

# **ТЕМА: ЛИНЕЙНЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ НА МЕСТНОСТИ(прочитать лекцию выписать все , что выделено красным цветом)**

## **План**

1. Приборы непосредственного измерения линий.
2. Физико-оптические приборы.

## **ВВЕДЕНИЕ**

Измерения линий на местности могут выполняться непосредственно, путем откладывания мерного прибора в створе измеряемой линии, с помощью специальных приборов дальномеров и косвенно. Косвенным методом измеряют вспомогательные параметры (углы, базисы), а длину вычисляют по формулам. Приборы, используемые для линейных измерений, условно делят на две большие группы: механические и физико-оптические.

### **1. ПРИБОРЫ НЕПОСРЕДСТВЕННОГО ИЗМЕРЕНИЯ ЛИНИЙ**

Для измерения длин линий посредством откладывания мерного прибора используют стальные мерные ленты, рулетки, тросы, длинномеры, инварные проволоки и др.

#### **1.1. Землемерные ленты**

*Землемерные ленты* изготавливают длиной 20 м, 24 м и 50 м. Обозначают землемерные ленты буквами ЛЗ (лента землемерная) и ЛЗШ (лента землемерная штриховая). Изготавливают их из стальной полосы, которая наматывается на барабан. На обоих концах ленты имеются рукоятки, предназначенные для выравнивания полосы на поверхности земли и обеспечения необходимого натяжения при измерениях силой 10 кг.



Рис. 1. Землемерные ленты

Лента землемерная разделена на метры и дециметры. Метры обозначены ромбическими пластинами с порядковыми номерами метров. Необходимо помнить, что на разных сторонах полотна ленты надписи возрастают в противоположных направлениях. С одной стороны в прямом (1, 2, 3,..., 19), с другой – в обратном (19, 18, 17,...) порядке. Полуметры обозначены заклепками, дециметры – круглыми отверстиями.

Лента хранится в свернутом положении на специальном кольце. Сворачивая или снимая ленту с кольца, необходимо избегать образования петель.

В комплект ленты входят 11 или 6 шпилек (рис.2, б).

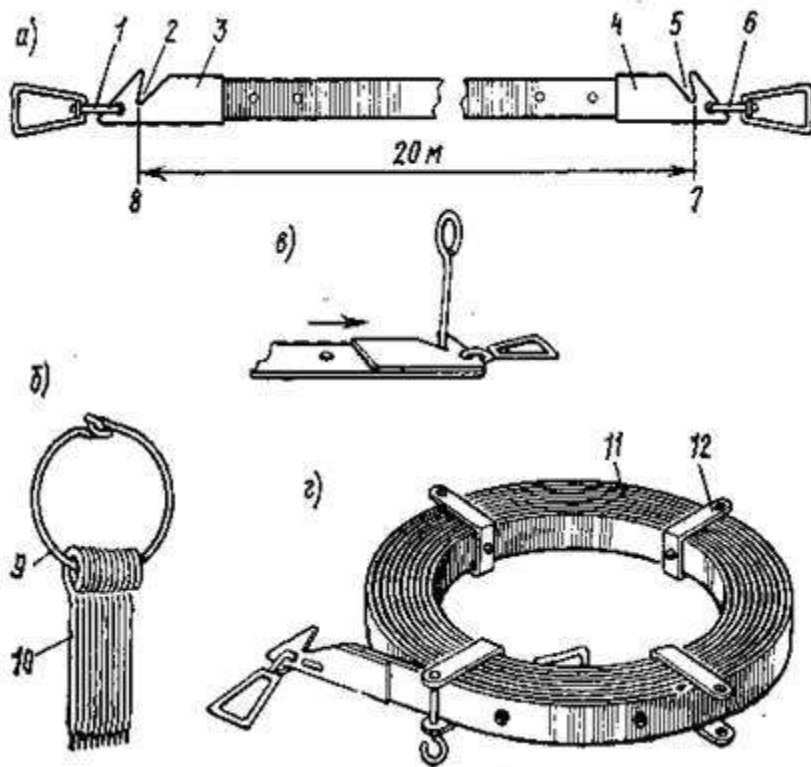


Рис.2. Землемерная лента.

