

**Авторы:**

**Тютюков Антон Сергеевич**

студент

**Чистогова Виктория Александровна**

студентка

**Научный руководитель:**

**Богданец Евгений Сергеевич**

старший преподаватель

ФГБОУ ВО «Пермский национальный

исследовательский политехнический университет»

г. Пермь, Пермский край

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ЛАЗЕРНОГО ДАЛЬНОМЕРА ЭЛЕКТРОННОГО ТАХЕОМЕТРА LEICA FLEXLINE TS06PLUS**

**Аннотация:** в статье проанализированы два различных режима измерения расстояний электронного тахеометра. Исследованы основные составляющие СКП измерения расстояния и значения этих составляющих при режимах «Грубо» и «Точно».

**Ключевые слова:** электронный тахеометр, дальномер, средняя квадратическая погрешность, ошибка центрирования, PPM.

Неотъемлемой частью геодезических и маркшейдерских работ является измерение расстояний. В настоящее время для этого все больше используются лазерные дальномеры, которые определяя дальность нахождения объекта, используют непрерывное электромагнитное излучение.

Все текущие методы измерения расстояний имеют одну общую особенность – лазерный луч видимого диапазона, посылаемый диодом и соосный оптической оси. Отраженный свет фиксируется чувствительным фотодатчиком и преобразуется в электрический сигнал. После анализа этого сигнала одним из различных методов определяется расстояние до объекта.

### *Время прохождения сигнала (импульсный дальномер)*

В импульсных дальномерах вычисляется расстояние на основании времени, которое необходимо световому лучу для преодоления расстояния от прибора до объекта и обратно. Как только был послан световой импульс, запускается таймер и активизируется фотодатчик, ожидающий входящего сигнала. Если обнаруженный световой импульс превышает специальное пороговое значение, тогда этот импульс будет распознан как сигнал, отраженный от цели, и для расчета расстояния будет использована информация о времени. Так, при импульсном методе дальнометрирования используется соотношение:

$$L = \frac{ct}{2n}$$

где  $L$  – расстояние до объекта,  $c$  – скорость света в вакууме,  $n$  – показатель преломления среды, в которой распространяется излучение,  $t$  – время прохождения импульса до цели и обратно [1, с. 6].

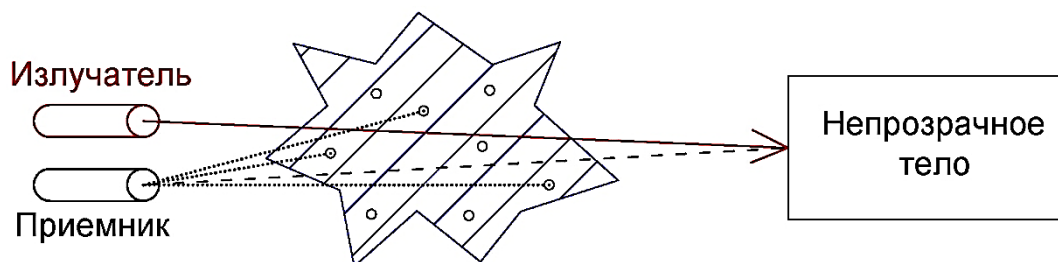


Рис. 1. Схема работы импульсного дальномера

Импульсный дальномер характеризуется:

- минимальное время измерения;
- большой размер лазерного пятна;
- низкая точность измерения;
- измерения (одиночный режим) отсутствуют, если слишком низкое соотношение сигнал-шум.

### *Фазовый сдвиг (фазовый дальномер).*

В этом методе, в отличие от предыдущего, лазер работает постоянно, но его излучение амплитудно модулируется сигналом определенной частоты (обычно

это частоты меньше 500МГц). Длина волны лазера при этом остается неизменной (обычно выбирается лазер 500–1100 нм).

Отраженное от объекта излучение принимается фотоприемником, и его фаза сравнивается с фазой опорного сигнала – от лазера. Наличие задержки при распространении волны создает сдвиг фаз, который и измеряется дальномером.

Расстояние определяется по формуле:

$$L = \frac{c}{2f} * \frac{\varphi}{2\pi}$$

где  $c$  – скорость света,  $f$  – частота модуляции лазера,  $\varphi$ - фазовый сдвиг [1, с. 43].

