

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
Санкт-Петербургский горный университет

Кафедра инженерной геодезии

ГЕОДЕЗИЧЕСКОЕ
ИНСТРУМЕНТОВЕДЕНИЕ

ЭЛЕКТРОННЫЕ ТАХЕОМЕТРЫ

*Методические указания к самостоятельной работе
для студентов бакалавриата направления 21.03.02*

САНКТ-ПЕТЕРБУРГ
2019

УДК 528.48 (073)

ГЕОДЕЗИЧЕСКОЕ ИНСТРУМЕНТОВЕДЕНИЕ. Электронные тахеометры: Методические указания к самостоятельной работе / Санкт-Петербургский горный университет. Сост. *В.Г. Потюхляев*. СПб, 2019. 17 с.

Методические указания содержат общие сведения по теории и устройству электронных тахеометров.

Предназначены для студентов первого курса направления 21.03.02 «Землеустройство и кадастры», а также могут быть использованы студентами третьего курса специальности 21.05.01 «Прикладная геодезия» для подготовки к зачету или экзамену.

Научный редактор доц. *Ю.Н. Корнилов*

Рецензент доц. *Т.Ю. Терещенко* (Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет)

ВВЕДЕНИЕ

В данных методических указаниях приведены некоторые теоретические сведения по устройству и работе электронных тахеометров, которые можно рассматривать как пример отчета по самостоятельной работе студента-бакалавра при подготовке к дифференцированному зачету. Учитывая широкое разнообразие современных электронно-оптических и электронных приборов, используемых в топографо-геодезическом производстве, и их бурное развитие, в рамках отведенных учебных часов невозможно раскрыть все аспекты, касающиеся, например электронных тахеометров. Исходя из этого, при изучении дисциплины «Геодезическое инструментоведение» является весьма целесообразным самостоятельная проработка этой темы.

При выборе соответствующей темы можно остановиться на конструкции одного из узлов какого-либо электронного тахеометра, принципе его работы, методике полевых измерений и их камеральной обработки.

В качестве рекомендуемой литературы можно использовать все доступные источники, включая руководства пользователя и сайты в Интернете.

Отчет по самостоятельной работе должен быть объемом до 10 печатных листов формата А-4. Для лучшего восприятия представленных в отчете материалов в дополнение к текстовой части необходимо использовать схемы, рисунки и другие формы иллюстраций.

1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Электронные тахеометры – это многофункциональные геодезические приборы, представляющие собой сочетание кодового (электронного) теодолита, встроенного светодальномера и специализированной мини-ЭВМ. С помощью угломерной части определяются горизонтальные и вертикальные углы, светодальномера – расстояния, а ЭВМ решает различные геодезические задачи: обеспечивает управление прибором, контроль результатов измерений и их хранение. Наличие ЭВМ дает возможность занесения в запоминающее

устройство прибора допустимых погрешностей измерений, например коллимационной погрешности, решить типовые геодезические задачи: обратную засечку, уравнивание теодолитного хода, измерение высоты недоступных объектов, вынос в натуру точек по их заданным координатам, вычисление площадей земельных участков, разбивку кривых и т.д.

Существующие электронные тахеометры можно условно разделить на три группы: простейшие, универсальные и роботизированные.

К первой группе относят электронные тахеометры с минимальной автоматизацией и ограниченными встроенными программными функциями. Средние квадратические погрешности измерений составляют: горизонтальных и вертикальных углов $5\dots 10''$, расстояний – $5\dots 10$ мм на 1 км. Электронная память таких тахеометров позволяет хранить в цифровом виде сведения о положении $500\dots 1000$ соответствующих точек, которые могут быть введены на сменную карту памяти.

Ко второй группе можно отнести системы (Total Station), включающие в себя электронный тахеометр и спутниковый приёмник.

К третьей группе принадлежат роботизированные электронные тахеометры, имеющие сервопривод. Соответствующие команды на сервопривод вырабатывают специальные электронные устройства, обеспечивающие автоматическое наведение зрительной трубы тахеометра на отражатель в режиме поиска и слежения.

Тахеометр имеет панель управления (контроллер) и дисплей, на котором индицируются буквенные и цифровые данные. В комплект тахеометра входят отражатель, подставки, источник питания, вехи, штативы, разрядно-зарядные устройства и другие принадлежности.