Ленту перед измерениями *компарировуют*, т. е. *сравнивают ее с эталонной (нормальной) мерой*. Выполняют сравнение на *полевом компараторе*. *Полевой компаратор* – это линия на ровной местности длиной 100 – 200 м. Концы компаратора закрепляют для долговременной сохранности вкопанными вровень с землей бетонными пилонами (пирамидками), в верхние срезы которых вмурованы металлические марки с крестообразной насечкой. Длину компаратора (расстояние между марками) определяют при помощи контрольной ленты, длина которой известна с высокой точностью. Сравнив длину компаратора  $l_k$  с длиной, измеренной рабочей лентой  $l_p$ , получают погрешность рабочей ленты за компарирование:

$$\Delta_k = \frac{l_p - l_k}{n}$$

где  $n$  – число уложений рабочей ленты в длине компаратора.

Например,

$$l_k = 119,917 \text{ м}; l_p = 119,792 \text{ м}; n = 6; \Delta_k = (119,792 - 119,917) : 6 = -0,021 \text{ м}.$$

Поправка в расстояние, измеренное рабочей лентой, по величине будет равна погрешности за компарирование, но иметь обратный знак

$$\sigma_k = - \Delta_k$$

Результат измерения линии с поправкой за компарирование вычисляют по формуле

$$S = S_{изм} + \rho \sigma_k$$

Поправку за компарирование учитывают тогда, когда длина ленты отличается от своего номинального значения больше чем на  $\pm 2$  мм.

## 1.2. Рулетки

Для измерения расстояний на местности применяют рулетки, изготовленные из различных материалов: тесьма, ПВХ, стекловолокно, сталь и др. Длина рулетки может составлять от 3 до 100 м. Условное обозначение рулеток должно состоять из номинальной длины шкалы, материала ленты, класса точности, конструктивного изготовления вытяжного конца ленты и обозначения настоящего стандарта. Шкалы рулеток наносят с миллиметровыми, сантиметровыми, дециметровыми и метровыми интервалами. По точности нанесения шкал рулетки могут изготавливаться двух классов: 3-го и 2-го классов.

Рулетки должны быть работоспособны при температуре плюс  $50^{\circ}\text{C}$  до минус  $40^{\circ}\text{C}$  и относительной влажности 98% при плюс  $20^{\circ}\text{C}$ .

Рулетки в зависимости от класса точности и материала изготовления обеспечивают производство линейных измерений с относительными ошибками от 1 : 2000 до 1 : 20 000. При измерениях повышенной точности необходимы тщательное компарирование рулетки, измерение и учет температуры, а также постоянство натяжения.



Рис. 3. Рулетка геодезическая из ПВХ



Рис. 4. Рулетки геодезические металлические



Рис. 5. Рулетка геодезическая из стекловолокна

### **1.3. Длинномер**

*Длинномер* относят к подвесным мерным приборам. В длинномере стальную проволоку натягивают между двумя фиксированными на местности точками. По

проволоке в процессе измерения прокатывают устройство, основными элементами которого являются мерный диск и счетный механизм, позволяющий установить количество оборотов диска на прокатываемом отрезке проволоки (рис.6).

