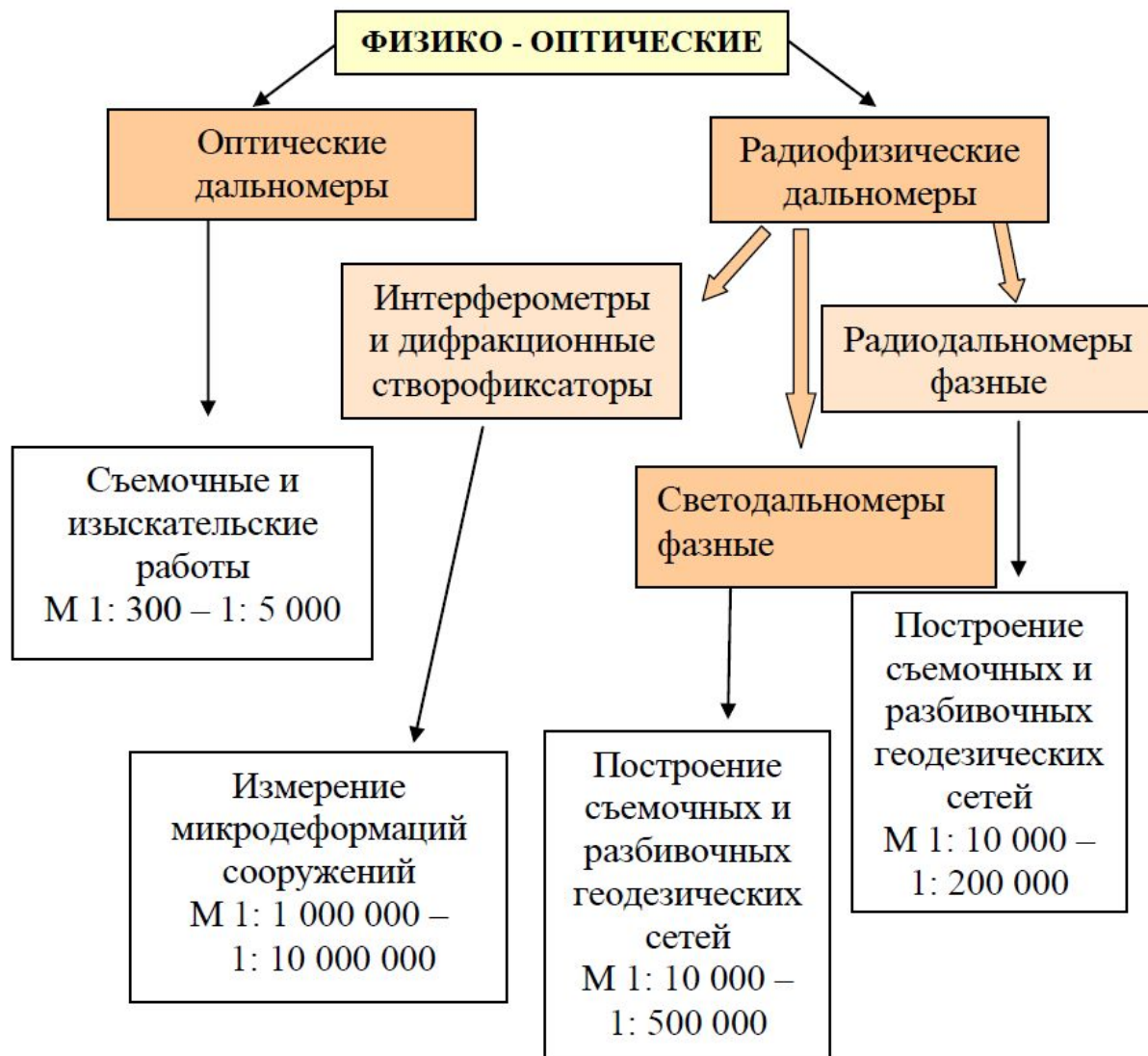


# ЛЕКЦИЯ 8. ЛИНЕЙНЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ

- *Линейные измерения* очень широко распространены в геологии, строительстве и т.д., выполняются на всех этапах геодезической съемки, в том числе для:
  - создания опорной геодезической сети на территории стройки;
  - в процессе топографических, геологических съемок,
  - контроля монтажа строительных конструкций и т.д.

- Единицы меры – метры, сантиметры, миллиметры. В результате измерения получают горизонтальные проложения линий.
- Приборы для измерения длин линий, применяемые в настоящее время в инженерной геодезии, можно условно разделить на *механические* и *физико-оптические* (табл. 4,5).

# Физико-оптические приборы для измерения длин линий, применяемые в геодезии



В зависимости от конкретных условий применяются разные методы и различные приборы. Широко применяются в инженерной геодезии

- *стальные ленты,*
- *рулетки,*
- *оптические дальномеры,*
- *длиномеры.*

- Измерение расстояний механическими приборами основано на последовательном откладывании длины мерного прибора.

Измерения производят либо по поверхности земли, либо подвешивая мерный прибор на небольшой высоте (1-1,5 м) на специальных штативах. Для получения *горизонтального проложения* измеряют углы наклона линии или отдельных ее частей.