На российском рынке электронные тахеометры, в основном, представлены такими известными зарубежными фирмами, как: Leica (Швейцария), Sokkia, Topcon, Nikon и Pentax (Япония), Trimbl Navigation (США), Opton, Karl Zeiss (Германия), AGA (Швеция) и др. Отечественные электронные тахеометры (ТаЗМ, 2Та5, 3Та5Р, 3Та5РМ) выпускает ФГУП Уральский оптико-механический завод (УОМЗ), расположенный в г. Екатеринбург.

2. УСТРОЙСТВО ЭЛЕКТРОННЫХ ТАХЕОМЕТРОВ

2.1. КОНСТРУКЦИЯ УГЛОМЕРНОЙ ЧАСТИ

Для преобразования угла или его функции в цифровой код в электронных тахеометрах используется прецизионное устройство – цифровой преобразователь угла (ЦПУ).

Из всех типов ЦПУ (фотоэлектрических, электростатических, электромагнитных, реостатных и ряда других) в геодезических целях наибольшее распространение получили электромагнитные и фотоэлектрические.

Электромагнитные ЦПУ, использующие эффект периодического изменения индуктивности, обладают большой выходной мощностью, высокой помехоустойчивостью и надёжностью работы при больших колебаниях температуры и влажности воздуха.

Фотоэлектрические ЦПУ, в которых используется эффект периодического изменения освещённости, обладают наибольшей точностью, высокой чувствительностью, простотой и надёжностью конфигурации, малыми габаритами и массой, а также другими достоинствами. Вместе с тем они излишне чувствительны к посторонним источникам излучений и, поэтому не всегда достаточно стабильны и надёжны в работе.

Принцип работы электромагнитного ЦПУ, работающего в режиме синусно-косинусного вращающегося трансформатора (СКВТ), можно объяснить по схеме, представленной на рис. 1. При подаче на одну из обмоток статора вращающегося трансформатора напряжения питания U_1 (вращающиеся трансформаторы обычно имеют по две взаимно-перпендикулярные обмотки на роторе и статоре) с обмоток ротора, развёрнутого относительно статора на угол Q , снимаются выходные напряжения:

$$U_2 = U_1 \frac{W_1}{W_2} \sin Q ; \quad (1)$$

$$U_3 = U_1 \frac{W_2}{W_1} \cos Q, \quad (2)$$

где W_1 , W_2 - число витков в каждой из обмоток статора и ротора, Таким образом, при $U_1 = Const$, величины напряжений U_2 и U_3 зависят от угла Q , что дает возможность автоматизировать процесс угловых измерений.

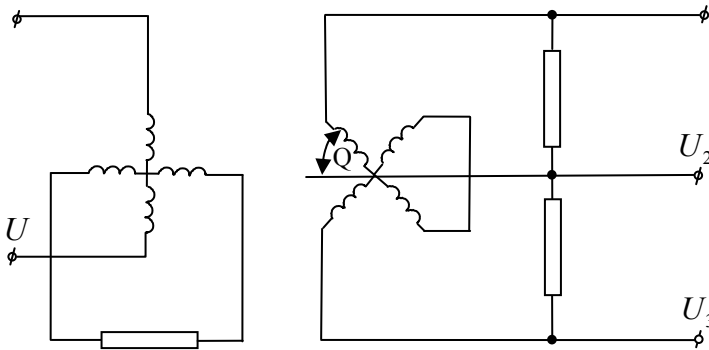


Рис.1. Схема преобразователя в режиме СКВТ

В фотоэлектрических ЦПУ цифровые преобразования угла с непосредственным преобразованием угла в код подразделяются на два вида – с пространственным кодированием и с временным кодированием (накапливающие).

В ЦПУ с пространственным кодированием измеряемая величина сравнивается с кодом маски, нанесенной на вращающийся стеклянный диск, который выполняет роль угломерного круга. Основными элементами рассматриваемого типа ЦПУ являются: источник излучения 1, конденсоры 2, кодирующий диск 3, неподвижная индексная диафрагма 4, приемник излучения 5 и электронный блок 6 (рис. 2).

В качестве источника излучения обычно используются светодиоды. Конденсоры, входящие в состав оптической системы преобразователя, формируют параллельный (на входе) и сходящийся го-

моцентрический (на выходе) пучки лучей. Приемники представляют собой фотодиоды, светочувствительные площадки которых воспринимают световой поток, проходящий через щель диафрагмы. При этом диафрагма с фотоприемником определяют положение условной линии считывания. Электронный блок осуществляет логическую обработку информации об измеряемой величине, т.е. преобразование переменных электрических сигналов (например, амплитуды, фазы или частоты) в цифру.

