

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ВЕРТИКАЛЬНОГО ПРОЕЦИРОВАНИЯ ОСЕВЫХ ТОЧЕК ЭЛЕКТРОННЫМ ТАХЕОМЕТРОМ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

*Канд. техн. наук, проф. НЕСТЕРЕНКО М. С.¹⁾,
канд. техн. наук РАК И. Е.¹⁾, инж. ВЕКСИН В. Н.²⁾*

¹⁾Белорусский национальный технический университет,

²⁾УП «Геокарт»

E-mail: vfnest@gmail.com

Показано, что функциональная ограниченность зенит-приборов и появление современных высокоточных электронных тахеометров должны привести к вытеснению первых последними в геодезических работах по вертикальному проецированию осевых точек возводимых зданий и сооружений. Однако в ТКП 45-1.03-26–2006 электронный тахеометр в функции зенит-прибора не рассматривается.

Специальные эксперименты и практические работы УП «Геокарт» доказали, что электронный тахеометр, снабженный компенсатором малых наклонов и призменной зенитной насадкой на окуляр, в соответствии со своей конструкцией может применяться как прибор вертикального проецирования при установке визирной оси зрительной трубы в зафиксированное вертикальное положение. Для получения сравнительных характеристик точности вертикального проецирования тахеометром TOPCON GPT 7501 и зенит-прибором PZL-100 соответствующие исследования проведены на строящемся высотном здании бизнес-центра по ул. М. Танка в г. Минске. Исходная точка внутренней разбивочной сети находилась на отметке $\pm 0,0$, отметка палетки равнялась $+49,5$ м (перекрытие 15-го этажа), высота проецирования относительно прибора составила $H = 47,8$ м. Для исключения погрешности центрирования оба прибора последовательно устанавливали на одной и той же подставке через специально изготовленное адаптивное устройство. Расхождение положения на палетке окончательных точек проекции, полученных двумя приборами, составило $1,2$ мм, что свидетельствует о практической равнозначности использованных зенит-прибора и тахеометра в функции вертикального проецирования.

Дополнительное преимущество электронного тахеометра перед специальными приборами вертикального проецирования состоит в том, что в случае некоторой несоосности геодезических отверстий в межэтажных перекрытиях тахеометр позволяет, отклоняясь от вертикали, выполнять вынос исходной точки на монтажный горизонт наклонным проецированием в точку с плановыми координатами, отличными от координат исходной в пределах видимой площади палетки. Такая точка может быть обозначена точечным светодиодом, помещенным на палетке. Ее пространственные полярные и прямоугольные координаты на горизонтальной плоскости определяются угловыми измерениями с отсчетами по обоим угломерным кругам электронного тахеометра и высотой проецирования.

Производственная практика и проведенные эксперименты привели к следующим выводам. Современный электронный тахеометр, снабженный окулярной насадкой для визирования зрительной трубой в зенитном направлении, можно и следует эффективно использовать для вертикального проецирования точек внутренней геодезической основы возводимого здания или сооружения. Названный прибор обеспечивает перенос точек координатной основы на монтажный горизонт не только по вертикали, но и с наклоном проецирующего луча в пределах последовательной видимости отверстий в межэтажных перекрытиях, что позволяет адаптировать траекторию проецирования к конкретным условиям ее прохождения.

Ключевые слова: электронный тахеометр, вертикальное проецирование, разбивочные оси здания, высокая точность, эффективность.

Ил. 3. Библиогр.: 10 назв.

VERTICAL PROJECTION EFFICIENCY OF PIVOT POINTS USING ELECTRONIC TACHEOMETER DURING CONSTRUCTION OF BUILDINGS AND STRUCTURES

NESTERENOK M. S.¹⁾, RAK I. E.¹⁾, VEKSIN V. N.²⁾

¹⁾Belarusian National Technical University,

²⁾UE "Geokart"

The paper shows that functional limitation of zenith devices and introduction of modern high-accuracy electronic tacheometers should lead to substitution of the mentioned devices for tacheometers in geodesic works concerning vertical projection of pivot points of the constructed buildings and structures. However the electronic tacheometer has not been considered in the function of a zenith device in ТКП 45-1.03-26–2006 [1].

