

# КЛАССИФИКАЦИЯ ПОГРЕШНОСТЕЙ ИЗМЕРЕНИЯ УГЛОВ И РАССТОЯНИЙ ЭЛЕКТРОННЫХ ТАХЕОМЕТРОВ, ПРИМЕНЯЕМЫХ В УСЛОВИЯХ УЗБЕКИСТАНА

**Абдусали Самадович Суюнов**

Самаркандский Государственный Архитектурно-Строительный университет, г. Самарканд,

**Анвар Абдисаидович Мирзаев**

Самаркандский Государственный Архитектурно-Строительный университет, г. Самарканд,

**Олим Абдигофирович Ураков**

Самаркандский Государственный Архитектурно-Строительный университет, г. Самарканд,

**Зокир Шухрат угли Ибрагимов**

Самаркандский Государственный Архитектурно-Строительный университет, г. Самарканд,

**Аннотация:** В данной статье анализируются результаты исследования двух электронных тахеометров (угла и измерения расстояний без отражателей), входящих в парк геодезических приборов Узбекистана, т.е. погрешности измерения угла и расстояния, и по результатам вырабатываются рекомендации. Методы исследования, разработанные для электронных тахеометров, позволяют пользователю оценить точность измерения углов и расстояний в производственных условиях без отражателя и выбрать прибор, подходящий для типа геодезических работ.

**Ключевые слова:** Электронный тахеометр, Отражатель (призма), Измерение углов и расстояний, исследование геодезических приборов, Трейгер.

**Введение.** В настоящее время геодезические измерительные приборы и инструменты находят все более широкое применение при выполнении различных геодезических работ. Они направлены на решение насущных задач, а именно: увеличение скорости измерения, снижение труда и материала -ёмкости, времени и человеческих ресурсов.

Классические геодезические приборы - теодолит и нивелир отстают по востребованности от современных электронных приборов, все большую популярность приобретают электронные тахеометры и приборы, работающие со спутниковой системой GPS/GNSS. Электронные тахеометры и приемники глобальных навагационных спутниковых систем (ГНСС) в настоящее время являются наиболее востребованными средствами при производстве топографо-геодезических работ. Они позволяют автоматизировать процесс сбора геодезических данных, минимизировать ошибки и, как следствие, повысить точность геодезических работ [1].

**Цель исследования:** Целью данной работы является изучение работы электронных тахеометров при измерении угла путем изменения положения базы (трейгер) на штативе и измерения расстояния без отражателя, сопоставление данных, изучение и разработка необходимые инструкции с использованием полученных результатов [5].

При проверке точности прибора традиционным методом анализируют совокупность удельных погрешностей его частей, узлов, приспособлений и их взаимное расположение геометрических осей [2,3]. Все ошибки электронных тахеометров можно разделить на несколько групп: нарушение геометрической схемы прибора и ошибка ориентации; ошибка



прицеливания; погрешность систем расчета направления и угла; ошибка блока светодальномера; ошибка, вызванная отражающей поверхностью отражателей или предмета [4,5,8].

В коллимационной и перпендикулярной плоскостях одно- и двухосевые датчики наклона компенсируют случайные ошибки, вызванные наклоном прибора. Среди них можно отметить следующие: погрешность датчика наклона вертикальной оси прибора, погрешность системы автоматического прицеливания; погрешность ввода от преобразователя, погрешность деформации, вызванная динамическими и температурными воздействиями [2,3,4].

Постоянная систематическая погрешность остается постоянной при измерении конкретным электронным тахеометром и в большинстве случаев может быть определена из специальных исследований и скорректирована путем внесения соответствующих поправок в результаты измерений. Переменная систематическая ошибка изменяется при каждом новом измерении и изменяется в определенном диапазоне согласно определенному детерминированному соотношению. Случайные составляющие погрешности электронного тахеометра состоят из суммы ряда независимых погрешностей [4,5,6,8].

