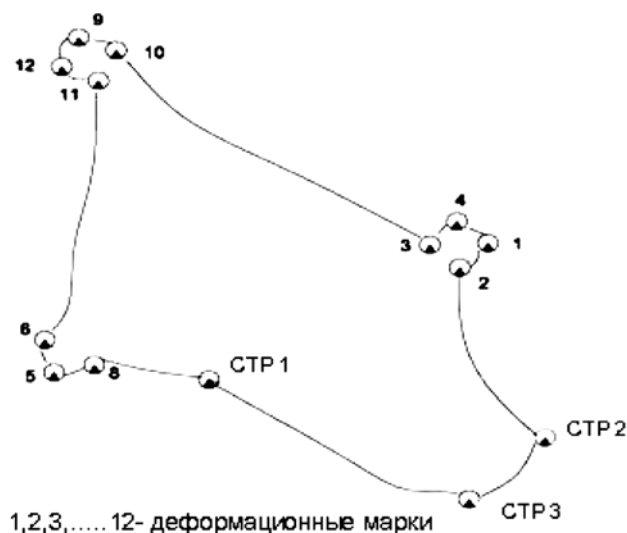


Рис. 2. Схема нивелирной сети

В 2002 г. работы продолжили специалисты Центра геодезии и картографии Государственного комитета кадастра недвижимости при правительстве РА, приняв за основу данные наблюдений ранее выполненных работ. Работы велись в двух направлениях: наблюдения за вертикальностью телебашни и осадкой ее основания.

Для определения осадки основания телебашни спроектировано сеть нивелирования общей протяженностью 0,47 км. Сеть представляет собой замкнутый ход, который опирается на стенной репер СТР-2. В нивелирный ход входят 11 деформационных марок, заложенных в основании трех опор телебашни и ранее заложенных в стенах административного здания телебашни – реперы СТР-1 и СТР-3.

Деформационные марки представляют собой металлические цилиндры диаметром 50 мм и длиной 40–50 см. Они заложены с целью долговременной сохранности для использования в дальнейших наблюдениях. Схема нивелирной сети приведена на рис. 2 [1]. Следует отметить, что предварительной оценки точности спроектированной нивелирной сети не выполняли.

Для оценки точности спроектированной нивелирной сети определим среднюю квадратическую ошибку определения высоты в слабом месте схемы.

В приведенной схеме от исходного репера СТР-2 самой удаленной точкой, т.е наиболее слабой, является деформационная марка 12, а ошибка определения ее высоты, как известно, должна быть в $\sqrt{2}$ меньше заданной ошибки определения ее осадки. По классу точности измерений спроектированная сеть соответствует I классу, поскольку телебашня возведена на скальном основании и ее высота более 300 метров.

Согласно нормативным документам, средняя квадратическая ошибка геодезических наблюдений осадки строений, возводимых на скальных грунтах, не должна превышать 1 мм [2].

Таким образом, имеем

$$m_H = \frac{m_s}{\sqrt{2}} = \frac{1}{1,4} = 0,71 \text{ мм},$$

где m_H – средняя квадратическая ошибка определения высоты точки; m_s – ошибка определения ее осадки.

Поскольку расстояние от нивелира до рек колеблется от 5 до 25 м, измеряемые на станциях превышения не будут равноточными, оценка точности сети выполнена методом эквивалентной замены.

Как известно, средняя квадратическая ошибка определения осадки точки равна

$$m_s = \mu\sqrt{\pi},$$

где $\mu = m_h$ – средняя квадратическая ошибка единицы веса, т.е. ошибка измерения превышения на станции; π – обратный вес эквивалентной стороны.

Обратный вес эквивалентной стороны СТР 2 –12 определен по формуле

$$\pi = \frac{\pi_1\pi_2}{\pi_1 + \pi_2} = 7,975,$$

где π_1 – обратный вес нивелирного хода СТР-2-2-1-4-3-10-9-12; π_2 – обратный вес соответственно хода СТР-2- СТР3-СТР1-8-5-6-11-12.