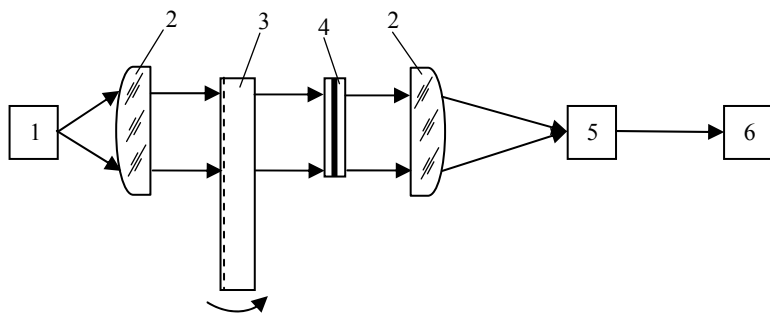


Рис. 2. Устройство ЦПУ с пространственным кодированием

Измерительный кодовый диск представляет собой стеклянную подложку, на которую нанесены концентрические кодовые дорожки с прозрачными и непрозрачными сегментами. Длина сегмента определяет значение единицы (кванта) соответствующего разряда, количество которых зависит от числа кодовых дорожек. Младшему разряду (с большим количеством сегментов), как правило, соответствует внешняя дорожка, а старшему – внутренняя. При двоичном кодировании прохождение света через прозрачный сегмент на выходе фотоприемника принимается за логическую единицу, отсутствие света воспринимается как ноль (рис.3).

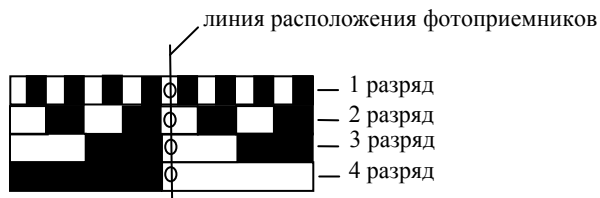


Рис. 3. Схема расположения фотоприемников и сегментов дорожки с двоичным кодированием

Дискретность считывания кодовых дорожек можно определить по формуле

$$\Delta q = \frac{\Delta l \cdot 360^\circ}{\pi D}, \quad (3)$$

где Δl - единица кванта (длина одного штриха); D - диаметр дорожки. Примем для внешней дорожки младшего разряда $D = 100$ мм и $\Delta l = 2$ мкм. Тогда $\Delta q \approx 8,2''$, а соответствующее число разрядов (в данном случае число кодовых дорожек) должно быть порядка 17:

$$\Delta q \cdot 2^n = 360^\circ; \quad (4)$$

$$n = \frac{\log 360^\circ - \log \Delta q}{\log 2} \approx 17. \quad (5)$$

Изготовление дисков с таким количеством кодовых дорожек затруднено, уменьшать единицу кванта за пределы 1,5 мкм технически невозможно, а увеличивать диаметр диска нецелесообразно. Кроме того, на границе сегментов возможно появление грубых ошибок в виду того, что приемники расположены на одной линии считывания (рис.3).

Для устранения указанных недостатков в ЦПУ пространственного типа в настоящее время используют циклический двоичный код – код Грея (рис. 4).

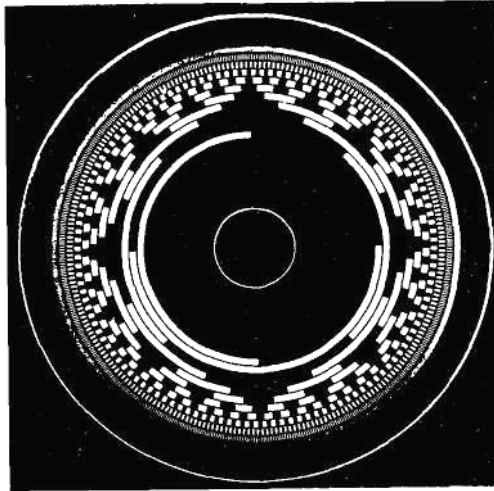


Рис. 4. Измерительный диск (лимб) с кодом Грея

Измерительный диск с кодом Грея применяется в тахеометре НР-3820 (США), принципиальная схема которого приведена на рис.5.