Для достижения максимальной точности при измерении горизонтальных углов точными оптическими теодолитами измерение проводят в несколько этапов путем изменения положения лимба методом приемов. В современных электронных теодолитах и тахеометрах положение лимба не изменяется, но эта операция может имитировать на экране любой угол лимба [4].

Как и изменение положения лимба в оптических теодолитах, это можно сделать изменением положения основания (трейгера) на штативе между приемами неповторяющейся системы осей электронных тахеометров.

Эти исследования выполнены Гура Д.А. лежит в основе его диссертации «Оценка точности и методы исследования измерений горизонтальных углов электронными тахеометрами в производственных условиях». Неожиданные результаты и другие подобные исследования появились в исследованиях с изменением положения подставки [4].

**Метод исследования:** Изучение электронных тахеометров важно не только для производителей, центров технического обслуживания приборов, научно-исследовательских институтов, но и для пользователя, который может определить, какие электронные тахеометры позволят при необходимости проводить более точные измерения [8,9,10].

Сегодня широко применяются следующие виды работ, связанные с высокоточными измерениями углов:

- создание государственных геодезических и опорных сетей, точное определение и фиксация главных осей при строительстве, использование геодезических методов при мониторинге зданий и сооружений, обеспечение эксплуатационной безопасности уникальных инженерных сооружений и т.д. При этом нормативно-технические документы, содержащие методики исследования погрешностей измерений электронных тахеометров, не разработаны.

Чтобы быть уверенным в достоверности результатов, многие ученые предлагают исследовать электронные тахеометры для уменьшения погрешностей измерения расстояний, вертикальных и горизонтальных углов. Большое внимание уделяется выявлению причин и источников ошибок измерений. Для исследования приборов предлагаются различные стационарные метрологические стенды [6,7,9,10].

Для проверки геодезических приборов необходимо знать эталонный угол. Для измерения углов используются высокоточные приборы. Для этого использовались оптический теодолит Т1 и электронный тахеометр Leica TS 11 ( $m=0,5''$ ). Все вертикальные углы измерялись в двенадцати точках. В результате измерений была получена величина среднеквадратичной ошибки (СКО) из 12 измерений (см. табл. 1) [5].



Таблица № 1

Геодезический прибор	Теодолит Т1				Электронный тахеометр "Leica" TS 11			
	n	+40	+250	+450	-450	+40	+250	+450
mn	2,9"	2,6"	2,3"	3,8"	3,2"	2,6"	3,1"	2,6"

Разработка без отражательных дальномеров-тахеометров произвела революцию в приборостроении. Вот и вроде бы решены проблемы высоких потолков крыш, длинных замеров на лестницах и замеров технически недоступных мест. Но, как мы упоминали выше, та же проблема с измерением расстояния в электронных тахеометрах, например, измерением угла, заключается в том, что технология измерения несовершенна [5].

Е. Б. Михаленко в своих работах по теме «Научно-исследовательские работы по дальномеру электронных без отражательных тахеометров»:

- в процессе работы без отражателя технические характеристики, указанные в паспорте прибора, не соответствуют экспериментальным данным. Причиной этого является влияние окружающей среды и разное светоотражение различных строительных материалов.

- в случае, когда светоотдача ослаблена и составляет следующие проценты: 50% и 25% для бетона; для 50% и 0% силикатного кирпича; 25% и 25% для керамического кирпича; 25% и 0% древесины; 25% и 0% на пластик; и 75% и 75% для ржавого металла.

Силикатный кирпич, пластик и дерево являются подходящими материалами для измерения расстояния без отражателя, но измерение расстояния от ржавой металлической поверхности вызывает некоторые проблемы. Точность измерения расстояния при работе без отражателя отражена в приведенных выше результатах [5].

**Анализ полученных результатов:** по результатам вышеуказанных исследований было проведено испытание с электронными тахеометрами SOKKIA SET 3000 производства Японии и Leica TS 11 производства Швейцарии, которые широко используются в геодезических, картографических и кадастровых съемках на территории Республики Узбекистан. Эти результаты представлены в таблице 2.