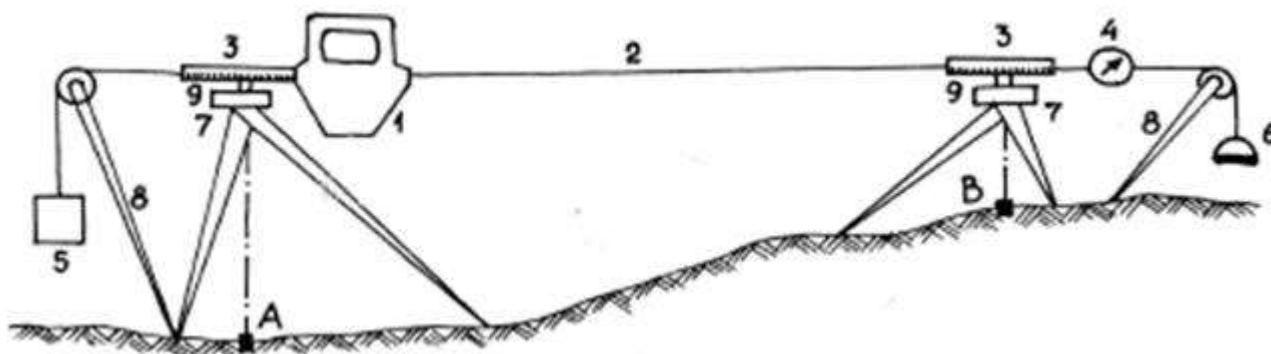


Рис.6. Схема измерения расстояния длинномером.

1 – длинномер; 2 – проволока; 3 – шкалы; 4 – динамометр; 5 – груз;

6 – стремя; 7 – штативы; 8 – раздвижные стойки-упоры; 9 – оптический центрир

#### 1.4. Инварная проволока

*Инварная проволока* (сплав железа с никелем, обладает малым температурным коэффициентом линейного расширения), как и длинномер, представляет собой подвесной мерный прибор. В процессе измерения, ее основная часть – 24-метровая проволока, последовательно натягивается между соседними штативами, равномерно расставленными вдоль линии. Измерение длин линий инварными проволоками отличается высокой точностью, но требует больших затрат труда и времени.

#### 1.5. Жезлы

*Жезлы* представляют собой профилированные металлические линейки с делениями 0,1 мм и встроенным в корпус линейки термометром. В длину жезла вводят поправку за температуру, если она будет отличаться от температуры, при которой определялась длина жезла при компарировании. Номинальная длина жезлов стандартная – 2 и 3 м. Жезлы используют для компарирования рулеток, их шкал, а также шкал и интервалов нивелирных реек различной точности и назначения, для точных разбивок базисов на местности.



Рис. 7. Жезл измерительный

## 2. ФИЗИКО-ОПТИЧЕСКИЕ ПРИБОРЫ

### 2.1. Оптические дальномеры

*Оптическим дальномером называют прибор, в котором для определения расстояний используются оптические элементы. Из оптических дальномеров наибольшее распространение получили нитяной дальномер и дальномеры с переменной базой и переменным параллактическим углом.*

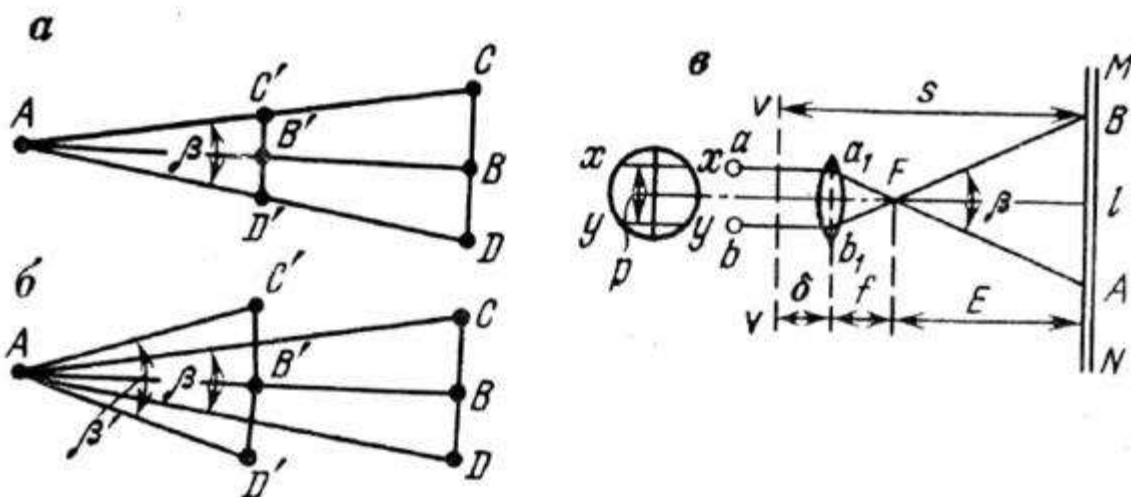


Рис. 8. Схемы измерения расстояний оптическими дальномерами  
 а – с постоянным параллактическим углом; б – с переменным параллактическим углом;