# Механические приборы для измерения длин линий, применяемые в геодезии

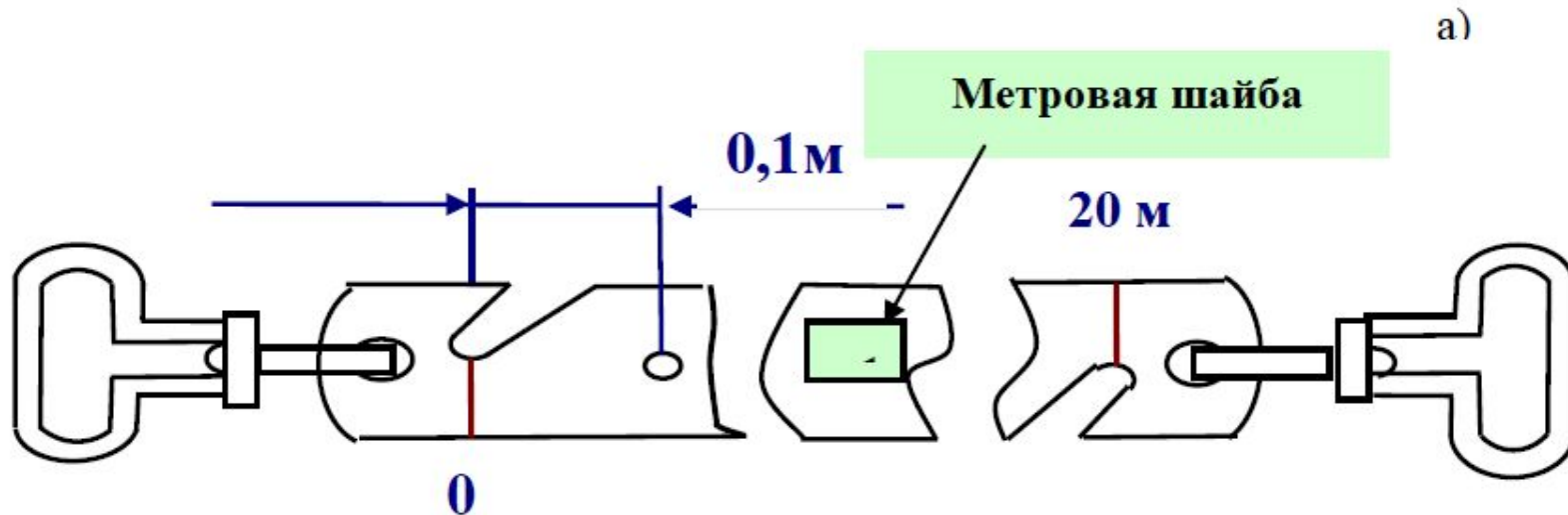


## 8.1. Измерение расстояний мерными лентами

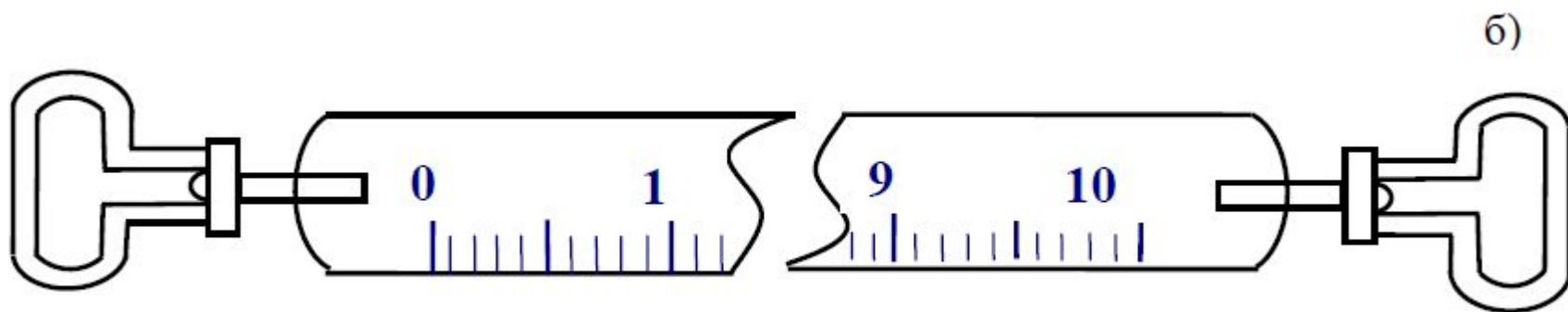
- ***Стальные землемерные ленты*** (ЗЛ) обеспечивают точность измерений в широком диапазоне, изготавливают их длиной 20 и 50 м, они бывают:
  - ***штриховые*** (например, ЛЗ - 20)
  - ***шкаловые*** (например, ЛЗШ - 20).



- У штриховых лент на концах нанесены штрихи (рис.52 а), расстояние между которыми и определяет длину ленты при её расположении на плоскости и натяжении в 10 кгс.



- У шкаловых для более точных отсчетов на двух концах имеются шкалы с миллиметровыми делениями (рис. 52 б).



## 8.1.1. Компарирование ленты

- Перед работой ленту *компарируют*, т.е. устанавливают ее действительную длину. Если измерения предполагается выполнять с высокой точностью (порядка  $\frac{1}{5000}$ ), компарирование проводят в специальных лабораториях. При измерениях с обычной точностью

$$\left( \frac{1}{1000} \div \frac{1}{3000} \right)$$

производится сравнение рабочей ленты с эталонной лентой, длина которой определена в лаборатории.

- Зная отличие длины рабочей ленты от номинала , вводят поправку за компарирование:

$$\Delta D_K = n \Delta \ell, \quad (41)$$

- где  $n$  - число отложений ленты .  $\left( n = \frac{D}{\ell} \right)$ .
- Компарирование производится при определенной температуре  $t_{\text{комп}}$  .
- Температура при измерениях может существенно отличаться  $(t_{\text{факт}})$  :
- т.е. длина ленты изменится в соответствии с коэффициентом линейного расширения стали

$$\alpha = 125 \cdot 10^{-7} \text{ м / град.}$$

● Поправка за температуру будет

● 
$$\Delta D_t = D\alpha (t_{\text{факт}} - t_{\text{комн}}),$$

● где  $D$  - длина линии.

(42)

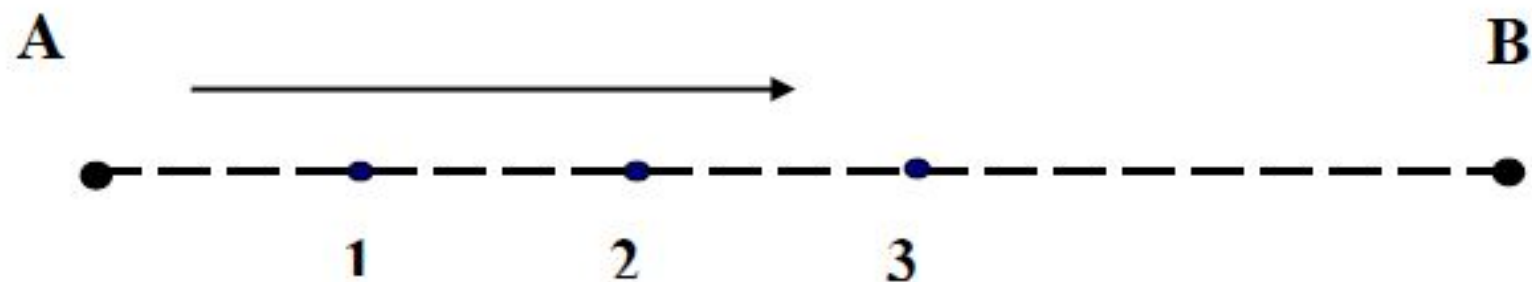
● Пример. Дано:  $D = 255,25$ ;  $t_{\text{факт}} = -5^\circ$ ;  $t_{\text{комн}} = +20^\circ$ .