Таблица № 2

№	SOKKIA SET 3000	S, м	Разница в измерениях мм	Leica TS 11		Разница в измерениях мм
				S, мм	S, мм	
1	Металл	37.405	-0,003	Бетон	18.688	0,005
	Отражатель	37.408		Отражатель	18.685	
2	Кирпич	36.876	-0,003	Кирпич	18.863	0,015
	Отражатель	36.879		Отражатель	18.878	
3	Кафель	37,164	-0,004	Металл	19.391	0,015
	Отражатель	37,168		Отражатель	19.406	
4	Бетон	37.661	0,023	Кафель	19,144	-0,021
	Отражатель	37.684		Отражатель	19,165	

В обоих типах электронных тахеометров измеряемое расстояние от отражателя составляет 1-2 мм. по мере увеличения наклона отражающей поверхности разница в измеренном расстоянии увеличивается.



**Выводы:** Результирующие ошибки обычно могут быть записаны как сумма постоянных систематических ошибок, переменных систематических ошибок и случайных ошибок [6].

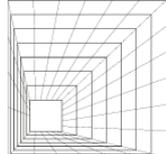
$$\Delta_{\Sigma} = \sum_{i=1}^n \Delta_{si} \pm \sqrt{\sum_{i=1}^m \Delta_{si}^2 + \sum_{i=1}^p k_i^2 \sigma_i^2},$$

где  $\Delta_{si} - i$  - я постоянная систематическая составляющая погрешности угломера;  $n$  - число постоянных систематических составляющих;  $\Delta_{si}$  - предельное значение  $i$ -й определенной функции распределения;  $m$  - число переменных систематических составляющих;  $\sigma_i$  - среднее квадратическое отклонение случайной  $i$ -й составляющей погрешности прибора;  $p$  - число случайных составляющих;  $k_i$  - коэффициент, учитывающий переход от среднего квадратического отклонения случайной составляющей погрешности к предельной погрешности  $V_i$ .

Дополнительную формулу систематических погрешностей можно рассчитать выше, но было доказано, что в процессе измерения вышеуказанных установочных исследований могут возникать разные ситуации [4,5,6].

#### References:

1. Дементьев В.Е. Современная геодезическая техника и ее применение: Учебное пособие для вузов. – Изд. 2-е. М.: Академический проект, 2008. с. 151-162.
2. Suyunov, A. S., Mirzaev, A. A., Urakov, O. A., & Suyunov, S. A. (2023, January). Field studies of electronic total stations in a special reference satellite geodetic basis. In *2nd International Conference on Computer Applications for Management and Sustainable Development of Production and Industry (CMSD-II-2022)* (Vol. 12564, pp. 208-213). SPIE.
3. Suyunov, A. S., Urakov, O. A., Mirzaev, A. A., & Mullodjanova, G. M. (2023, January). The results of the analysis of the accuracy of the permanent satellite state geodetic network in the Republic of Uzbekistan. In *2nd International Conference on Computer Applications for Management and Sustainable Development of Production and Industry (CMSD-II-2022)* (Vol. 12564, pp. 202-207). SPIE.
4. Гура Д.А. «Разработка методов исследования электронных тахеометров в условиях производства для оценки и повышения точности измерения горизонтальных углов» Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. Краснодар 2016г.
5. Михаленко Е.Б. А.Е. Анисимов [и др.] «Исследование работы электронных тахеометров в безотражательном режиме». Студенческий: электрон. научный журнал, г. № 5(5), Санкт-петербург, 2017.
6. Высокоточные угловые измерения/ Аникст Д.А., Константинович К.М., Меськин И.В. и др.; Под ред. Якушенкова Ю.Г., М.: Машиностроение, 1987г.. – с.480.
7. Abdisaidovich, M. A., & Kamola, R. (2020). Prohibition of angular and distance measurement errors of electronic taximeters, which are widely used in Uzbekistan. *International Journal of Psychosocial Rehabilitation*, 24(8), 1742-1746.
8. Suyunov, A., Suyunov, S., & Urokov, O. (2021). Application of GIS on Research of Horizontal Refraction in Polygonometry on Network. In *E3S Web of Conferences* (Vol. 227, p. 04003). EDP Sciences.
9. Suyunov, A., Suyunov, S., Aminjanova, M., & Rakhmatullaeva, K. (2021). Improvement of the method for comparing subsidence of structures using the Fischer's F-test and the Foster-Stuart test. In *E3S Web of Conferences* (Vol. 227, p. 04005). EDP Sciences.
10. Mirzaev, A. A. and Raxmatullaeva, K., Creation of satellite referece geodetic



