

*Пимшина Т.М.,
кандидат технических наук, доцент
доцент кафедры «Изыскания, проектирование и строительство
железных дорог»
Ростовский государственный университет путей сообщения
Россия, г. Ростов-на-Дону*

*Арсеньев Д.М.,
старший преподаватель кафедры «Геодезия»
Донской государственной технической университет
Россия, г. Ростов-на-Дону*

*Илларионов И.С.,
студент магистратуры кафедры «Геодезия»
3 курс, факультет «Дорожно-транспортный»
Россия, г. Ростов-на-Дону*

ИССЛЕДОВАНИЕ ТОЧНОСТИ ТРИГОНОМЕТРИЧЕСКОГО НИВЕЛИРОВАНИЯ, ВЫПОЛНЯЕМОГО ЭЛЕКТРОННЫМ ТАХЕОМЕТРОМ

***Аннотация:** Статья посвящена предрасчету и исследованию фактической точности тригонометрического нивелирования, выполняемого электронным тахеометром, для определения отметок высокорасположенных точек здания.*

***Ключевые слова:** деформации здания, вертикальные перемещения, осадки, электронный тахеометр, тригонометрическое нивелирование, предрасчет средней квадратической ошибки, исследование точности.*

Annotation: *The article is devoted to pre-calculation and research of the actual accuracy of trigonometric leveling performed by an electronic total station to determine the marks of high points of a building.*

Key words: *building deformations, vertical displacements, precipitation, electronic total station, trigonometric leveling, mean square error pre-calculation, accuracy study.*

В процессе строительства и эксплуатации зданий из-за различных внешних и внутренних факторов происходит неизбежный процесс взаимного изменения расположения их элементов внутри и снаружи объекта (деформации). Одними из основных деформаций являются вертикальные перемещения грунтов основания здания, которые определяются как разность отметок осадочных марок, определенных в разные периоды (циклы) времени.

Электронные тахеометры позволяют не только определять координаты контролируемых точек, но и их отметки. Это качество данных приборов очень удобно, поскольку позволяют с одной станции стояния тахеометра измерять различные деформационные параметры строительных конструкций зданий, например, такие как отклонения от отвесной линии (крены), горизонтальные смещения, вертикальные перемещения (осадки) [1, с. 3].

Отметки искомых точек электронный тахеометр определяет, измеряя до них вертикальные углы и наклонные расстояния. То есть используется тригонометрическое нивелирование, в котором отметки вычисляются по общеизвестной формуле [2, с. 111]

$$H_i = H_{CT} + \Delta h_i + j - a_i = H_{CT} + S_i \times \sin \nu_i + j - a_i, \quad (1)$$

где H_i – отметки контролируемых точек;

H_{CT} – отметка точки станции стояния электронного тахеометра;

Δh_i – превышения контролируемых точек над станцией прибора;

S_i – измеряемые наклонные расстояния от прибора до искомым точек;

v_i – измеряемые вертикальные углы;

j, a_i – высота прибора и высот наведения на контролируемые точки.

Используя выше приведенную формулу, перешли к её средней квадратической ошибке

$$m_{Hi}^2 = m_{Hcc}^2 + m_S^2 \cdot \sin^2 v + S^2 \cos^2 v \frac{m_v^2}{\rho^2} + m_j^2 + m_{ai}^2, \quad (2)$$

где m_{Hi} – средняя квадратическая ошибка определения отметки искомой точки;

m_{Hcm} – средняя квадратическая ошибка отметки станции стояния электронного тахеометра;

m_v, m_S – средние квадратические ошибки измерения вертикальных, горизонтальных углов и наклонного расстояния от прибора до точки;