● Определить:  $\Delta D_t$ .

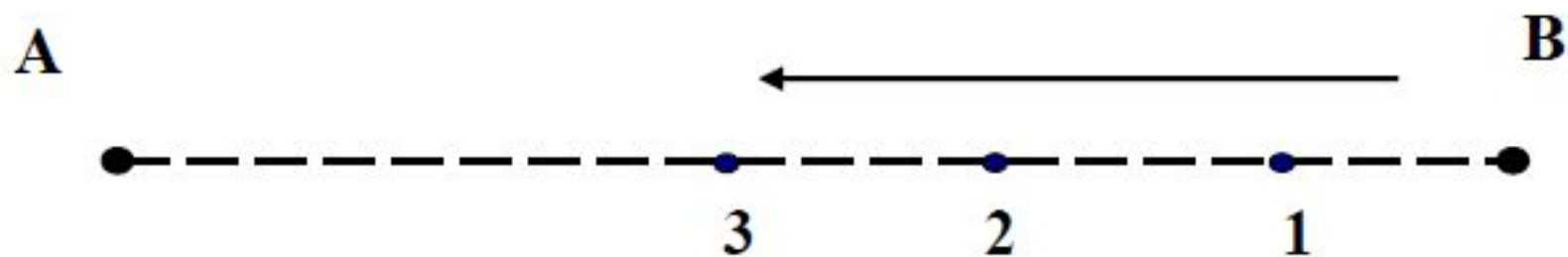
● Решение:  $\Delta D_t = 255,25 (-5 - 20^\circ) 125 \cdot 10^{-7} = -0,08 \text{ м} = -80 \text{ мм} = 8 \text{ см}.$

## 8.1.2. Подготовка трассы для измерения мерной лентой

- Перед измерением линии лентой трассу необходимо подготовить - расчистить от кустарника, высокой травы и провешить. Вешение производят инструментально или глазомерно двумя способами – «от себя» (рис. 53 а) и «на себя» (рис. 53 б), причём второй способ даёт более точные результаты.



**Установка вех по принципу «от себя»**



**Установка вех по принципу «к себе»**

*Рис. 53. Способы установки вех*

- Если между конечными точками **A** и **B** нет взаимной видимости
- (рис. 54 а, точки **A** и **B**), то вешение производится двумя дополнительными вехами путем последовательного приближения их к створу. Первая веха ставится в произвольной точке **C<sub>1</sub>**
- (рис. 54 б), вторая - в створе **C<sub>1</sub>A** в точке **D<sub>1</sub>**. Затем первую веху перемещают в точку **C<sub>2</sub>** (створ **D<sub>1</sub>B**) и так до тех пор, пока обе вехи не окажутся в створе **A-B**.



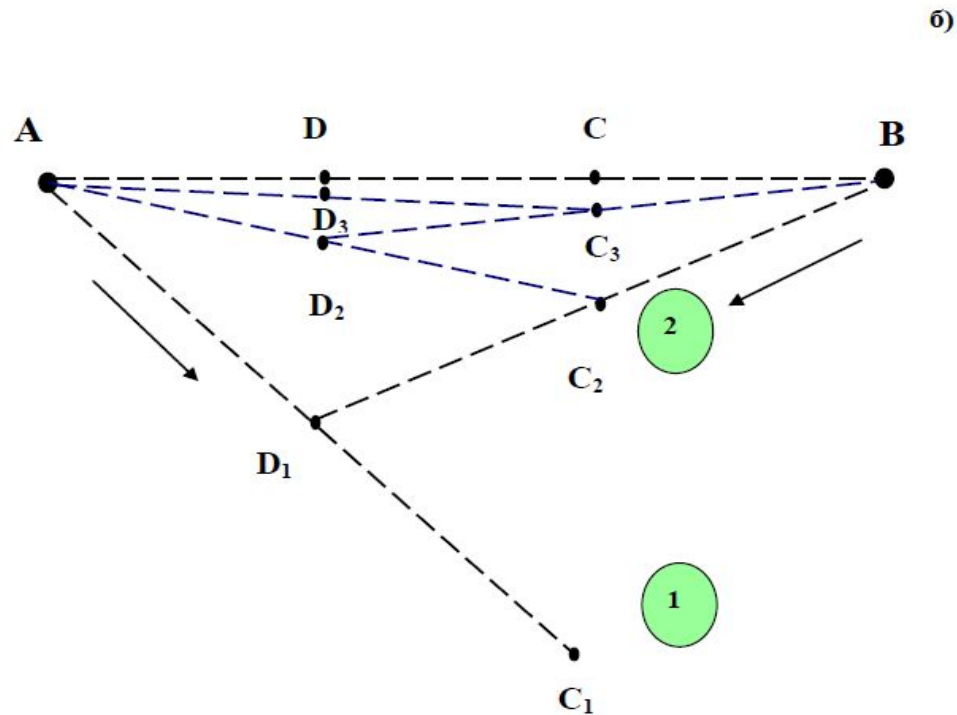
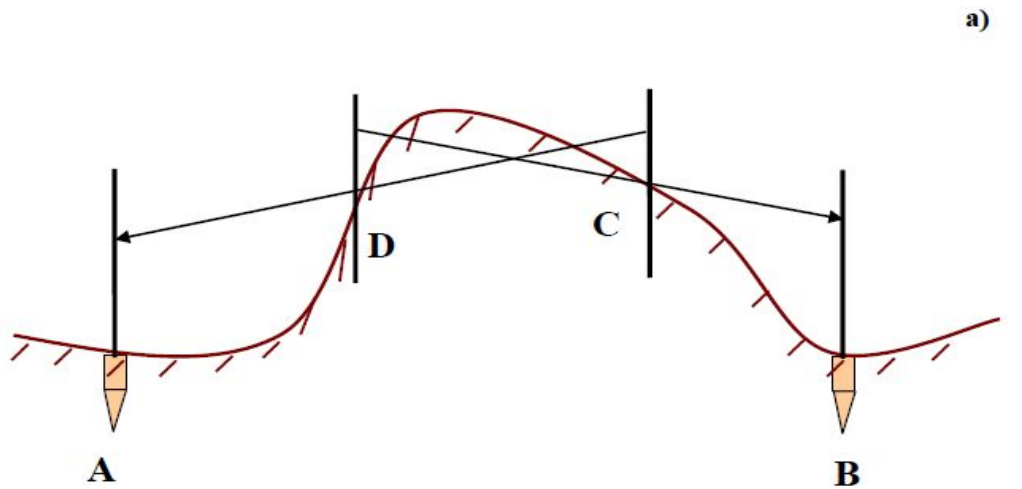