в – с использованием нитяного дальномера

$VV$  – вертикальная ось вращения прибора;  $\delta$  – расстояние от оси вращения прибора до центра объектива;  $p$  – расстояние между дальномерными нитями;  $E$  – расстояние от переднего фокуса до рейки;  $S$  – общее расстояние от оси вращения прибора до рейки

*Нитяной дальномер* имеется практически во всех геодезических приборах (теодолитах, нивелирах). Сетка нитей зрительной трубы содержит две дальномерные нити, проекция которых через зрительную трубу в пространство предмета образует параллактический угол

$$\beta_{\text{н}} = \arctg \frac{a}{2f},$$

где  $a$  – расстояние между дальномерными нитями на сетке нитей;  $f$  – фокусное расстояние объектива зрительной трубы.

При определении расстояний нитяным дальномером используют рейки  $MN$  (рис.8, в).с сантиметровыми делениями, по которым берут отсчет  $l$  (число видимых в зрительную трубу сантиметров между проекциями дальномерных нитей). Дальномерное расстояние рассчитывают по формуле

$$D = Kl + c,$$

где  $K = 100$  – коэффициент дальномера;  $c = (\delta + f)$  – постоянная нитяного дальномера (для большинства приборов  $c$  близка к нулю).

Коэффициент дальномера зависит от величины параллактического угла и фокусного расстояния. В связи с тем, что при фокусировании на различные расстояния значение фокусного расстояния у зрительных труб с внутренней фокусировкой несколько изменяется, то и коэффициент  $K$  может оказаться не равным 100. Кроме того, и значение  $c$  может отличаться от нуля. Для повышения точности измерения расстояний выполняют поверку значения  $K$  с целью установления зависимости  $F = K(D)$ .

Для выполнения поверки нитяного дальномера на местности выполняют разбивку створной линии через 20 м (до 200 – 250 м) и последовательно определяют



значения  $D_{20}, D_{40}, \dots, D_n$  по нитяному дальномеру для получения значений  $K_{20}, K_{40}, \dots, K_n$ .

$$K_i = \frac{D_{i(\text{измеренное})}}{D_{i(\text{номинальное})}}$$

Составляют таблицу  $K(D)$ , которую используют затем при измерениях интерполированием значений  $K$  для текущего расстояния. Точность нитяного дальномера примерно составляет 1:300 от измеренного расстояния. Длинные линии целесообразно измерять короткими отрезками длиной 50 – 100 м. Точность измерений в этом случае может достигать 1: 600 и даже 1:1000. Чаще всего нитяной дальномер используют при определении дальномерных расстояний до точек при тахеометрической съемке.

*Дальномер с постоянным параллактическим углом* представляет собой насадку к теодолитам Т15 и Т30. Он служит для измерения расстояния по вертикально установленной рейке, имеющей установочный уровень. Погрешность измерений составляет 1:2000. Диапазон измеряемых расстояний от 20 до 120 м. Измерительная рейка снабжена шкалой с делениями 2 см. Длина рейки 1,5 м. Применяют дальномер при прокладке теодолитных ходов и при съемке на пересеченной местности. Насадка дальномера автоматически приводит (редуцирует) наклонные до  $10^\circ$  расстояния к горизонту. Если наклон линий больше  $10^\circ$ , то в измеренное расстояние вводят дополнительно поправку, определяемую по специальной номограмме.

*Дальномеры с переменным параллактическим углом* изготавливаются, так же, как и дальномеры с постоянным параллактическим углом, в виде насадок на теодолит. В комплекте с ними применяют горизонтальные рейки с базисом 2 м и 0,4 м (Д-2) и 1,018 м и 0,550 м (ДН-8). Один из базисов образован визирными целями 1 и 7, второй – визирными целями 3 и 6 (рис. 9). Рейку устанавливают на штатив и приводят в горизонтальное положение с помощью круглого уровня 5. Наведение на рейку выполняют по центральной марке 4. Кроме насадок, указанные приборы могут выпускаться и как самостоятельные дальномеры.