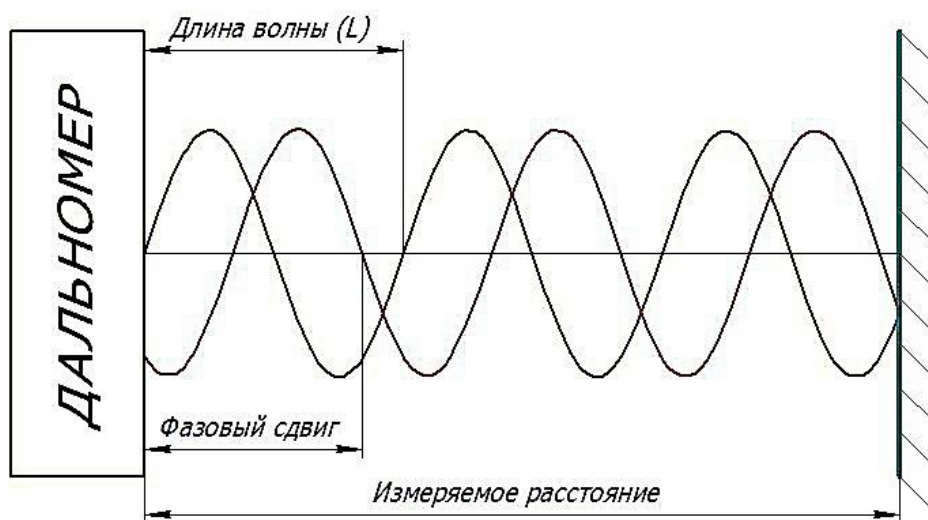


Рис. 2. Схема работы фазового дальномера

Фазовый дальномер характеризуется:

- длительное время измерения;
- малое лазерное пятно;
- наиболее высокая точность измерения.

Стоит отметить, что полученные измерения содержат несколько погрешностей.

$$m = m_{\text{ц}} + m_{\text{инстр}} + m_{\text{атм}}$$

$m$  – общая ошибка измерения расстояний;

$m_{\text{ц}}$  – ошибка центрирования;

$m_{\text{инстр}}$  – ошибка измерения расстояния дальномером;

$m_{\text{атм}}$  – поправка за атмосферные условия.

Далее мы изучим каждую составляющую этого уравнения.

*Определение ошибки измерения расстояния дальномером ( $m_{\text{инстр}}$ )*

Лазерный дальномер имеет погрешности в измерениях, которые зависят от многих факторов [2]:

- при возникновении препятствий на пути распространения луча к объекту, например, проезжающая машина сильный дождь, туман или снег, инструмент может измерить расстояние до такой помехи, а не до нужного объекта;

- если лазерный луч попадает на объекты вблизи пути его распространения, например, на сильно отражающие поверхности;

- выполнение безотражательных измерений на сильно отражающие объекты, такие как, например – дорожные знаки. Такие измерения могут быть очень неточными;

- зависимость точности измерений от атмосферных условий (видимость, освещенность, колебания воздуха, погода);

- зависимость от типа наблюдаемого объекта и общей ситуации при выполнении измерений.

В современных тахеометрах существует большое количество режимов для измерения расстояний с помощью лазерных дальномеров. Есть режимы, как с использованием отражателей, так и безотражательные. Среднеквадратическая погрешность измерения расстояний в безотражательном режиме значительно выше, чем при использовании отражателя. Но и при измерении расстояний с отражателями существуют несколько различных режимов. Условно их можно разделить на режимы «Грубо» и «Точно». В нашем исследовании мы решили выяснить, как отличается СКП этих двух режимов. Используя тахеометр Leica Flexline TS06, мы произвели измерение расстояний различной длины при помощи этих двух режимов, каждый раз увеличивая расстояние на 15 метров. Всего на каждом измеряемом отрезке было взято по 40 отчетов, 20 отчетов в режиме грубо и 20 в режиме точно.