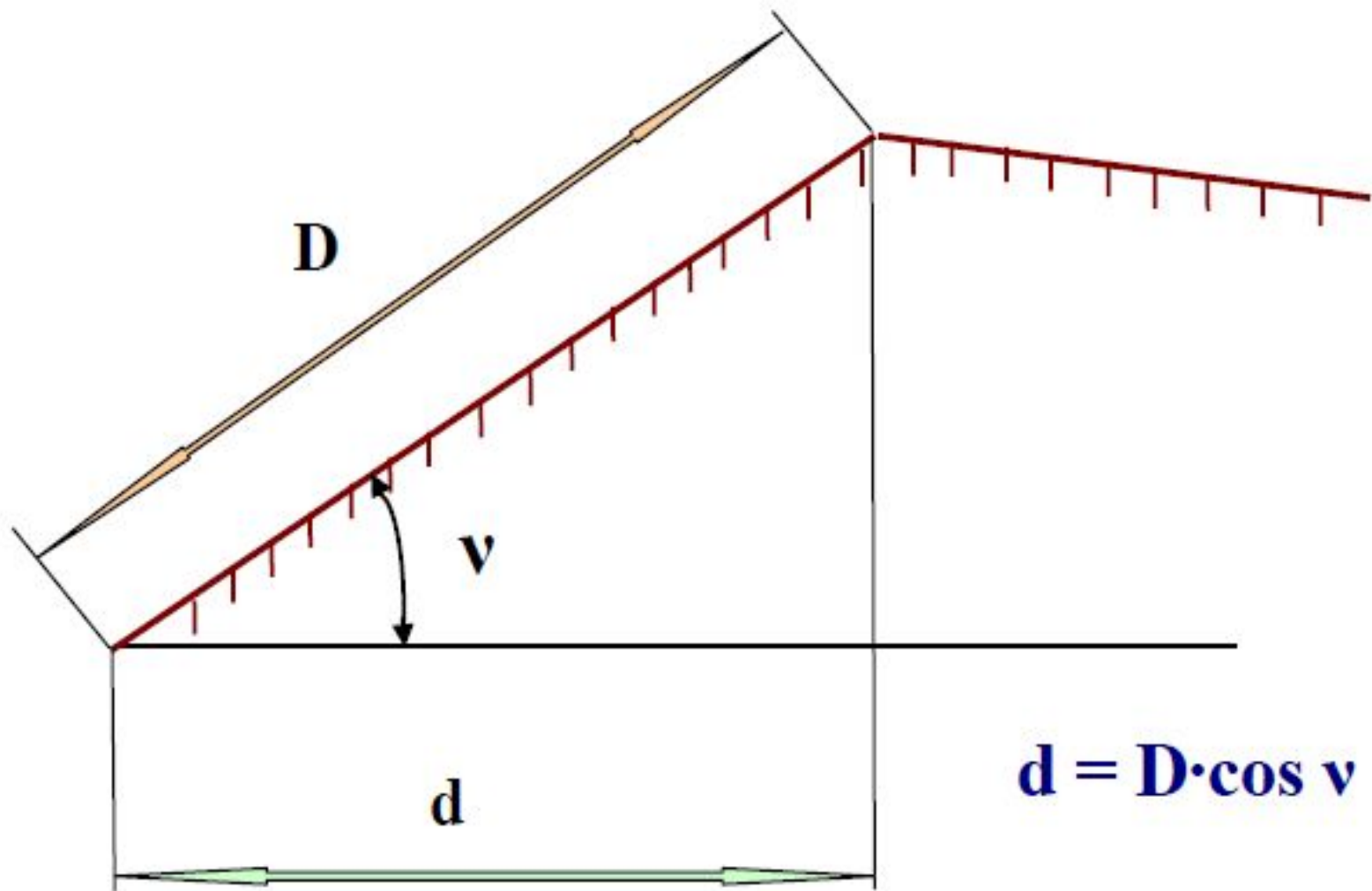
Рис. 54. Вешение при отсутствии взаимной видимости между точками A и B.

- Для обозначения створа вехи ставятся в равнинной местности через 70-100 м, в холмистой - через 20-50 м.
- Натяжение ленты, уложенной в створе, контролируется динамометром при измерениях с повышенной точностью, при обычной точности динамометр не применяют, конец ленты в натянутом состоянии фиксируется шпильками. В комплект входит обычно 6 шпилек, первая устанавливается в начале измеряемой линии, у переднего мерщика 5 шпилек. Когда им поставлена последняя шпилька - отложено 5 лент (100м).

## 8.1.3. Поправка за наклон линии

- Результатом измерения должно быть горизонтальное проложение линии. Следовательно, кроме поправок за компарирование и температуру, в необходимых случаях следует ввести поправку за наклон линии (рис.55), т.е. на отдельных участках измерить угол наклона линии  $\nu$ . Так как , то поправка за наклон будет составлять:

$$\Delta D_{\nu} = d - D = D(1 - \cos \nu)$$



*Рис. 55. Поправка за наклон линии*

- Обычно поправку берут из специальных таблиц. Угол наклона измеряется теодолитом или упрощенным прибором - эклиметром.
- В ряде случаев необходимо непосредственно при измерениях получать горизонтальное проложение линии. Для этого применяют ватерпасовку с использованием рейки и уровня (рис. 56 а) или располагая мерную ленту горизонтально (рис. 56 б).