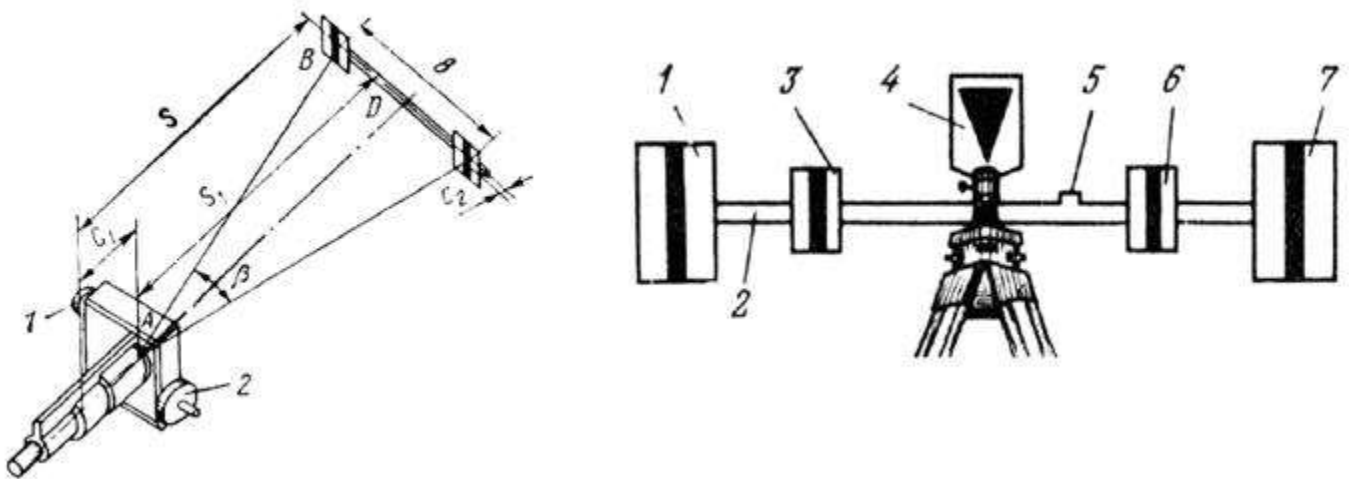


Рис.9. Схема дальномера с постоянным параллактическим углом

## 2.2. Электромагнитные дальномеры

*Электромагнитные дальномеры* – это устройства для измерения расстояний по времени распространения электромагнитных волн между конечными точками линии. При этом предполагается, что скорость распространения электромагнитных колебаний в момент измерений известна и постоянна. Для определения скорости распространения электромагнитных волн в атмосфере используют формулу

$$V = \frac{c}{n} = \frac{c}{\sqrt{\mu \varepsilon}},$$

где  $n$  – показатель преломления атмосферы на пути электромагнитного излучения, который зависит от магнитной проницаемости  $\mu$  и диэлектрической постоянной  $\varepsilon$ . В свою очередь, значения  $\mu$  и  $\varepsilon$  зависят от плотности воздуха и частоты использованных колебаний. При качественном учете метеоусловий остаточная погрешность в определении расстояния составляет 1:500 000. При измерении коротких расстояний (до 1 – 2 км) точность измерений определяется, в основном, погрешностями измерения времени нахождения светового пучка в пути, при расстояниях в десятки километров – погрешностями в определении показателя преломления воздуха. Скорость распространения электромагнитных колебаний в

вакууме известна с высокой точностью ( $c = 299792458$  м/с). Точность измерения времени в настоящее время составляет примерно 10-10с, что соответствует расстоянию в 1 – 2 см. Такие дальномеры относят к точным. В зависимости от вида используемых электромагнитных колебаний дальномеры делят на свето- и радиодальномеры. В зависимости от характера излучения – на импульсные и фазовые.