Приняв $m_s = 1$ мм, определили среднюю квадратическую ошибку измерения превышения на станции

$$\mu = m_h = \frac{1}{\sqrt{7,975}} = 0,36 \text{ мм}.$$

Таким образом, для определения осадки опор телебашни по спроектированной схеме необходимо производить ее по программе геометрического нивелирования коротким лучом.

В 2002 и 2012 годы нивелирование по приведенной схеме сети выполнено в прямом и обратном направлениях с применением нивелира Н-05 и трехметровых инварных реек. Все измерения выполнены согласно действующим инструкциям [2].

Уравнивание сети выполнено по Швейцарскому программному пакету Local X. Positionin System+. В результате уравнивания для каждой секции определена невязка и ее допустимое значение. В таблице приведены разности высот наблюдаемых точек 1990–2002–2010 годов.

Анализ результатов измерений позволил заключить, что наблюдения выполнены в пределах допустимых значений, при уравнивании сети влиянием систематических ошибок можно пренебречь, а разницу превышений прямых и обратных ходов принять как случайные ошибки.

Таким образом, при оценке результатов наблюдений за осадкой телебашни получены такие результаты:

- невязка хода – $f_h = -0,5$ мм;
- средняя квадратическая ошибка разности высот – $m_d = \pm 0,77$ мм;
- средняя квадратическая ошибка определения превышений на станции – $m_h = \pm 0,55$ мм;
- средняя квадратическая ошибка средних превышений – $m_{\bar{h}} = \pm 0,38$ мм.

Сравнительная таблица разности высот

N	Номер и вид репера	Высота над уровнем моря, м			Разности высот, мм		
		1990 г.	2002 г.	2010 г.	2002–1990 гг.	2010–1990 гг.	2010–2002 гг.
1	2	3	4	5	6	7	8
1	СТР-2	1173,3800	1173,3800	1173,3800	0	0	0
2	СТР-1	1172,5877	1172,5882	1172,5862	0,5	-1,5	-2,0
Деформационные марки: бетонная основа 1,							
1	1	1172,4702	1172,4712	1172,4719	1,0	1,7	0,7
2	2	1172,8304	1172,8312	1172,8313	0,8	0,9	0,1
3	3	1172,7080	1172,7073	1172,7069	-0,7	-1,1	-0,4
4	4	1172,8328	1172,8326	1172,8322	-0,2	-0,6	-0,4
бетонная основа 2							
1	5	1172,5248	1172,5209	1172,5219	-3,9	-2,9	1,0
2	6	1172,5189	1172,5263	1172,5253	7,4	6,4	-1,0
3	7	1172,5348	1172,5352		0,4	-	-
4	8	1173,1199	1173,1215	1173,1200	1,6	0,1	-1,5
бетонная основа 3							
1	9	1172,2540	1172,2542	1172,2537	0,2	-0,3	-0,5
2	10	1172,2580	1172,2589	1172,2572	0,9	-0,8	-1,7
3	11	1172,2738	1172,2744	1172,2722	0,6	-1,6	-2,2
4	12	1172,6932	1172,6945	1172,6922	1,3	-1,0	-2,3
	СТР-3			1175,0566			