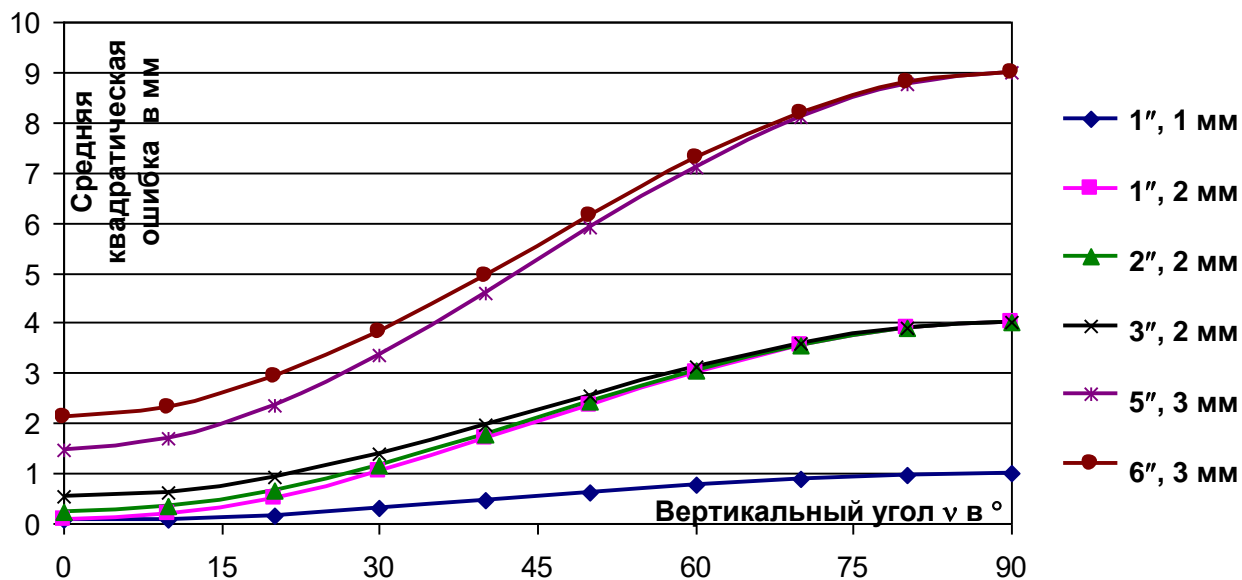
m_j, m_{ai} – средние квадратические ошибки измерения высоты прибора и высот наведения на контролируемые точки [3, с. 137].

Если измерения выполняются с одной станции в системе координат электронного тахеометра, то средними квадратическими ошибками отметки станции, его высотой и высотами наведения на точки можно пренебречь. В этом случае средние квадратические ошибки определения отметок искомым точек прямо пропорциональны величинам вертикальных углов и наклонных расстояний, а также инструментальным ошибкам их измерений.

Используя вышеприведенную формулу, построены графики зависимости средних квадратических ошибок определения прямоугольных координат контролируемых точек от точности измерений углов и расстояний, а также величин вертикальных углов (рисунок 1). Варьирования принимались следующие: вертикальные углы изменялись в пределах от 0° до 180° ; наклонные расстояния использовались равными 50 м и 100 м.; средние квадратические ошибки измерения углов были приняты 1", 2", 3", 5", 6", а

определения наклонных расстояний 1 мм, 2 мм, 3 мм, поскольку данные точности являются наиболее распространенными в массовом производстве электронных тахеометров.

а.



б.

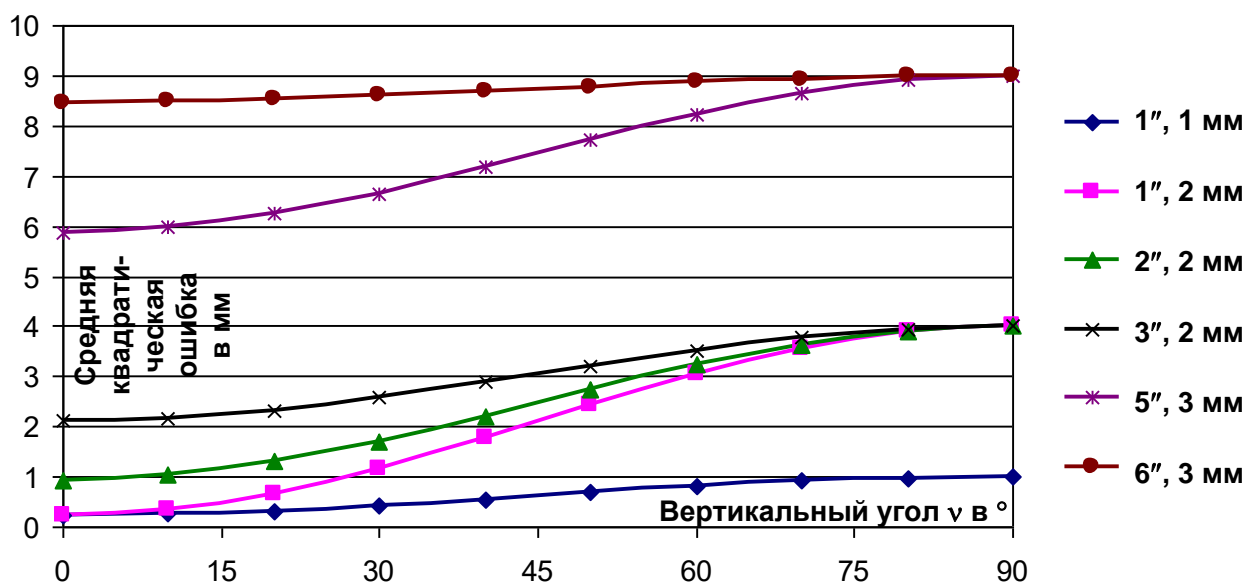


Рисунок 1. Предрасчет зависимости средней квадратической ошибки определения отметок искомых точек (m_{H_i}) от величины вертикальных углов и точности измерений углов и наклонных расстояний, измеренных электронным тахеометром:
 а. для $S = 50$ м; б. для $S = 100$ м