Рис. 10. Радиодальномер

Все электромагнитные дальномеры состоят из двух основных частей – приемопередатчика и отражателя, устанавливаемых в конечных точках линии. При *импульсном способе* измерения расстояний (рис. 11, а) передатчиком 2 генерируются импульсы, которые направляются в сторону отражателя 4. От отражателя импульсы попадают на приемное устройство 3, которое отправляет эту информацию в индикатор времени 1, где регистрируется время начала посылки импульса и момент его прихода от отражателя. Таким образом, регистрируется время  $\tau$  нахождения импульса в пути на двойном расстоянии. Импульсы излучаются через равные промежутки времени с высокой частотой. Импульсные дальномеры имеют сравнительно невысокую точность (от 1,5 до 150 м), но обладают большой оперативностью, что целесообразно использовать для измерения расстояний до движущихся объектов. Наиболее точные импульсные дальномеры применяют в аэрофотосъемке для определения высоты фотографирования (точность измерений составляет 1,2 м в равнинной и до 2 м в горной местности).

Принципиальная схема *фазового дальномера* приведена на рис. 11, б.

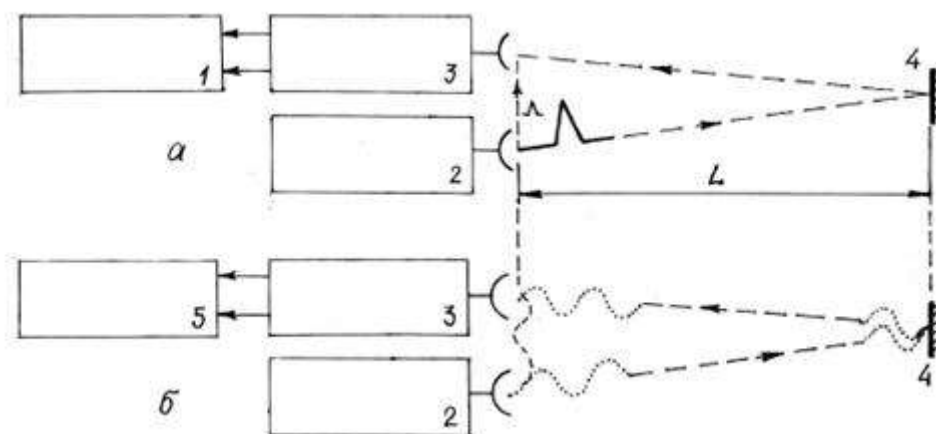


Рис. 11. Способы измерения расстояний: импульсный (а); фазовый (б)

Передатчик 2 непрерывно излучает и направляет в сторону отражателя электромагнитные колебания с частотой  $f$ . Часть сигнала ответвляется на фазометр 5 (опорный сигнал). После отражения на приемник 2, а затем – на фазометр, поступает отраженный сигнал. По фазе отраженного сигнала определяется дальность до объекта. Современные фазовые дальномеры позволяют измерять расстояния с точностью от 1,5 до 15 мм, т.е. в пределах нескольких миллиметров.

### 2.3. Светодальномеры

Достоинство светодальномеров заключается в возможности сведения светового потока с помощью сравнительно простых и небольших по размерам оптических систем (антенн) в узконаправленный луч с высокой плотностью энергии (использование лазерных источников излучения). Для светодальномеров характерна практическая прямолинейность светового луча. При использовании лазерных источников излучения практическая дальность действия в чистой атмосфере составляет 40-60 км.



Рис. 12. Светодальномер

На рис. 13 приведена более полная схема фазового светодальномера. Он состоит из передатчика, включающего в себя источник излучения 6, оптическое устройство формирования светового потока 1, модулятор колебаний 2 и оптическую передающую систему 3, отражателя 4, установленного в конечной точке линии, приемника, включающего приемную оптическую систему 8 с приемником излучения 9. В состав прибора входит генератор частоты 5, фазовращатель 7, который определяет значение  $\tau$ , а также регистрирующее устройство, выдающее значение измеренного расстояния.