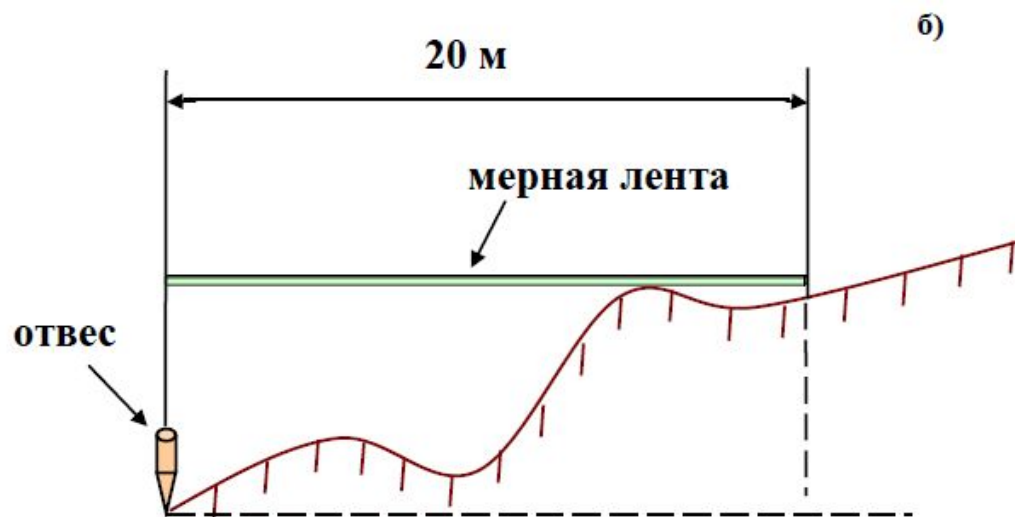
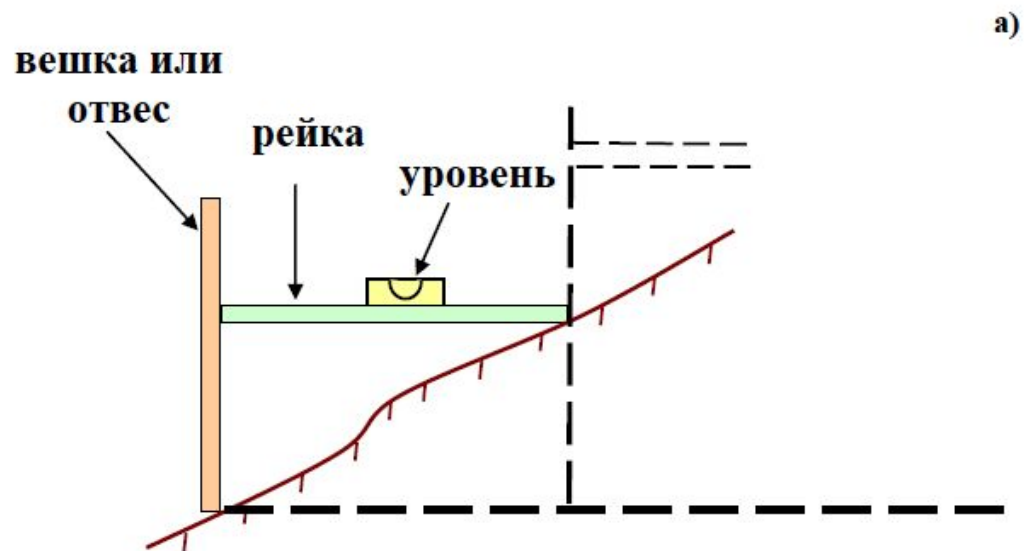


Рис. 56. Ватерпасовка: а) с использованием рейки и уровня ; б) с использованием горизонтально расположенной мерной ленты и отвеса

## 8.1.4 Точность измерения линий мерными лентами

- **Необходимость введения различных поправок определяется требуемой точностью измерения (табл. 6).**

Таблица 6

**Поправки, подлежащие учёту**

| <b>Поправки, подлежащие учёту при измерениях стальной мерной лентой</b> | <b>Относительные погрешности масштабов</b> |               |               |
|-------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|---------------|---------------|
|                                                                         | <b>1:1000</b>                              | <b>1:2000</b> | <b>1:3000</b> |
| За копирование, если $\Delta l$ более                                   | 2 мм                                       | 2 мм          | 2 мм          |
| За температуру, если $(t_{\text{факт}} - t_{\text{комн}})$ более        | не учит.                                   | 8°            | 8°            |
| За наклон линии к горизонту, если $\nu$ более                           | 3°                                         | 1°30'         | 1°            |



- Для контроля линию измеряют дважды - в прямом и обратном направлениях. Разность между двумя измерениями должна быть в пределах допуска, иначе линию измеряют вновь. Величину допуска назначают исходя из следующего.
- Опыт показывает, что относительная погрешность при измерении линий лентой составляет
- $\frac{1}{3000}$  в благоприятных условиях ,
- $\frac{1}{2000}$  при средних условиях - ,
- $\frac{1}{1000}$  при неблагоприятных - от длины измеряемой  
линий.

Расхождения между двумя измерениями принимают в  
больше, т.е. соответственно

$$\frac{1}{2000}; \frac{1}{1500} \text{ и } \frac{1}{700}.$$

Так, если измеренная линия в прямом направлении 255,25 м, то  
при разности двух измерений в

$$\frac{1}{2000}$$

допустимое расхождение между прямым и обратным  
измерениями должно быть не более

$$255,25 \cdot \frac{1}{2000} = 0,13 \text{ м} = 13 \text{ см.}$$

- Достоинства лент и рулеток - простота устройства и эксплуатации. Недостатки при измерении длинных линий – большая трудоемкость, определяемая необходимостью подготовки трассы, измерения углов наклона отдельных участков.