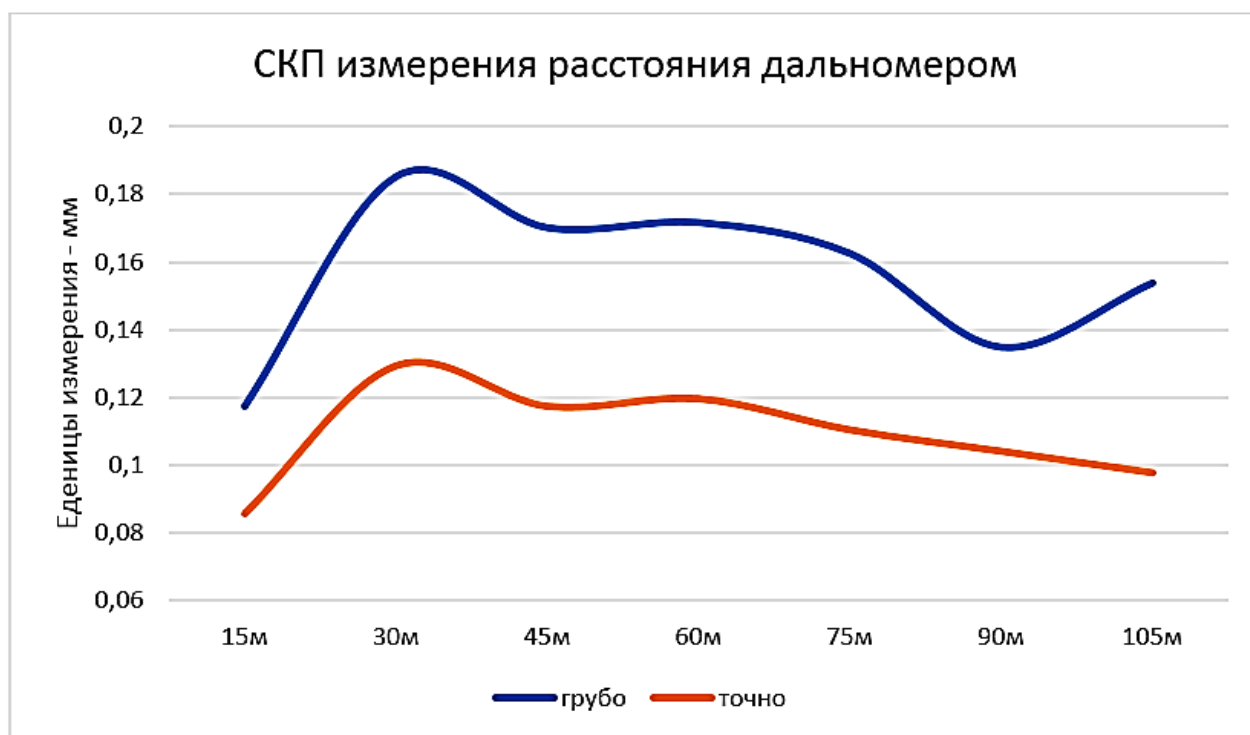


Рис. 3. СКП измерения расстояния дальномером в режиме «Точно» и «Грубо»

На этом графике мы видим, что СКП измерения расстояний в режиме грубо превышает СКП измерения расстояний в режиме точно на любом из участков. Максимальная и минимальная ошибка измерения расстояния в режиме «Грубо» 0,18мм и 0,11мм соответственно. В режиме «Точно» 0,12 мм и 0,086 мм.

Можно вычислить время взятия отсчета в режиме «Грубо» и «Точно». Засекаем время взятия 10 отсчетов друг за другом и делим полученное время на 10, получаем время взятия одного отсчета. Получены результаты: режим «Грубо» – 1,75 сек, режим «Точно» – 2,6 сек.

*Определение ошибки центрирования ( $m_{\text{ц}}$ )*

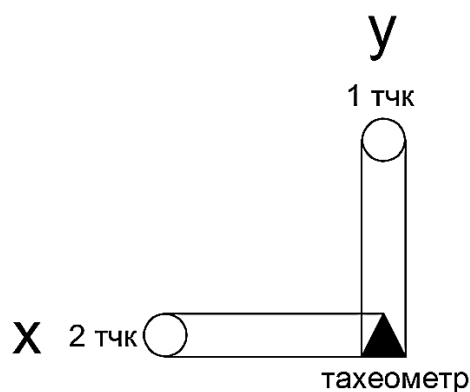


Рис. 4. Схема определения ошибки центрирования

При определении ошибки центрирования тахеометр был отцентрирован над точкой, рядом с ним под углом 90 градусов и на расстоянии 3 метра было выставлено 2 отражателя. При КЛ и КП было взято по 3 отчета в режиме «Грубо» и по 3 отчета в режиме «Точно». Затем закрепительный винт подставки тахеометра откреплялся, и прибор поворачивался приблизительно на 60 градусов. После этого выполнялось повторное центрирование над точкой, и производились те же самые действия, описанные выше. В результате из полученных измерений была определена ошибка центрирования, которая в нашем первом измерении была исключена.

Было найдено СКП в режиме «Грубо» и «Точно» на точку 1 и 2. ( $m_x$  и  $m_y$ ). Из которых была найдена общая ошибка центрирования.

$$m_{\text{ц}} = \sqrt{m_x^2 + m_y^2} = 0.38 \text{ мм}$$

#### *Определение поправки за атмосферные условия ( $m_{\text{атм}}$ )*

В реальности измерения выполняются в самых разных атмосферных условиях. Вследствие этого возникает задача учета влияния отличия реальных атмосферных условий от стандартных условий. Это влияние учитывается поправкой за атмосферные условия –  $ppm$ , которую необходимо вводить в измеренное значение длины линии  $D_{\text{изм}}$ , чтобы получить реальное значение длины этой же линии  $D$  [2].

$$D = D_{\text{изм}} * (1 + ppm * 10^{-6}),$$

где  $D_{\text{изм}}$  – непосредственно измеренная наклонная дальность интервала с учетом постоянных электронного дальномера и призм, м;

$ppm$  – пропорциональная поправка, мм/км, рассчитываемая с учетом преобладающих во время выполнения измерений атмосферных условий по формуле:

$$ppm = 286.34 - \frac{0.29525p}{1 + \frac{t}{273.15}} - \frac{4.126 \cdot 10^{-4}h}{1 + \frac{t}{273.15}} * 10^{\frac{7.5t}{237.3+t} + 0.7857},$$

где  $p$  – атмосферное давление, мбар;  $t$  – температура воздуха, °C;  $h$  – относительная влажность, %.

