

УДК 528.48 [621/64:661.5]

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ ОТКЛОНЕНИЙ СТЕН ОТ ВЕРТИКАЛЬНОЙ ПЛОСКОСТИ ЭЛЕКТРОННЫМ ТАХЕОМЕТРОМ

*Канд. географ. наук, доц. МИХАЙЛОВ В. И.<sup>1)</sup>, инж. КОНОНОВИЧ С. И.<sup>2)</sup>*

<sup>1)</sup>Белорусский национальный технический университет,

<sup>2)</sup>ГНПО «НПЦ НАН Беларуси по биоресурсам»

При строительстве новых, реконструкции эксплуатируемых зданий и сооружений часто возникает необходимость в измерении отклонений стен от вертикальной плоскости (фасадной съемки), оценки геометрии реконструируемых отдельных частей фасада. В ряде случаев представляет интерес проверка стены на наличие выпуклостей и вмятин. Существующие традиционные геодезические способы основаны на применении отвесов или бокового нивелирования, что требует наличия строительных лесов, характеризуется большой трудоемкостью и сложностью в организации работ.

Классическое решение подобных задач современными методами предполагает применение наземных лазерных сканеров. Однако, учитывая экономические аспекты использования наземного лазерного сканера и тот факт, что значительное количество строящихся и реконструируемых зданий не требует столь тщательного подхода к проведению фасадных съемок, в ряде случаев гораздо выгоднее обойтись методами классической геодезии для получения трехмерных моделей фасадов зданий, а также внутренних конструкций и интерьеров. Например, при помощи электронных тахеометров с безотражательным режимом измерений.

Электронный тахеометр сегодня – это продукт высоких технологий, объединяющий в себе последние достижения электроники, точной механики, оптики, материаловедения и других наук. Тахеометр, или по-английски total station, предназначен для измерения расстояний, а также вертикальных и горизонтальных углов. Эти первичные измерения служат основой для по-

следующих, подчас сложных вычислений, производимых встроенным или внешним контроллером. Точность измерения определяют блоки или модули измерения углов, расстояний и модуль компенсатора.

В настоящее время на рынке предлагается широкий спектр тахеометров различных производителей: от простых, измеряющих расстояние на специальный отражатель, до высокоточных роботизированных с безотражательным режимом измерений расстояния на 1000 м.

В проводимых авторами исследованиях для получения количественной информации о внутренних стенах спортивного манежа комплекса «Стайки» (отклонение стен от вертикальности, наличие и размеры локальных выпуклостей и вмятин) использовался высокоточный роботизированный электронный тахеометр серии Leica TPS 1200 TCRA1201 (рис. 1) с безотражательным режимом измерения производства концерна Leica Geosystems, Швейцария [1]. Тахеометры этой серии оснащены двумя дальномерами: традиционным ИК-дальномером и безотражательным дальномером (RL) повышенной мощности. Технология PinPoint, основанная на использовании лазерного дальномера видимого спектра излучения с чрезвычайно малой расходимостью пучка, обеспечивает высокую точность наведения на цель и измерения. Точность измерения расстояний тахеометром TCRA1201 в стандартном режиме работы с отражателем составляет: 2 мм + 2 ppm (2 мм на 1 км), время – порядка 1,5 с. В безотражательном режиме – точность: 3 мм + 2 ppm (2 мм на

1 км); время одного измерения – 3–6 с. Угловые измерения в обоих режимах составляют 1 с.



Рис. 1. Электронный тахеометр серии Leica TPS 1200

Размер измеряемого помещения спортивно-го манежа «Стайки» составлял 53,3×35,2 м, высота измеряемых стен – 12,0 м. Тахеометр устанавливался в произвольной точке, удобной для размещения прибора и обеспечивающей возможность наблюдения всех стен помещения. Точка не закреплялась временными знаками. Все наблюдения выполнялись с этой позиции, не меняя положения тахеометра. Это позволило исключить погрешности, возникающие при создании опорной сети, и существенно сократить время выполнения полевых работ.

Измерения выполнялись в относительной системе координат. Точка установки тахеометра имела нулевые координаты ( $X = 0, Y = 0, H = 0$ ). Ориентация тахеометра задавалась произвольной. Каждую стену сканировали с верхней точки до пола с интервалом 1 м по вертикали. Шаг сканирования по горизонтали принимался равным нескольким метрам. (Вообще, шаг сканирования по вертикали и горизонтали может быть произвольным и определяется, как правило, размерами неровностей, которые мы хотим выявить.) Встроенный в тахеометр лазерный указатель позволял непосредственно на стене наблюдать точку, координаты которой снимались. Результаты измерений записывали в оперативную память тахеометра. Погрешность измерения координат точек поверхности стены не превышала 3 мм. По результатам измерений строили трехмерную цифровую (табл. 1)

или 3D-модель в единой планово-высотной системе координат.