## 8.2. Измерение расстояний длиномерами

- Длиномер - подвесной прибор (рис. 57), которым обеспечивается точность от до .
- Сущность измерения линии в данном способе сводится к измерению длины отрезка предварительно натянутой стальной проволокой диаметром 0,8 мм.
- Длиномер перемещают по проволоке, при этом автоматически фиксируется длина пройденного отрезка.
- Масса комплекта длиномера (AD 1 М) - 10 кг, для проведения измерений необходимо 3 человека.

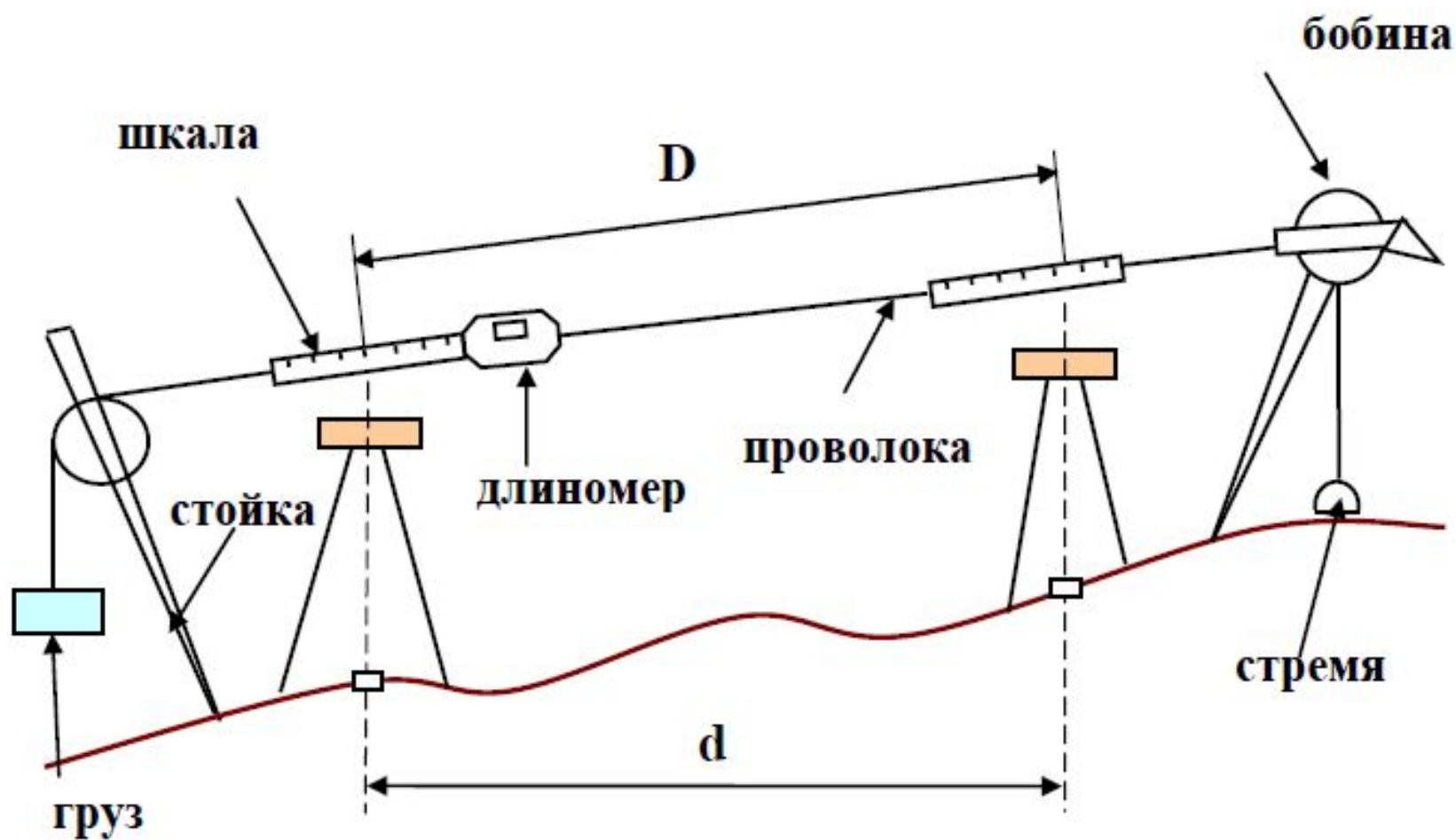


Рис. 57. Измерение расстояния длиномером

## 8.2.1. Измерение расстояний оптическими дальномерами

- **Оптические дальномеры** подразделяют на дальномеры с постоянным углом (рис. 58 а) и дальномеры с постоянной базой (рис. 58 б). В первом случае измеряют по рейке дальномерный интервал и тогда

- .

- Обозначим  $D_i = l_i C \operatorname{ctg} \nu$ , где  $\nu$  — угол

- , получаем:

$$\operatorname{ctg} \nu = C$$

- $D_i = C l_i$ ,

- где  $C$  — коэффициент дальномера.

- У дальномеров с постоянной базой измеряют угол  $\gamma_i$  т.к.  $l_1 = const$ , тогда
- $$D_i = l \operatorname{Ctg} \gamma_i.$$
- При этом база (специальная рейка) может либо входить в конструкцию прибора (внутрибазный дальномер), либо располагаться в конце измеряемой линии.

# *Радиодальномеры и светодальномеры*

- состоят из двух основных узлов:
- приемопередатчика, устанавливаемого на начальной точке линии;
- отражателя, устанавливаемого в конечной точке.