При наших лабораторных условиях  $ppm = 19.5 \text{ мм / км}$ .

### Определение общей СКП измерения расстояний дальномером ( $m$ )

На основании проведенных исследований посчитаем общую ошибку измерения расстояний:

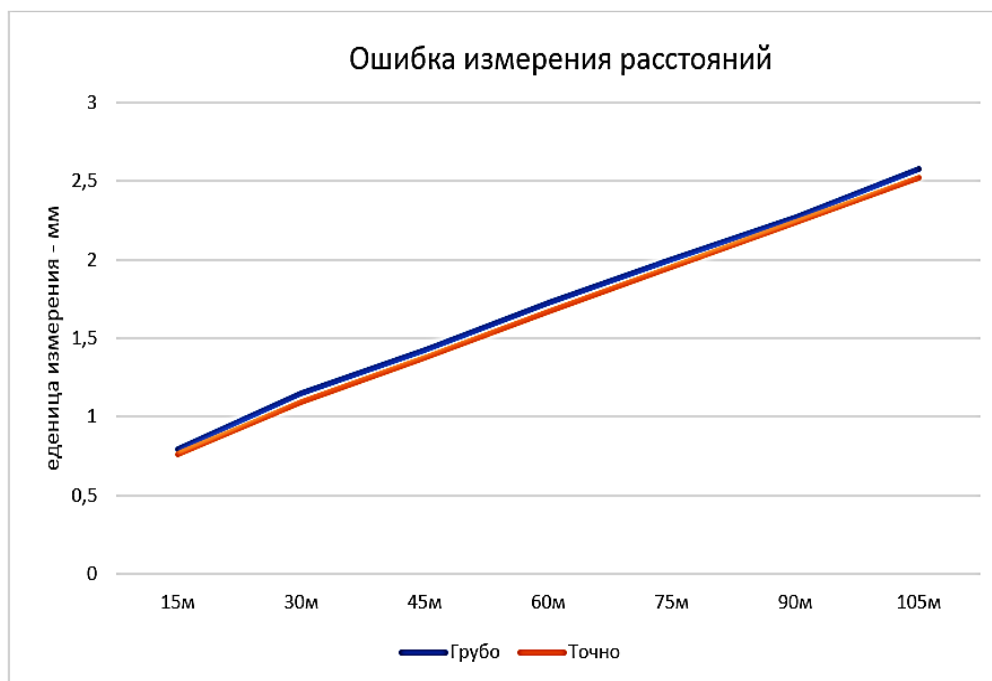


Рис. 5. Ошибка измерения расстояний в режимах «Грубо» и «Точно»

Из исследования видно, что графики «Грубо» и «Точно» можно описать уравнением:

$$m_{\text{точно}} = 0,49 + ppm$$

$$m_{\text{грубо}} = 0,54 + ppm$$

Можно сделать вывод, что режим работы дальномера незначительно влияет на точность измерения расстояния, так как основную часть ошибки составляет ошибка центрирования. Так же следует отметить, что важно учитывать атмосферную поправку, так как она прямо пропорциональна увеличению расстояния. РРМ является отдельной величиной, не учитывая которую мы получаем большую ошибку измерения расстояния, но это не влияет на точность выполнения тахеометрической съемки, при выполнении которых целесообразнее будет вос-

пользоваться режимом «Грубо» для экономии времени. Так как при этом экономия времени составляет 14,2 минут на 1000 пикетов, только за счет изменения режима дальногомера.

### ***Список литературы***

1. Лазерные приборы и методы измерения дальности: Учеб. пособ. / В.Б. Бокшанский, Д.А. Бондаренко, М.В. Вязовых [и др.]; под ред. В.Е. Карасика. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2012. – 43 с.

2. Leica FlexLine TS02/TS06/TS09 Руководство по эксплуатации [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://ugt.ur.ru/documents/manuals/FlexLine\\_UserManual\\_v3\\_ru.pdf](http://ugt.ur.ru/documents/manuals/FlexLine_UserManual_v3_ru.pdf)