Special experiments and practical works executed by UE "Geokart" has proved that in accordance with its design the electronic tacheometer equipped with a compensator for small inclinations and zenith prism attachment for ocular can be applied as a vertical projection device while setting sighting line of a telescope in a fixed vertical position. Corresponding experiments have been carried out for multi-storied building of business centre located in the M. Tank Street in Minsk in order to obtain comparative characteristics of vertical projection accuracy with the help of tacheometer TOPCON GPT 7501 and zenith device PZL-100. An initial point of the staked grid has been situated at the elevation $\pm 0,0$ m, standard graph elevation has been equal to $+49,5$ m (concrete slab of the 14th floor), projection height referred to the device has been equal to $H = 47,8$ m. Both devices have been set on the same stand using a purpose made adaptive device in order to exclude centering errors. Deviation in position of final projection points on the standard graph which were obtained with the help of two devices has been equal to 1.2 mm, that testifies practical equal accuracy of the zenith device and tacheometer for vertical projection function.

Additional advantage of the electronic tacheometer in comparison with special vertical projection devices lies in the fact that in the case of a certain misalignment of geodesic openings in intermediate floors tacheometer deviating from the vertical makes it possible to carry out initial point transfer to mounting horizon using inclined projection in the point with plane coordinates which differ from initial point coordinates within the limits of apparent standard graph area. Such point can be indicated with the help of dot L.E.D. located on standard graph. Its spatial polar and rectangular coordinates on horizontal plane are determined by angular measurements with readings along both bearing circles of the electronic tacheometer and projection height.

Production practice and executed experiments have permitted to make the following conclusions: a modern electronic tacheometer equipped with ocular attachment for telescope sighting in the zenith direction can be and must be efficiently applied for vertical point projection of internal geodetic base of a constructed building or a structure. The mentioned device ensures transfer of geodetic base points to mounting horizon not only vertically but also with inclination of a projected beam within sequential visibility of openings in intermediate floors that allows to adapt projection trajectory to specific conditions of its passing.

Keywords: electronic tacheometer, vertical projection, staking grid line of building, high accuracy, efficiency.

Fig. 3. Ref.: 10 titles.

Для передачи по вертикали точек внутренней разбивочной основы здания (сооружения) предназначены приборы вертикального проецирования (ПВП), в их числе оптико-механические зенит-приборы ZNL, ОЦП, PZL-100 и лазерные LV1, ЛЗЦ, рекомендованные п. 8.2.2 ТКП 45-1.03-26-2006 [1]. Образцы рекомендуемых визирных целей приведены в нормативном документе [2]. Результаты исследований по применению названных приборов для обеспечения заданной геометрической точности строительства, изложенные в публикациях [3–9], послужили основой рекомендаций по выбору наиболее эффективной методики передачи осей здания по вертикали в типичных условиях строительства. Но в дальнейшем практика показала, что функциональная ограниченность зенит-приборов и появление современных многофункциональных высокоточных электронных тахеометров приводят к вытеснению первых последними. Однако в [1, 3–9] электронный тахеометр в функции зенит-прибора не рассматривается.