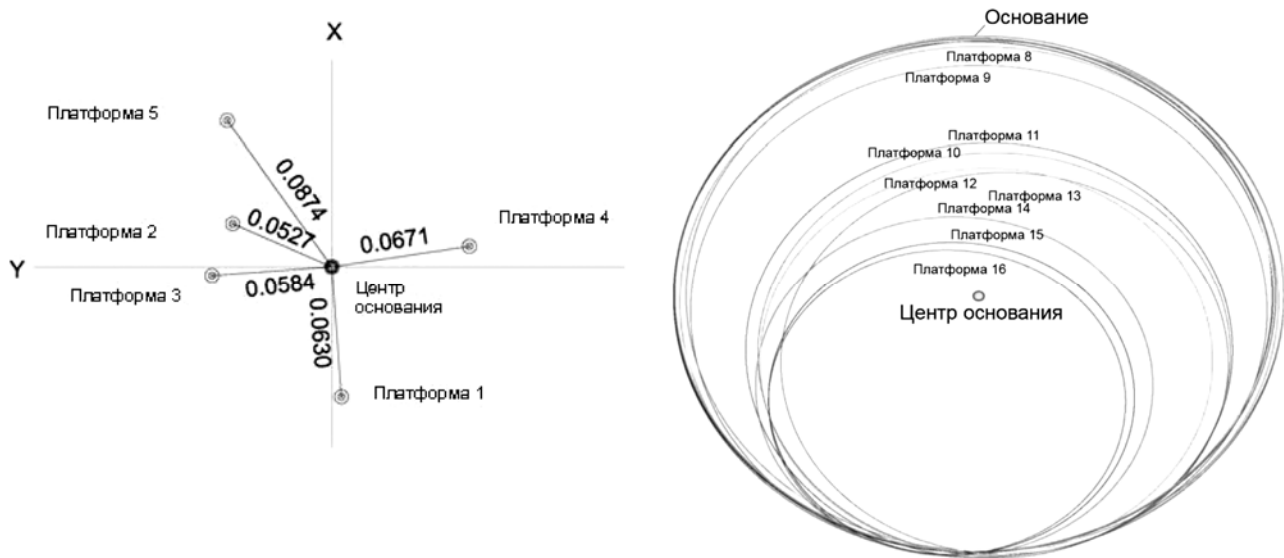


Рис. 3. Схема смещений центров основания и платформ телебашни

Результаты оценки точности наблюдений показали, что выполненные измерения соответствуют предрасчету точности проектной сети.

Из полученных результатов видно, что изменений осадки не наблюдается. Полученные результаты новых и старых наблюдений могут быть результатом применения разных типов геодезических инструментов.

Таким образом, результаты наблюдений высотных реперов основ телевышки, полученные с миллиметровыми искажениями, показали, что за период с 2002 по 2010 гг. высотные точки Ереванской телебашни изменениям не подверглись.

В 2002 г. для определения вертикальности телебашни за пределами ее территории заложено 8 геодезических пунктов, с которых наблюдения производились двухчастотными GPS приёмниками в течение 1 часа. Во время наблюдений обязательной являлась работа постоянно действующей станции "Комитас", расположенной на территории Центра геодезии и картографии и служащей исходной для уравнивания и вычисления координат точек в системе WGS-84. Получены также прямоугольные координаты на эллипсоиде Красовского.

В отличие от других четырехсторонних телевышек, центр которых определяется довольно легко, в случае с Ереванской телебашней, из-за построенного восьмиугольного основания и трубы подъемного лифта высотой 4 метра, координаты центра основания определены с большим трудом. Для этого с пунктов GPS станций электронным тахеометром определили координаты пяти точек вершин восьмиугольного сооружения, построенного в основании телебашни и координаты пяти касательных точек трубы лифта. Используя координаты этих точек, определены координаты центров каждой из них, а также центра основания телебашни [2].

Электронным тахеометром TC-2003 с трех точек GPS были измерены горизонтальные и вертикальные углы четырех металлических стоек 16 платформ (13 основных и 3 промежуточных) телебашни. Изме-

рения выполнялись двумя приемами, а координаты и высоты центров платформ вычислены из двух треугольников (формулы Юнга).

Для определения смещений центров телебашни по высоте после уравнивания координат выполнено сопоставление координат центров каждой платформы с координатами центра основания телебашни.

На рис. 3 приведена схема смещений центров основания и платформ телебашни.

Анализируя полученные результаты, можно констатировать, что с 2002 по 2010 г. наибольшее смещение центров наблюдалось на высоте 286 м (платформа 15) и составляет 0,1917 м.

Таким образом, некоторые вертикальные смещения все же имеют место, но окончательно оценить их с большей точностью пока невозможно. Это является следствием того, что:

- нет достоверных сведений об использованных исходных пунктах и их координатах;
- нет данных о наблюдениях телебашни в разное время года, которые позволили бы определить связь деформаций металлических конструкций телебашни с перепадом температуры.

Учитывая вышеперечисленное, целесообразно:

- на территории телебашни заложить 2–3 геодезических пункта в местах, где будет обеспечена их сохранность;
- для точного определения вертикальности телебашни на разных уровнях платформах припать пункты с принудительной центрировкой для GPS наблюдений;
- не менее четырех раз в году производить обязательные наблюдения, создать периодическую базу данных для изучения возможных деформаций телебашни, дальнейшего прогноза и оценки безопасной и долговременной ее эксплуатации;
- организовать свою ведомственную геодезическую службу с привлечением ведущих специалистов Республики.