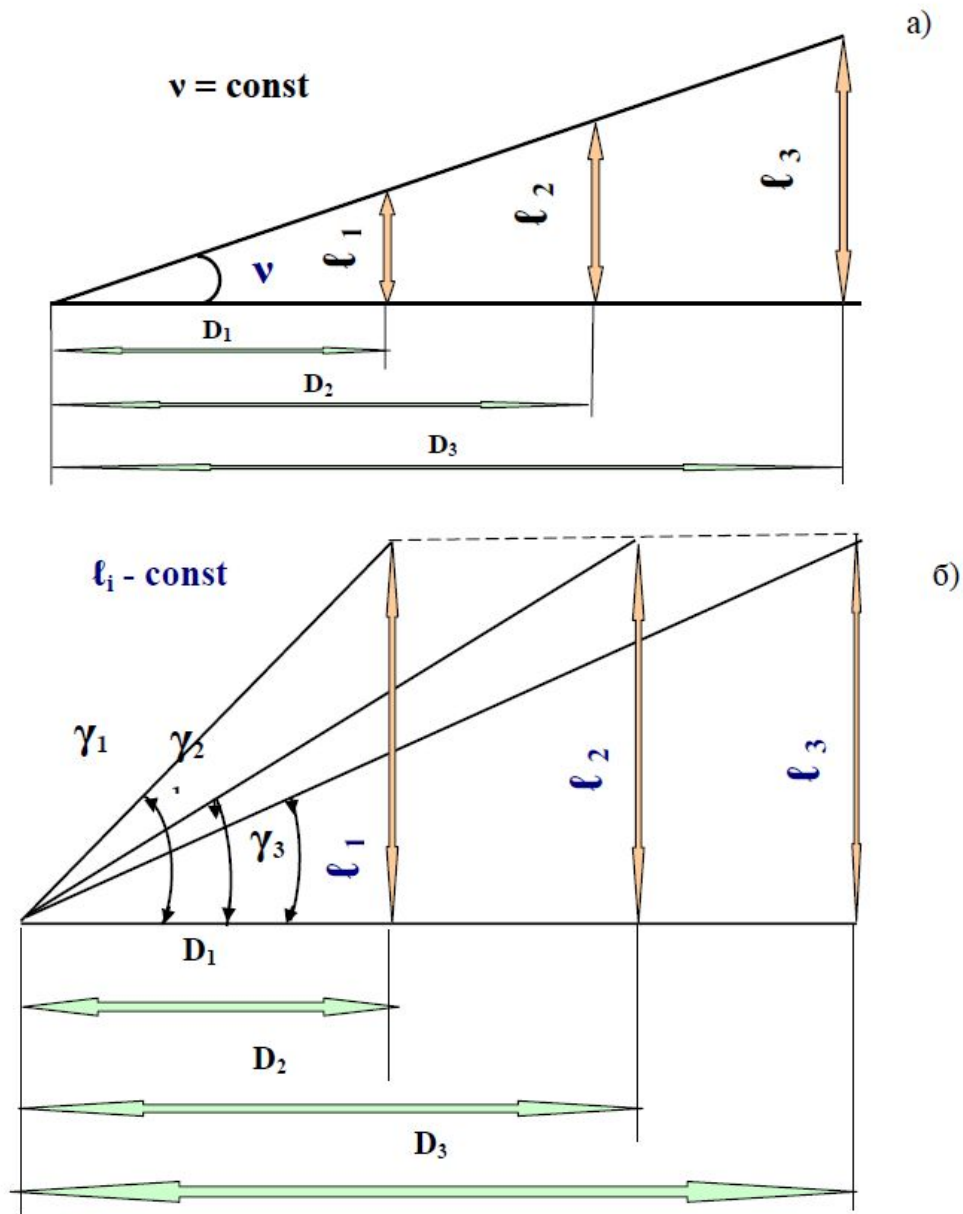


Рис. 58. Принцип измерения дальномерного расстояния оптическим дальномером: а) с постоянным углом; б) с постоянной базой

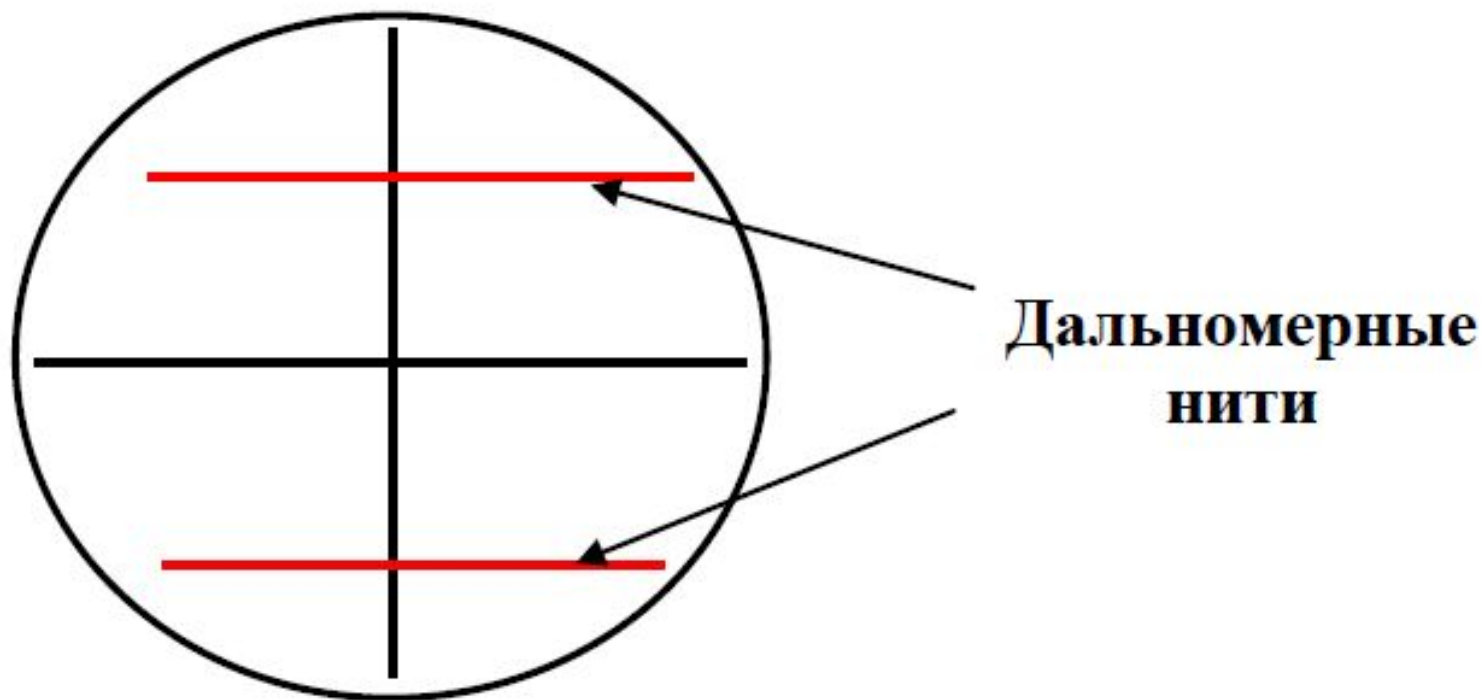
*Оптические дальномеры* различных конструкций характеризуются точностью