Специальные эксперименты и практические работы УП «Геокарт» доказали, что электронный тахеометр, снабженный компенсатором

малых наклонов и призмной зенитной насадкой на окуляр, в соответствии со своей конструкцией может применяться в функции ПВП при установке визирной оси зрительной трубы в зафиксированное вертикальное положение. Для получения сравнительных характеристик точности вертикального проецирования тахеометром TOPCON GPT 7501 и зенит-прибором PZL-100 соответствующие исследования проведены на строящемся высотном здании бизнес-центра по ул. М. Танка в г. Минске. Исходная точка внутренней разбивочной сети находилась на отметке $\pm 0,0$, отметка палетки равнялась $+49,5$ м (перекрытие 15-го этажа), высота проецирования относительно прибора составила $H = 47,8$ м. Для исключения погрешности центрирования оба прибора последовательно устанавливали на одной и той же подставке через специально изготовленное адаптивное устройство. Каждым прибором исходная точка проецировалась на палетку с ценой деления сетки квадратов 10×10 мм (рис. 1) при четырех его ориентациях по угломерному кругу ($0, 90, 180, 270^\circ$). Результаты проецирования представлены на рис. 1. Определение на палетке места средних точек проецирования показано на рис. 2.

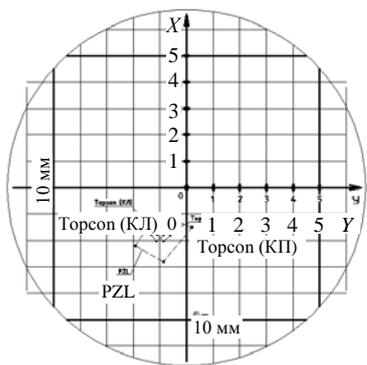


Рис. 1. Палетка и точки проецирования приборами PZL-100 и TOPCON GPT 7501

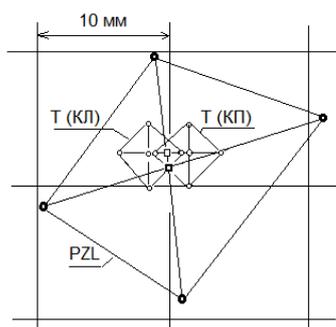


Рис. 2. Определение на палетке места средних точек проецирования: для зенит-прибора PZL-100 (точка \square) и тахеометра TOPCON GPT 7501 (точка \circ)

Тахеометром TOPCON вертикальное проецирование выполняли оптическим визированием (визирной осью трубы) без применения лазерного дальномера в положениях КЛ и КП (рис. 1) при неизменном закреплении зрительной трубы. В таком положении электронный тахеометр настроен как зенит-прибор, его рас-

четная угловая погрешность проецирования определяется точностью работы компенсатора малых наклонов (без учета рефракционных воздействий на траекторию светового луча) и оценивается величиной $m_{Lp} = Hm_v/\rho = \pm 0,07$ мм, где $m_v = \pm 0,3''$ – угловая погрешность компенсации; $\rho = 206265$ – число секунд в радиане.

Из рис. 1 и 2 видно, что четырехугольники, образованные точками проекции приборов PZL и тахеометра, близки к равносторонним, следовательно, проецирование выполнено вполне надежно, и средние точки проекции находятся в пересечении диагоналей соответствующих фигур, а посередине между средними точками проекции тахеометра, полученными при КЛ и КП, выбрано окончательное положение искомой точки проекции. Расхождение положения на палетке окончательных точек проекции, полученных двумя приборами, составило 1,2 мм, что свидетельствует о практической равнозначности использованных зенит-прибора и тахеометра в функции вертикального проецирования.

Дополнительное преимущество электронного тахеометра перед специальными приборами вертикального проецирования состоит в том, что в случае некоторой несоосности геодезических отверстий в межэтажных перекрытиях тахеометр позволяет, отклоняясь от вертикали, выполнять вынос исходной точки на монтажный горизонт наклонным проецированием в точку с плановыми координатами, отличными от координат исходной в пределах видимой площади палетки (рис. 3).