Как видно из данного рисунка средние квадратические ошибки определения отметок искомых точек напрямую зависят от величин

вертикального угла. То есть, чем больше вертикальный угол близок к горизонту, тем больший вклад в погрешность отметки вносится точностью измерения данного угла. С другой стороны при вертикальном угле, близком к зениту, больший вклад в погрешность отметки вносится точностью измерения расстояний. Данные зависимости наиболее выражены у электронных тахеометров, измеряющих углы и расстояния с технической точностью.

Нами был выполнен эксперимент по исследованию зависимости погрешностей превышений, определенных тригонометрическим нивелированием, от величин вертикальных углов, измеренных электронным тахеометром. Общая схема выполнения данного эксперимента представлена на рисунке 2.

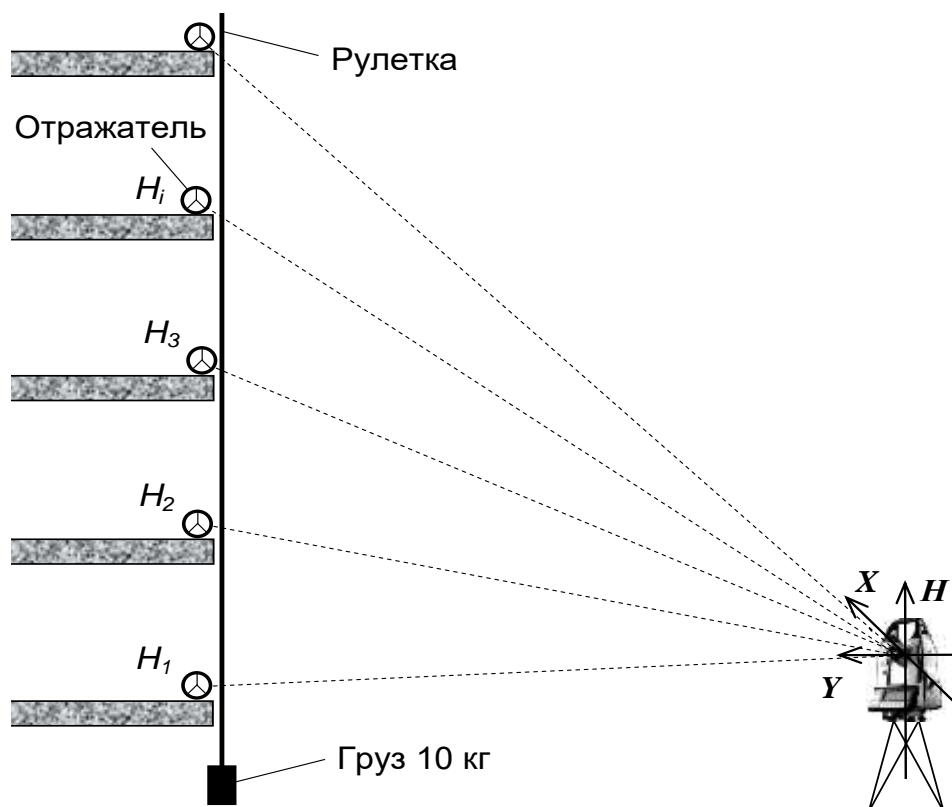
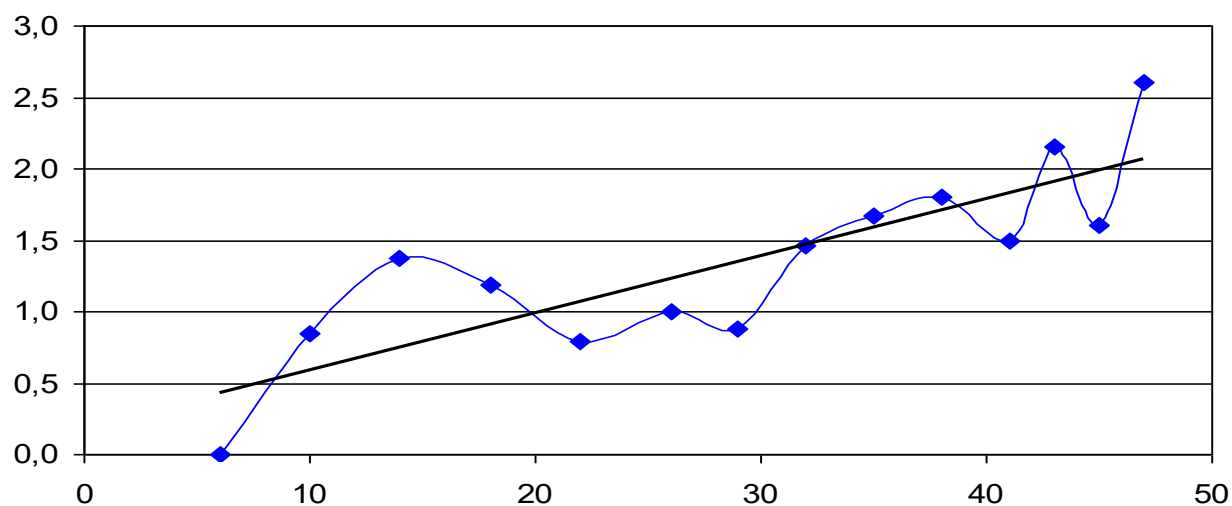