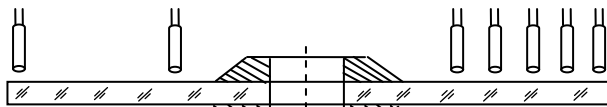


Рис. 5. Принципиальная схема углового преобразователя тахеометра НР-3820 (США)

- 1,4 – диаметрально расположенные считывающие системы точного отсчёта (для устранения влияния эксцентриситета);
- 2 – считывающая система промежуточного (средней точности) отсчёта;
- 3 – считывающая система грубого отсчёта

Кодовый диск содержит для грубого отсчёта с дискретностью отсчитывания $1^{\circ}24'45''$ систему дорожек восьмиразрядного кода Грея напротив приемника 3, для отсчёта средней точности с дискретностью отсчитывания $21'36''$ - штриховую дорожку напротив приемника 2 и для точного отсчёта с дискретностью отсчитывания $0,32''$ - штриховую дорожку напротив приемников 1,4.

Повысить предел разрешающей способности ЦПУ возможно также путем использования преобразователей накопительного типа, в которых все уровни квантования могут быть сформированы на одной кодовой дорожке. Принцип действия таких преобразователей основан на применении в качестве рабочих мер растров и растровых сопряжений.

Фотоэлектрический растровый преобразователь (рис. 6) состоит, как правило, из растрового измерительного звена, включающего подвижный 1 (измерительный) и неподвижный 2 (индикаторный) растры, блок подсветки растрового звена 3, фотоприёмный блок 4, воспринимающий лучевой поток, промодулированный растровым звеном, а также электронный блок 5.

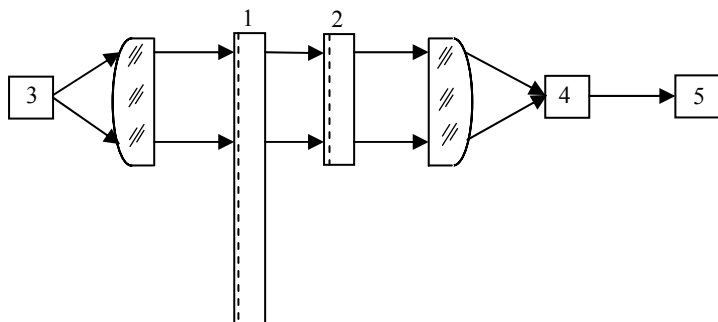


Рис. 6. Устройство фотоэлектрического растрового преобразователя

Если индикаторный растр смещен по отношению к измерительному на угол $\varphi \leq 30^\circ$, то при взаимном перемещении растров образуется муаровая картина (рис.7), которая анализируется фотоприёмным блоком. Поскольку положение комбинационных полос в муаровой картине будет изменяться по определённому закону, то появляется возможность подсчета числа этих полос и, в конечном итоге, определения величины перемещения (поворота) подвижного растра.

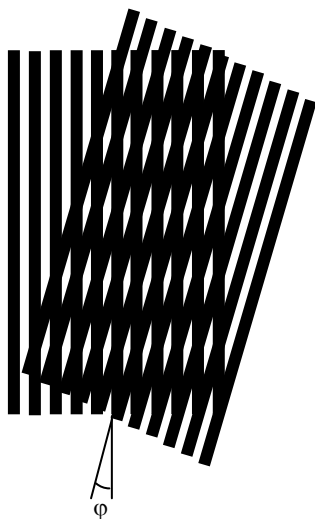


Рис.7. Принцип образования муарового эффекта

Растровые преобразователи используются в отечественных тахеометрах типа ТЗМ и Та5. На рис. 8 приведена схема растрового преобразователя угла электронного тахеометра ЗТа5 с двухсторонним сопряжённым отсчитыванием.