11. networks in Uzbekistan for high precision geodetic instruments, *International Journal of Advanced Research in Science, Engineering and Technology* 8(10), 11422-11424 (2019).
12. Суюнов, А. С., Тухтамишев, Ш. Ш., & Муллоджанова, Г. М. (2022). ОСОБЕННОСТИ СОЗДАНИЯ МЕТОДИКИ И ПРОГРАММЫ ШУМОВОЙ КАРТЫ ГОРОДА. *Печатается в авторской редакции*, 66.
13. Суюнов, А. С., & Хушмуродов, Ф. М. (2022). ҚАШҚАДАРЁ ВИЛОЯТИНИНГ ЛАЛМИКОР ЕРЛАРИДАН ФЙДАЛАНИШ ИМКОНИАТЛАРИ. *Conferencea*, 35-39.
14. Суюнов, А. С., & Хушмуродов, Ф. М. (2022). ҚАШҚАДАРЁ ВИЛОЯТИНИНГ ЛАЛМИКОР ЕРЛАРИДАН ФЙДАЛАНИШ ИМКОНИАТЛАРИ. *Conferencea*, 35-39.
15. Suyunov, A. S., & Karjavov, Z. K. (2022). The Main Ways to Ensure the Sustainability of the Financial Position of Contracting Construction Organizations in Uzbekistan. *European Journal of Life Safety and Stability* (2660-9630), 97-102.
16. Суюнов, А. С., Тухтамишев, Ш. Ш., & Муллоджанова, Г. М. (2022). ОСОБЕННОСТИ СОЗДАНИЯ МЕТОДИКИ И ПРОГРАММЫ ШУМОВОЙ КАРТЫ ГОРОДА. *Печатается в авторской редакции*, 66.
17. Суюнов, А. С., & Каржавов, З. К. (2021). СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ЖИЛИЩНО-КОММУНАЛЬНОГО ХОЗЯЙСТВА В РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН. *МЕ' MORCHILIK va QURILISH MUAMMOLARI*, 107.
18. Суюнов, А. С., Тухтамишев, Ш. Ш., & Ўроков, О. А. (2021). ШОВҚИН МАНБАЛАРИ, УНИНГ ТАРҚАЛИШНИ ТАДҚИҚ ҚИЛИШ ВА УНИ ТАСВИРЛАШ. *Инновацион технологиялар*, (Спецвыпуск 1), 53-57.
19. Суюнов, А. С., Усманова, Р., & Хушмуродов, Ф. М. (2021). ЛАНДШАФТНО-ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ ПОДХОД К ИЗУЧЕНИЮ АГРОЛАНДСКИХ ВАЛОВ КАШКАДАРЬЙСКОГО ОАЗИСА (НА ПРИМЕРЕ КАШКАДАРЬИНСКОГО ОАЗИСА). *Экономика и социум*, (5-2), 358-365.
20. Suyunov, A., Suyunov, S., Aminjanova, M., & Rakhmatullaeva, K. (2021). Improvement of the method for comparing subsidence of structures using the Fischer's F-test and the Foster-Stuart test. In *E3S Web of Conferences* (Vol. 227, p. 04005). EDP Sciences.
21. Suyunov, A., Suyunov, S., & Urokov, O. (2021). Application of GIS on Research of Horizontal Refraction in Polygonometry on Network. In *E3S Web of Conferences* (Vol. 227, p. 04003). EDP Sciences.