Таблица 1

Данные отклонений (в мм) от вертикальной плоскости

Развертка стены по оси P, м									
Стена 1									
м	5,2	11,7	17,6	23,7	29,5	35,5	41,5	47,5	
10	5	15	29	36	42	34	15	15	
8	10	29	38	32	35	28	24	25	
6	22	45	39	18	14	17	26	28	
4	48	53	38	24	11	15	31	37	
2	61	48	20	10	0	0	27	42	
Стена 2									
м	0,9	7,5	14,2	20,8	27,3	35,2			
12	75	130	175	181	116	40			
10	72	131	159	138	89	27			
8	71	113	125	112	71	10			
6	45	87	107	91	60	0			
4	39	64	72	72	47	2			
2	13	30	41	35	116	40			
Стена 3									
м	3,0	8,0	14,1	20,5	26,2	32,0	41,5	47,5	51,3
12	62	62	80	120	112	123	127	131	50
10	49	100	112	113	121	124	118	129	72
8	53	87	94	71	80	85	103	108	70
6	52	58	49	62	61	71	72	71	48
4	59	69	67	81	78	80	75	68	32
2	52	62	86	100	83	80	68	62	2
Стена 4									
м	1,8	8,2	10,4	17,1	22,0	26,9	34,1		
12	69	66	21	30	50	11	198		
10	76	76	40	61	75	120	201		
8	83	82	56	81	115	131	197		
6	80	80	65	100	125	140	196		
4	85	95	94	115	127	149	180		
2	95	66	100	127	138	160	178		

**Примечание.** На пересечении столбцов и строк приведены отклонения (в мм) от вертикальной плоскости, проведенной через точку максимального выступа в стене. В первом столбце таблицы указана высота точек съемки, в верхней строке – расстояние вдоль стены.

Обработка и анализ результатов измерений выполнялись в программном комплексе LISCAD Plus, который в Беларуси получил значительно меньшее распространение по сравнению с программными продуктами CREDO [2].

LISCAD Plus – это пакет из интегрированных программных модулей, разработанный в

первую очередь для геодезистов и инженеров и позволяющий на основе полевых измерений получить окончательные отчетные материалы. LISCAD реализован по модульному принципу. Авторами использовались два основных модуля – «Вычисления» и «Моделирование».

На рис. 2 приведен общий вид 3D-модели, созданной в модуле «Моделирование» программного комплекса LISCAD Plus на основе координат зарегистрированных точек результатов измерений. Для того чтобы для каждой стены манежа получить ее профиль, по сути, нужно создать разрезы цифровой модели. Для этого необходимо поочередно плоскость фасада каждой из стен «положить» горизонтально (в плоскость  $XU$ ), так как она находится в произвольной вертикальной плоскости.

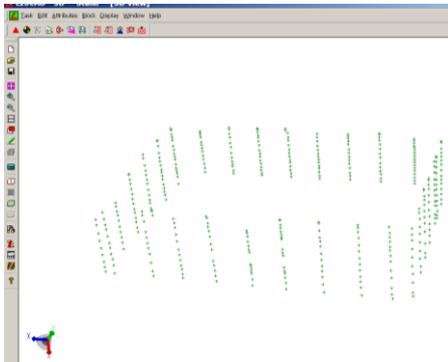


Рис. 2. 3D-модель спортивного манежа «Стайки»

В начале исследований тахеометр был ориентирован произвольным образом. Поэтому для наглядности и упрощения анализа данных в модуле «Вычисления» выполнены разрезы цифровой модели и каждая стена помещена в отдельный проект. Далее были проведены преобразования координат для каждой стены. Система координат ориентировалась таким образом, чтобы ось  $X$  была расположена горизонтально, строго вдоль стены сооружения, ось  $H$  – вертикально вдоль фасада, а ось  $Y$  дополняла систему координат до «левой».

Следует отметить, что выбор направления для оси  $X$  (и последующий поворот всех измерений на этот угол) имеет существенное значение для дальнейшей интерпретации данных. Так, предлагаемые автором [3] перед началом работ обратная засечка по углам снимаемой стены здания и последующее присвоение одному из углов координаты ( $X = 0, Y = 0$ ), а противоположному – ( $l, 0$ ) (где  $l$  – ширина фасадной части) не гарантируют корректного

направления, поскольку точки обратной засечки могут находиться на дефектных участках стены и, кроме того, для углов зданий присущи максимальные погрешности измерений в безотражательном режиме. Построение оси по методу наименьших квадратов (направление выбирается исходя из минимального усредненного отклонения координат точек от оси) дает отклонения с разными знаками, поскольку точки могут находиться по разные стороны относительно оси. Авторами использовался визуальный метод определения направления оси  $X$ . Ось  $X$  выбиралась таким образом, чтобы она проходила через две точки стены, а все остальные точки (за исключением явных выбросов) находились, например, выше самой оси. Тогда координата  $Y$  соответствует отклонению точки от построенной плоскости стены. Причем все отклонения будут с одинаковым знаком.