Література

1. Бегларян А. Наблюдения за осадкой основания Ереванской телебашни / А. Бегларян, О. Петросян, В. Маркарян // Сборник научных трудов ЕГУАС, Том II (38). – Ереван, 2011.
2. Петросян О. Работы по наблюдению за вертикальностью металлических конструкций Ереванской телебашни / О. Петросян, В. Маркарян // Известия Союза строителей Армении, 2011. – № 8–9. – С. 168–169.

**Геодезичний моніторинг
Єреванської телевежі**
В. Маркарян, Л. Манукян

Розглянуто геодезичний моніторинг за осіданнями Єреванської телевежі. Наведено принципи розрахунку точності геодезичних спостережень вертикальних зміщень. Виконано попередній розрахунок точності проекту висотної мережі, створеної для виконання нівелірних робіт. Описано методику геодезичних спостережень за вертикальними рухами металевих конструкцій телевежі. Наведено результати спостережень з пунктів GPS. Виконано оцінку точності.

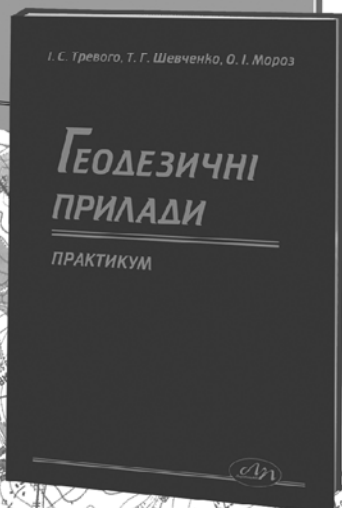
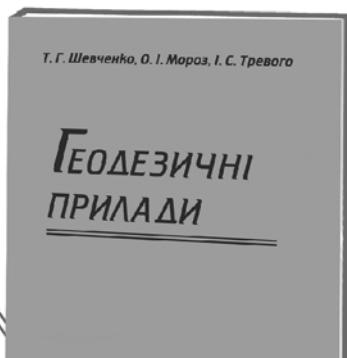
**Геодезический мониторинг
Ереванской телебашни**
В. Маркарян, Л. Манукян

Рассмотрено геодезический мониторинг геодезических наблюдений за осадкой основания Ереванской телебашни. Приведены принципы расчета точности геодезических наблюдений вертикальных смещений. Выполнен предрасчет точности проекта высотной сети, созданной для выполнения нивелирных работ. Описаны геодезические наблюдения за вертикальностью металлических конструкций телебашни. Приведены результаты наблюдений с пунктов GPS спутниковых приемников. Оценены результаты наблюдений.

Geodetic monitoring of Erevan tower
V. Markarian, L. Manukyan

The article is describes methodics of geodetic monitoring of Erevan tower. In this work the apriory calculation of the precision of geodetic network for vertical movements had been performed. The results of GPS measurements of the Erevan tower are shown.

На «ти» з геодезичними приладами



ГЕОДЕЗИЧНІ ПРИЛАДИ

Підручник.
За редакцією Т. Г. Шевченка.
Друге видання, перероблене та доповнене.
Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2009. 484 с.
ISBN 978-966-553-761-8

- відлікові пристрої геодезичних приладів
- прилади для вимірювання віддалей і визначення положення точок
- тахеометри і кіпрегелі
- наземні лазерні сканери

ГЕОДЕЗИЧНІ ПРИЛАДИ. Практикум

Навчальний посібник.
І.С. Тревого, Т.Г. Шевченко, О.І. Мороз.
Третє видання, перероблене та доповнене.
Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2012. 240 с.
ISBN 978-617-607-220-1

- відомості з геометричної оптики та оптичних систем приладів
- будова сучасних точних оптичних теодолітів
- приклади роботи електронними тахеометрами
- дослідження сучасних кутомірних оптичних і електронних приладів

Кожний із підрозділів є окремою лабораторною роботою з програми курсу «Геодезичні прилади».