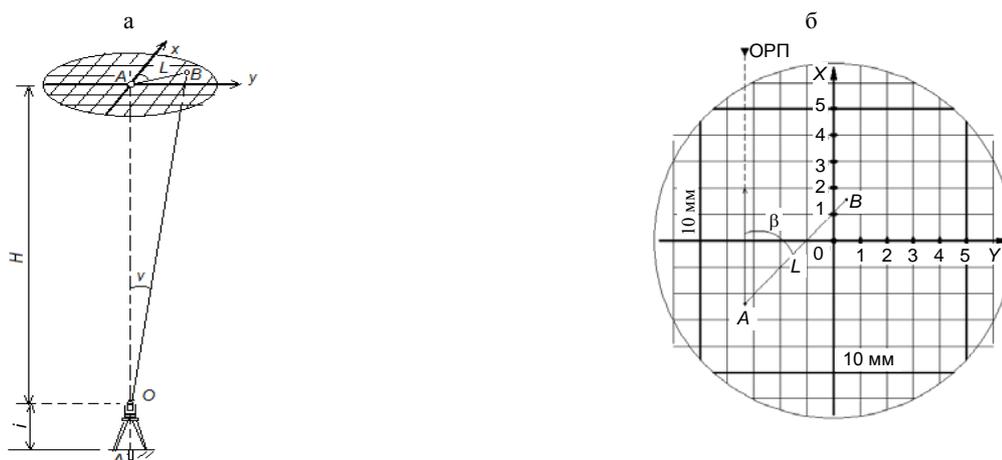


Рис. 3. Проецирование осевой точки на палетку на монтажном горизонте лучом, отклоненным от вертикали: а – отклонение луча; б – ориентация отклонения в проекции на палетку; A' – отвесная проекция исходного пункта A ; v – угол отклонения проецирующего луча от вертикали; B – наклонная проекция точки A ; ОРП – ориентирный пункт; β – горизонтальный угол ориентации линейного смещения L проекции B ; i – высота прибора

Такая точка может быть обозначена точечным светодиодом, помещенным на палетке. Ее пространственные полярные и прямоугольные координаты на горизонтальной плоскости определяются угловыми измерениями с отсчетами по обоим угломерным кругам электронного тахеометра и высотой проецирования. Приведем расчет необходимой точности измерений при координировании высокорасположенной точки на палетке наклонным проецированием.

Линейное (полярное) отклонение L и координат X_B , Y_B наклонно спроецированной точки B относительно исходной точки A вычисляли (в мм) по формулам:

$$L = H(v/\rho); \quad (1)$$

$$X_B = X_A + L\cos\beta; \quad (2)$$

$$Y_B = Y_A + L\sin\beta, \quad (3)$$

где v – угол отклонения проецирующего луча от вертикали; β – горизонтальный (полярный) угол между осью абсцисс палетки и направлением линейного (полярного) отклонения L .

Расчетную погрешность определения координат точки B (в мм) оценивали по формуле

$$m_{xyB}^2 = (Hm_v/\rho)^2 + (Lm_\beta/\rho)^2 + m_A^2 + m_B^2, \quad (4)$$

где первое слагаемое правой части выражает погрешность вычисленной величины L ; второе – погрешность положения точки B за счет погрешности измерения ориентирующего угла β ; m_A – погрешность центрирования прибора над исходным пунктом A ; m_B – погрешность фиксации точки B на монтажном горизонте.

При $H = 50000$ мм; $m_v = 3''$; $L = 150$ мм; $m_\beta = 5''$; $m_A = 1,0$ мм; $m_B = 1,5$ мм по формуле (4) определяем $m_{xyB} = \pm 2$ мм, при этом согласно [1] допустимая погрешность проецирования точек внутренней разбивочной основы на высоту 50 м составляет $\pm 2,5$ мм, следовательно, рассматриваемый электронный тахеометр обеспечивает нормативную точность передачи плановых координат на монтажный горизонт наклонным проецированием.