Таким образом, преобразовав координаты точек в соответствии с выбранным направлением и осуществив перенос начала координат в одну из точек, по которой строили линию, получим, что точка начала линии соответствует координатам  $X = 0, Y = 0$ , окончание линии – ( $L, 0$ ), где  $L$  – длина стены помещения. Все эти операции (поворот и смещение) выполняются штатными средствами LISCAD Plus в программном модуле «Вычисления». На рис. 3 приведены фрагмент построенной оси  $X$  и отклонение от вертикали (17 мм, Offset. – 0,017) для измеренной точки с идентификатором 310. Сведенные в таблицу координаты преобразованных точек являются исходными данными для разработки проектно-сметной документации. По ним можно строить профили отклонения стены от вертикали. На рис. 4 приведен пример такого построения, выполненный в табличном редакторе Excel. (Здесь по оси  $X$  – отклонение от вертикали, по оси  $Y$  – высота стены, в метрах.)

Недостатком такого построения, как на рис. 4, является визуализация отклонения только по одной линии. Для отображения общей картины неровностей по поверхности стены были построены изолинии (рис. 5). Для этого плоскость стены «положили» горизонтально (в плоскость  $XU$ ). Процедура выполняется просто стандартными функциями LISCAD Plus: в головном меню модуля «Вычисление» выбираем пункт «Редактирование», в нем – «Замена осей», далее

в выпадающем меню меняем оси  $H$  и  $Y$  местами. В преобразованной системе координат отклоне-

ния от вертикали становятся высотами точки.

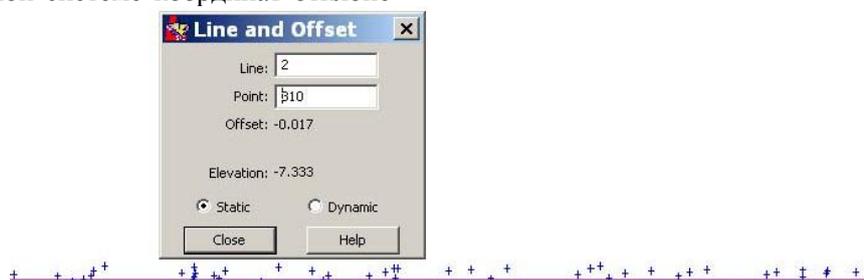


Рис. 3. Отклонение точек от вертикальной плоскости

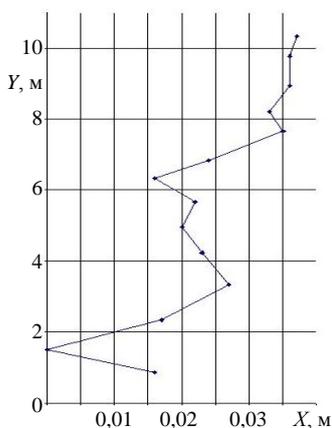


Рис. 4. Вертикальный профиль стены по оси P14

Далее в модуле «Моделирование» выполняем стандартную процедуру построения изолиний. Для наглядности основные изолинии проводим через 5 см, дополнительные – через 2 см.

Таким образом, по результатам измерений создана цифровая модель отклонения стен обследуемого помещения от вертикальной плоскости. При этом было установлено, что в спортивном манеже стена 1 длиннее стены 3 в среднем на 100 мм, а максимальные отклонения от вертикали стены 2 достигают 150 мм и более. В табличном редакторе Excel построены графики по вертикальным линиям сканирования, для визуализации поверхность стены представлена в изолиниях.

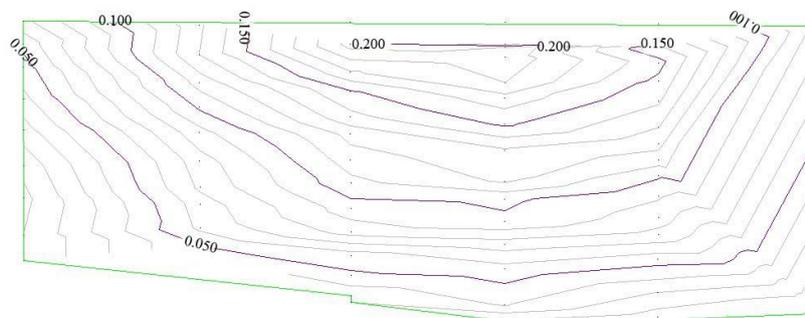


Рис. 5. Изображение поверхности стены 2 спортивного манежа в изолиниях  
ВЫВОДЫ Л И Т Е Р А Т У Р А

Можно отметить следующие преимущества в определении вертикальности стен с использованием электронного тахеометра:

- 1) оперативное и высокоточное выполнение натуральных измерений;
- 2) возможность получения цифровой модели стены с требуемой дискретностью;
- 3) автоматизированная обработка и интерпретация данных в специализированном программном комплексе LISCAD Plus.

1. **Руководство** по эксплуатации TPS 1200-01. Версия 4.0: пер. с англ. – Switzerland: Heerbrugg, 2005. – 246 с.
2. **Спицын, А. В.** Съёмка фасадов зданий и обработка полученных результатов с помощью программных продуктов CREDO III / А. В. Спицын, А. А. Чернявцев // Автоматизированные технологии изысканий и проектирования. – 2004. – № 12. – С. 27–31.
3. **Валтонен, Д. А.** Съёмка фасадов зданий с помощью электронных тахеометров / Д. А. Валтонен // Геопрофи. – 2010. – № 1. – С. 25–29.

Поступила 14.12.2011