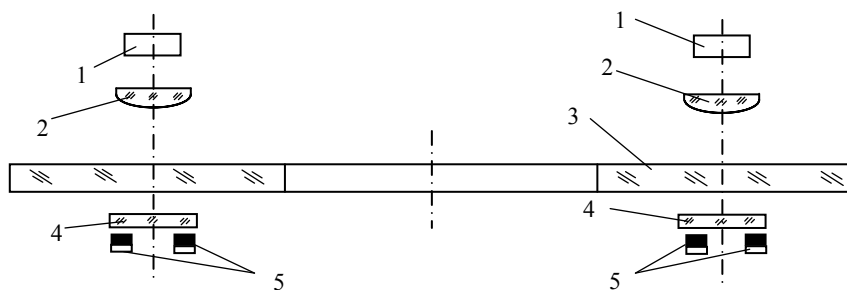


Рис.8. Принципиальная схема первичного преобразователя с двумя сопряжёнными растрами:

- 1 – источники излучения; 2 – конденсоры; 3 – измерительный подвижный растр (лимб); 4 – индикаторные растровые решетки; 5 – приёмники излучения (фотодиоды)

2.2. КОНСТРУКЦИЯ ДАЛЬНОМЕРНОЙ ЧАСТИ

В настоящее время известны два направления создания электронных тахеометров: оснащение серийно выпускаемых кодовых теодолитов светодальномерным блоком (тахеометр на базе цифрового теодолита «Вектрон» и светодальномера «Авторейнджер» (США), разработка приборов, в которых угломерная и дальномерная системы конструктивно совмещены, а вычислительное устройство расположено внутри прибора (тахеометры фирм «Leica», «Trimbl», AGA» и др).

В дальномерной части электронных тахеометров реализован принцип определения расстояний по времени распространения электромагнитных волн источника излучения (в современных тахеометрах в качестве источника излучения используется полупроводниковый лазер на основе арсенида галлия (AsGa), которые могут работать в двух режимах – импульсного и непрерывного излучения):

$$D = \frac{V}{2} \tau, \quad (6)$$

где V - скорость распространения электромагнитных волн; τ - время

их прохождения вдоль измеряемой линии от приёмопередатчика до отражателя и обратно.

По методу определения времени распространения электромагнитных волн различают дальномеры: импульсные и фазовые.

В импульсных дальномерах счёт времени ведётся посредством счёта импульсов генератора с момента запуска сигнала на дистанцию до момента приёма отраженного сигнала. Зафиксировать с достаточной точностью моменты запуска и приёма импульсов технически сложно, поэтому импульсные дальномеры дают невысокую точность измерения расстояний (от 1 до 10 м) и обычно используются как локаторы (радары), например, в качестве высотомеров при аэрофотосъёмке местности.

В фазовых светодальномерах вместо индикатора времени используется индикатор фаз. Измеряемое расстояние в этом случае определяют по формуле

$$D = \frac{V}{2f}(N + \Delta N) = \frac{\lambda}{2}(N + \Delta N), \quad (7)$$

где f - масштабная частота колебания электромагнитных волн; λ - период колебания; N - целое число фазовых циклов; ΔN - дробное число циклов. Поскольку фазоизмерительные устройства позволяют определить разность фаз только в пределах одного периода (от 0 до 2π), то для разрешения неоднозначности в определении целого числа фазовых циклов N одно и то же расстояние измеряют на нескольких масштабных частотах (не менее трёх). При этом частоты подбирают таким образом, чтобы $f_1 < f_2 < f_3$.

Блок-схема фазового светодальномера приведена на рис. 9. Излучение источника света или лазера модулируется переменным током высокой частоты при помощи специального генератора, который вырабатывает колебания масштабной частоты в диапазоне от 7,5 до 75 МГц. Частота этих колебаний определяет длину волны (от 40 до 4 м), на которой целесообразно измерять разность фаз. Однако волны этого диапазона распространяются не прямолинейно, а также могут сильно искривляться, огибая препятствия, и отражаться земной поверхностью и слоями воздуха. Поэтому в модуляторе происходит преобразования излучения (модулирование) в сверхвы-

сокочастотные (несущие) колебания от 3000 до 36000 МГц. Посредством передающей оптической системы модулированные колебания направляются на отражатель и возвращаются к излучателю, где принимаются приёмной оптической системой и направляются на фотоэлемент, превращающий световой сигнал в электрический ток. После соответствующего усиления этот сигнал направляется в измерительный блок, где сопоставляется с опорным сигналом масштабной частоты, поступающим от генератора. В результате сопоставления сигналов определяется их разность фаз.