В формулах (2) и (3) необходимо определить допустимые погрешности ΔH , Δv и $\Delta\beta$ измерения величин H , v и β с учетом того, что отклонение L может достигать 15 см. Например, при высоте $H = 50000$ мм и допустимой

расчетной погрешности определения смещения L , равной $\Delta L = 1$ мм, находим:

$$\Delta H = \Delta L\rho/(H\Delta v) = (1 \cdot 206265)/(50000 \cdot 3'') = 1,4 \text{ м};$$

$$\Delta v = (\Delta L/H)\rho = (1/50000) \cdot 206265 = 4'';$$

$$\Delta\beta = (\Delta_{xy}\rho)/L = (1 \cdot 206265)/150 = 1375'' = 23' = 0,38^\circ.$$

Для высоты проецирования $H = 100$ м при $\Delta L = 2$ мм, учитывая рефракционные воздействия на траекторию визирного луча, в использованные выше формулы следует ввести повышающий приборную точность коэффициент с предварительным значением $K = 0,5$, тогда:

$$\Delta H = K(\Delta L\rho)/(H\Delta v) = 0,5(2 \cdot 206265)/(100000 \cdot 3'') = 0,7 \text{ м};$$

$$\Delta v = K(\Delta L/H)\rho = 0,5(2/100000) \cdot 206265 = 2'';$$

$$\Delta\beta = K(\Delta_{xy}\rho)/L = 0,5(2 \cdot 206265)/150 = 0,38^\circ.$$

Опыт применения приборов вертикального проецирования и экспериментальные исследования показали, что во избежание исчезновения оптической видимости сквозь отверстия в межэтажных перекрытиях и для ослабления рефракционных искривлений визирного луча, рассмотренных в [10], вертикальное проецирование следует производить по частям – секциями через каждые 40–60 м высоты, но предельная высота секции требует уточнения.

ВЫВОДЫ

Производственная практика и проведенные эксперименты приводят к следующим выводам.

1. Современный электронный тахеометр, снабженный окулярной насадкой для визирования зрительной трубой в зенитном направлении, можно и следует эффективно использовать для вертикального проецирования точек внутренней геодезической основы возводимого здания или сооружения.

2. Названный прибор обеспечивает перенос точек координатной основы на монтажный горизонт не только по вертикали, но и с наклоном проецирующего луча в пределах последовательной видимости отверстий в межэтажных перекрытиях, что позволяет адаптировать траекторию проецирования к конкретным условиям ее прохождения.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Геодезические** работы в строительстве. Правила проведения: ТКП 45-1.03-26-2006. – Минск: Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь, 2006. – 62 с.
2. **СНБ** 1.02.01-96. Строительные нормы Республики Беларусь. Инженерные изыскания для строительства. – Минск: Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь, 1996. – 110 с.
3. **Нестеренок, М. С.** Координатная основа специальных геодезических сетей / М. С. Нестеренок // Вестник Белорусского национального технического университета. – 2004. – № 5. – С. 9–11.
4. **Нестеренок, М. С.** Методы и точность геодезических разбивочных работ при строительстве здания Национальной библиотеки Беларуси / М. С. Нестеренок, В. Н. Вексин // Автоматизированные технологии изысканий и проектирования. – 2004. – № 15. – С. 14–18.
5. **Нестеренок, М. С.** Геодезическое обеспечение геометрической точности строительства здания Национальной библиотеки Республики Беларусь // Наука – образованию, производству, экономике: материалы Второй междунар. науч.-техн. конф.: в 2 т. – Минск: БНТУ, 2004. – Т. 1. – С. 397–01.
6. **Седельникова, И. А.** Комбинированный способ геодезической съемки фасадов зданий / И. А. Седельникова, И. А. Назаров // Сборник трудов Московского государственного строительного университета. – М., 2005. – № 3.
7. **Нестеренок, М. С.** Обоснование методики и точности геодезических наблюдений за деформациями здания книгохранилища Национальной библиотеки Беларуси в период его эксплуатации / М. С. Нестеренок, В. Н. Вексин // Вестник Белорусского национального технического университета. – М., 2006. – № 6. – С. 12–15.
8. **Состояние** и возможности современной геодезии при строительстве высотных зданий и комплексов / Г. Е. Рязанцев [и др.] // Сборник трудов Московского государственного строительного университета. – М., 2006. – № 5.
9. **Нестеренок, М. С.** К обоснованию допусков при определении вертикальных деформаций геометрическим нивелированием / М. С. Нестеренок, В. Н. Вексин // Автоматизированные технологии изысканий и проектирования. – 2008. – № 30. – С. 55–56.
10. **Назаров, И. А.** Исследование влияния на точность измерения безотражательным электронным тахеометром угла падения лазерного луча и отражающих свойств поверхности / И. А. Назаров // Сборник трудов Московского государственного строительного университета. – М., 2006. – № 5.