Рисунок 2. Схема выполнения исследования зависимости погрешностей превышений, определенных тригонометрическим нивелированием от величин вертикальных углов

Суть эксперимента заключается в следующем. Вдоль этажей высотного здания (вертикально) была натянута компарированная рулетка с силой натяжения порядка 10 кг. На небольшом расстоянии от данного здания

объекта устанавливался электронный тахеометр, которым измерялись отметки точек, расположенных на разных этажах здания. Измерения выполнялось на минивершку с трипель-призменным отражателем. При этом одновременно уровень отражателя измерялся и растянутой отвесной рулеткой. Результаты измерений по компарированной рулетке принимались за истинные значения относительно результатов, полученных прибором. Для повышения однозначности замеров измерений выполнялись в прямом и обратном направлении несколько раз. Результаты исследования для различных электронных тахеометров приведены на рисунке 3.

а.



б.

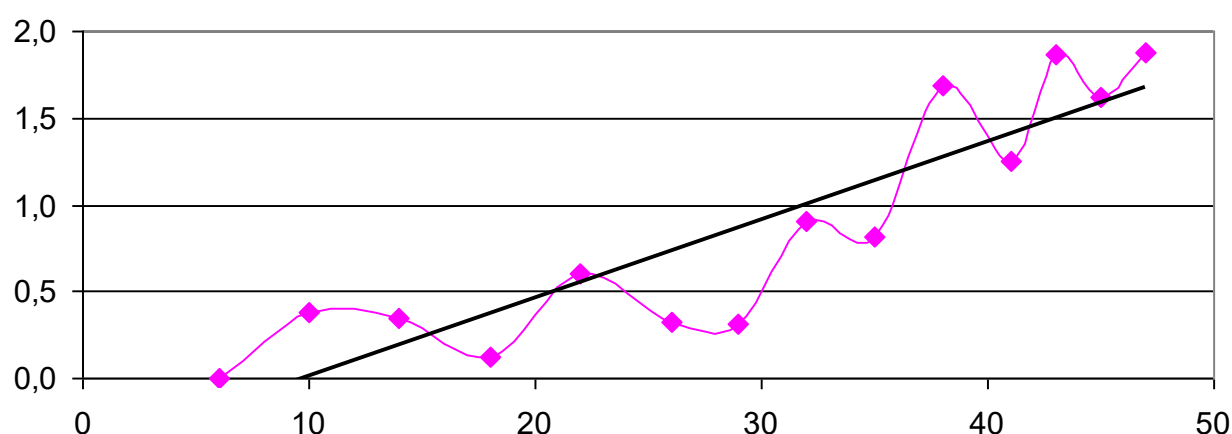


Рисунок 3. Результаты исследования зависимости погрешностей превышений, определенных тригонометрическим нивелированием от величин вертикальных углов измеренных различными электронными тахеометрами: а. Sokkia SET3030R (3", 3 мм); б. Trimble S6 (1", 1 мм)

Из всего вышесказанного можно сделать вывод, что при увеличении величины измеряемого вертикального угла погрешности определения отметок контролируемых точек также увеличиваются. Данную информацию следует учитывать при высокоточном определении отметок осадочных марок, передаче высот и т.д. методом тригонометрического нивелирование с использованием электронных тахеометров.

Использованные источники:

1. ГОСТ 24846-2012. Грунты. Методы измерения деформаций оснований зданий и сооружений. - М.: Стандартинформ, 2014. - 19 с.
2. Павлов, А.И. О применении тригонометрического нивелирования при определении деформации оснований зданий и сооружений / А.И. Павлов // Вестник НИЦ «Строительство». - 2014. - С. 110–113.
3. Михалев, А.В. Оценка возможности использования тригонометрического нивелирования для производства высокоточных измерений / А.В. Михалев // Вестник ПНИПУ. Геология. Нефтегазовое и горное дело. - 2013. - № 8. - С. 136–144.