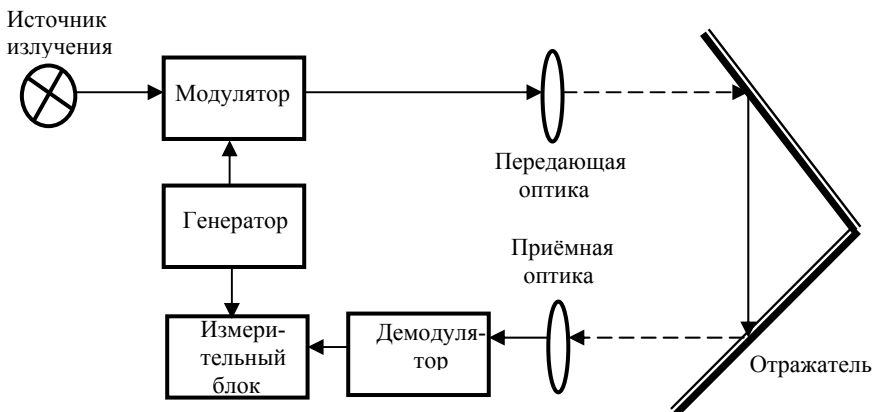


Рис.9. Блок-схема светодальномер

Принципиальная оптическая схема дальномерного блока электронного тахеометра 4Та5 приведена на рис.10. В режиме «Дистанция» световой поток от полупроводникового лазера 1 при открытой шторке 2 через призму 6, микрообъективы 7 и 8, зеркало 9, коллектив 10, отражаясь от зеркала 11, уходит на призмный отражатель (на схеме не показан). Отраженный от отражателя световой поток через призму-куб 13, прямоугольную призму 18, пройдя полупрозрачное покрытие призмы 19, попадает на световод 4 и после него на приемник излучения 5. В режиме «Короткого замыкания» световой поток от источника излучения 1, отражаясь от зеркального покрытия шторки 2, через аттенюатор 20 и ромб-призму 3 сразу попадает на световод 4 и на приёмник излучения (ПИ) 5.

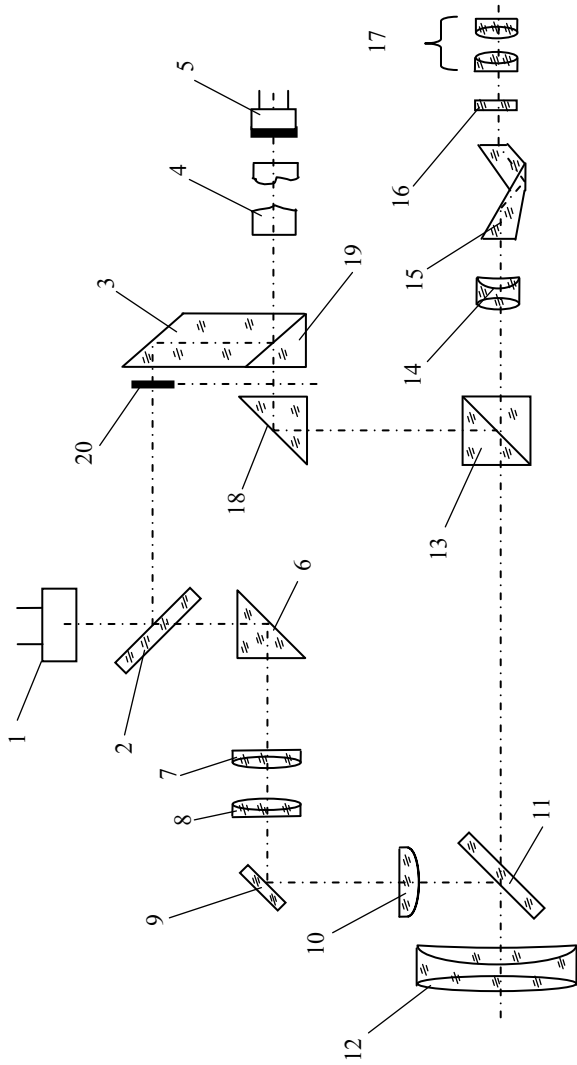


Рис.10. Принципиальная оптическая схема дальномерного блока электронного тахеометра 4Тa5:

1 – лазерный диод; 2 – шторка; 3 – ромб-призма; 4 – световод; 5 – ПИ; 6,18,19 – трёхгранные призмы; 7,8 – микрообъективы; 9,11 – зеркала; 10 – коллектив; 12 – объектив; 13 – куб-призма; 14 – фокусирующий компонент; 15 – обрабатывающая система; 16 – сетка нитей; 17 – окуляр; 20 – аттенуат

Одним из источников погрешностей, носящих приборный характер, является невыполнение некоторых геометрических условий, например несовпадение вертикальной оси приёмопередающей части дальномера с источником излучения, а также вертикальной оси отражателя с отражающей поверхностью отражательных оптических систем. Рассматриваемая часть общей погрешности измерений называется постоянной поправкой.