REFERENCES

1. **TKP** 45-1.03-26-2006. Geodesic Works in Construction. Rules for Conducting, Minsk: Ministry of Architecture and Construction of the Republic of Belarus, 2006. 62 p. (in Russian).
2. **SNB** 1.02.01-96. Building Codes of the Republic of Belarus. Engineering Surveys in Construction. Minsk: Ministry of Architecture and Construction of the Republic of Belarus, 1996 (in Russian).
3. **Nesterenok, M. S.** (2004) Coordinate Base of Special Geodetic Networks. *Vestnik BNTU* [Bulletin of the Belarusian National Technical University], 5, 9–11 (in Russian).
4. **Nesterenok, M. S., & Veksin, V. N.** (2004) Methods and Accuracy of Geodetic Location Survey While Constructing the Building of National Library of the Republic of Belarus. *Avtomatizirovanniye Tekhnologii Izyskaniy i Proektirovaniya* [Automated Technologies of Surveys and Designing], 15, 14–18 (in Russian).
5. **Nesterenok, M. S.** (2004) Geodetic Provision of Geometric Accuracy in Construction of the Building of National Library of the Republic of Belarus. *Nauka – Obrazovaniyu, Proizvodstvu, Ekonomike: Materialy Vtoroi Mezhdunar. nauch.-tekh. konf.* [Science for Education, Industry, Economics: Proceedings of the 2nd International Scientific and Technical Conference]. Minsk, BNTU, Vol. 1, 397–401 (in Russian).
6. **Sedelnikova, I. A., & Nazarov, I. A.** (2005) Combines Method for Geodetic Survey of Building Elevation. *Sbornik trudov Moskovskogo Gosudarstvennogo Stroitel'nogo Universiteta* [Collected Papers of Moscow State University of Civil Engineering], 3 (in Russian).
7. **Nesterenok, M. S., & Veksin, V. N.** (2006) Substantiation of Methodology and Accuracy of Geodetic Observations for Book Store Building of National Library of the Republic of Belarus During its Operation. *Vestnik BNTU* [Bulletin of the Belarusian National Technical University], 6, 12–15 (in Russian).
8. **Riazantsev, G. E., Sedelnikova, I. A., Zhidkov, A. A., Nazarov, I. A., & Smirnov, V. N.** (2006). State and Possibilities of Modern Geodesy During Construction of Multi-Storied Buildings and Complexes. *Sbornik Trudov Moskovskogo Gosudarstvennogo Stroitel'nogo Universiteta* [Collected Papers of Moscow State University of Civil Engineering], 5 (in Russian).
9. **Nesterenok, M. S., & Veksin, V. N.** (2008) To Substantiation of Tolerances While Determining Vertical Deformations by Geometric Leveling. *Avtomatizirovanniye Tekhnologii Izyskaniy i Proektirovaniya* [Automated Technologies of Surveys and Designing], 30, 55–56 (in Russian).
10. **Nazarov, I. A.** (2006) Influence Investigation of Laser Beam Tilt Angle and Surface Reflective Properties on Measuring Accuracy Using Reflectorless Electronic Taхеometer. *Sbornik Trudov Moskovskogo Gosudarstvennogo Stroitel'nogo Universiteta* [Collected Papers of Moscow State University of Civil Engineering], 5 (in Russian).

Поступила 31.01.2014