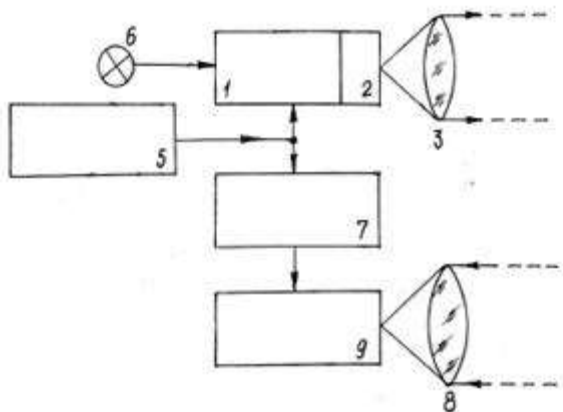


Рис. 13. Схема фазового светодальномера

Модуляторы изменяют излучение по амплитуде, частоте, фазе или плоскости поляризации излучения. Модуляторы должны обеспечивать изменение параметров

излучения на высоких частотах (до 100 – 150 МГц) с возможным плавным изменением указанной частоты в широком диапазоне. Модуляторы должны обладать малыми потерями света с целью обеспечения необходимой энергии выходного пучка, определяющей дальность действия прибора. Часто передающая и приемная системы конструктивно объединены в одну (приемопередатчик).

При измерениях используют пассивные зеркально-линзовые и трипельпризменные отражатели. Конструкция отражателя позволяет возвращать световой пучок по тому же направлению, по которому он пришел на отражатель, т.е. точно в направлении на приемное устройство.

Если коэффициент отражения объекта составляет 15-20%, то при использовании лазерного источника излучения можно работать без отражателя (по стене дома белого цвета и др.). В настоящее время применяют пленочные отражатели, приклеиваемые на конструкции сооружений. Пленочный отражатель имеет широкую диаграмму отражения светового сигнала, что позволяет производить измерения и при боковых на него направлениях светового пучка от передатчика.

#### **2.4. Ультразвуковые дальномеры (рулетки)**

Одним из наиболее простых и дешевых аппаратов, разработанных учеными и конструкторами, является ультразвуковой дальномер. Подобные приборы еще называют эхолотами. Они нашли довольно широкое применение в различных сферах жизнедеятельности человечества.

Принцип работы данного устройства заключается в том, что испускаемый на определенный предмет звук, находящийся за пределами слышимости людей, отражается от данного предмета и улавливается приемной частью прибора. Скорость прохождения звука в воздухе имеет определенное значение при фиксированной плотности, что позволяет рассчитать расстояние. Для более точного направления звукового пучка на предмет, до которого нужно измерить расстояние, был разработан дальномер ультразвуковой с лазерной указкой. Это значительно повысило удобство проведения работ и точность измерений. Современные аппараты обладают возможностью проведения более сложных

операций, чем просто фиксация результатов измерений, так, например, они могут рассчитывать площадь обмеряемой территории, а также угловые координаты заданной точки.

Однако при всех своих несомненных плюсах эти лазерные и ультразвуковые приборы не способны заменить стальную или синтетическую ленту при больших расстояниях, в так называемых «полевых» условиях. В первую очередь это касается точности измерения, которая определяется средой, в которой распространяется ультразвук. Ее характеристики и их значения, в первую очередь плотности, не являются постоянными и могут меняться в процессе проведения измерительных работ. К другим недостаткам можно отнести ограниченность по расстоянию замера. Минимальная дистанция для данных приборов составляет 0,3 м., а максимальная 20 м.



Рис. 14. Ультразвуковая рулетка с лазерной указкой

## 2.5. Интерферометры

Эта группа приборов предназначена для высокоточного измерения весьма малых расстояний. Такие приборы используются для компарирования мерных приборов, создания эталонов, высокоточного и точного смещений объектов и весьма малых скоростей перемещений.

Интерферометр – это прибор, в котором производится пространственное разделение

двух световых лучей и создание между ними разности хода с целью получения интерференционной картины, по которой и определяют измеряемую величину.



Рис. 15. Интерферометр