В общем виде средняя квадратическая погрешность измерения расстояний фазовыми дальномерами характеризуется уравнением

$$m_D = \sqrt{k_1 + k_2 D^2 + k_3 D} \quad (8)$$

где k_1 , k_2 , k_3 - коэффициенты, величины которых зависят соответственно от точности определения постоянной поправки, влияния внешней среды и погрешностей фазометрического устройства.

На практике для характеристики точности измерений используется линейная аппроксимация кривой, соответствующая приведенному выше уравнению:

$$m_D = k_1 + k_2 D. \quad (9)$$

В качестве отражателей чаще всего применяют трипель-призмы, которые не требуют по сравнению с обычными плоскими зеркалами точной ориентировки в направлении измеряемой линии (рис. 11). В трипель-призме три её грани взаимно перпендикулярны и образуют пространственный угол. Каждый из входящих в призму лучей претерпевает полное внутреннее отражение от всех трёх её граней и выходит обратно в направлении, параллельном первоначальному. При повороте трипель-призмы относительно любой из осей направление отражённого луча остается неизменным.

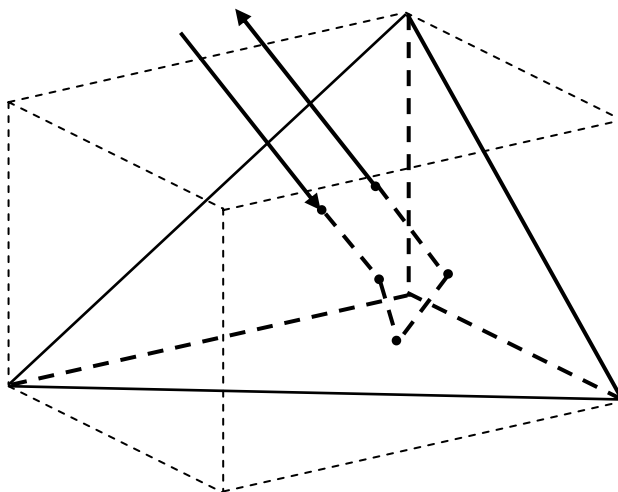


Рис.11. Трипель-призма (тройное зеркало)

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ямбаев Х.К., Голыгин Н.К. Геодезическое инструментоведение. Практикум: Учеб. пособие для вузов.-М.: «ЮКИС», 2005.
2. Руководство пользователя. Электронный тахеометр Trimble МЗ. Версия 1.00. Редакция А. Артикул С192Е. 2006.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	3
1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ.....	3
2. УСТРОЙСТВО ЭЛЕКТРОННЫХ ТАХЕОМЕТРОВ.....	5
2.1. КОНСТРУКЦИЯ УГЛОМЕРНОЙ ЧАСТИ.....	5
2.2. КОНСТРУКЦИЯ ДАЛЬНОМЕРНОЙ ЧАСТИ.....	12
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	17

**ГЕОДЕЗИЧЕСКОЕ
ИНСТРУМЕНТОВЕДЕНИЕ**

ЭЛЕКТРОННЫЕ ТАХЕОМЕТРЫ

*Методические указания к самостоятельной работе
для студентов бакалавриата направления 21.03.02*

Сост. В.Г. Потюхляев

Печатается с оригинал-макета, подготовленного кафедрой
инженерной геодезии

Ответственный за выпуск *В.Г. Потюхляев*

Лицензия ИД № 06517 от 09.01.2002

Подписано к печати 14.05.2019. Формат 60×84/16.
Усл. печ. л. 1,1. Усл.кр.-отт. 1,1. Уч.-изд.л. 1,0. Тираж 50 экз. Заказ 435. С 167.

Санкт-Петербургский горный университет
РИЦ Санкт-Петербургского горного университета
Адрес университета и РИЦ: 199106 Санкт-Петербург, 21-я линия, 2