$$\frac{300}{\Gamma} \div \frac{2000}{\Gamma}$$

Наиболее распространенным является нитяной дальномер, обеспечивающий точность

$$\frac{1}{300} \div \frac{1}{400}$$

при измерении коротких линий (не длиннее 250 м). Это наиболее простой дальномер, имеющийся почти во всех геодезических приборах. Для его получения добавляют у сетки нитей две дополнительные нити, которые называются дальномерными (рис.59).



*Рис. 59. Дальномерные нити*

- Пусть требуется определить расстояние от оси вращения прибора (рис. 60 а) точки **A** до точки **B**, в которой установлена рейка. Рассмотрим случай, когда визирная ось горизонтальна.

- 
- Искомое расстояние 
$$d = d_1 + f_{об} + K ,$$

где -  $f_{об}$  фокусное расстояние объектива;

$K$  - расстояние от оси вращения прибора до объектива.

- У современных приборов величины  $f_{об}$  и  $K$  малы, их можно не учитывать, т.е. Принять

- $$d = d_1 .$$

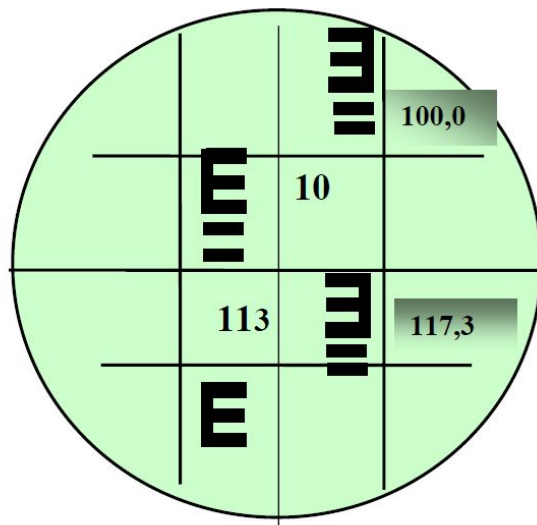
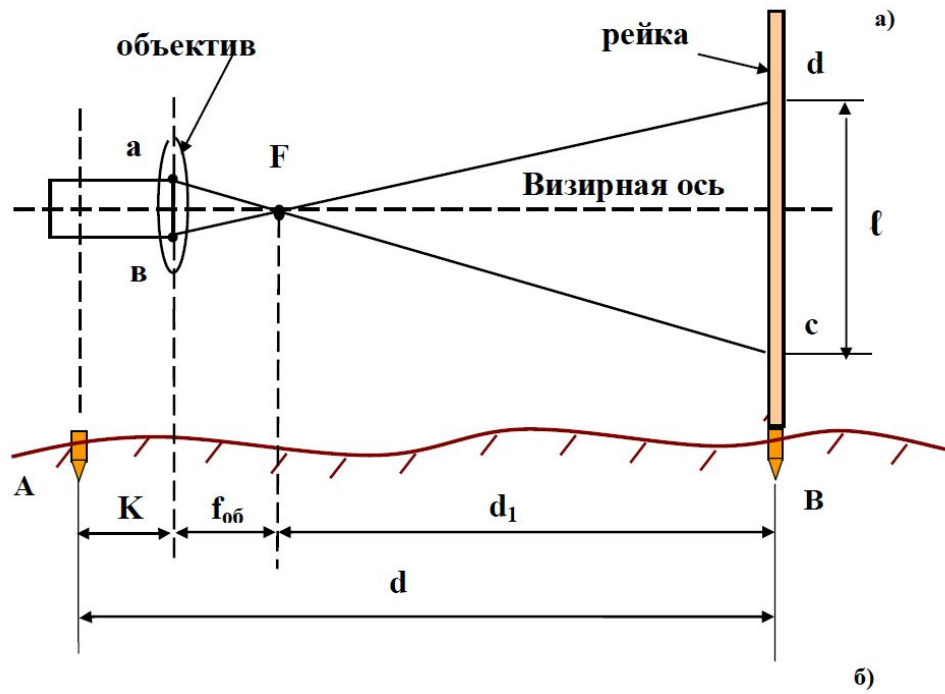


Рис. 60. Определение дальномерного расстояния: а) от оси вращения прибора до искомой точки; б) – по сетке нитей

### 8.2.3. Коэффициент дальномера

- Отрезок  $\ell$  (дальномерный интервал) определяется числом сантиметров рейки, заключенных между дальномерными нитями (на рис. 60 б - ). Аналитическую связь между числом и расстоянием находим из подобия треугольников (рис. 60)

$$\Delta avF \sim \Delta Fcd$$

$$\frac{d_1}{f_{об}} = \frac{\ell}{av}, \text{ откуда}$$

$$d_1 = \ell \frac{f_{об}}{av} = \ell C.$$

$$\frac{f_{об}}{ав}$$

- Отношение  $\frac{f_{об}}{ав}$  для конкретного прибора постоянно, называется коэффициентом дальномера и обозначается символом "С". Тогда

$$d = d_1 = "C" \ell,$$

- т.е. для определения расстояния нитяным дальномером достаточно число сантиметровых делений рейки между дальномерными нитями умножить на коэффициент дальномера.

- Для определения "С" на местности с необходимой точностью измеряют отрезок , по рейке находят дальномерный интервал :

$$C = \frac{d_{изв}}{l} .$$

- У современных приборов обычно  $C = 100$ , т.е. величина в сантиметрах соответствует расстоянию в метрах (на рис. 60 б - расстояние  $d = 17,3$  м).
- В случае, когда визирная ось не горизонтальна, для определения горизонтального проложения  $d$  надо учесть угол наклона . При этом учесть его нужно дважды (рис. 61).



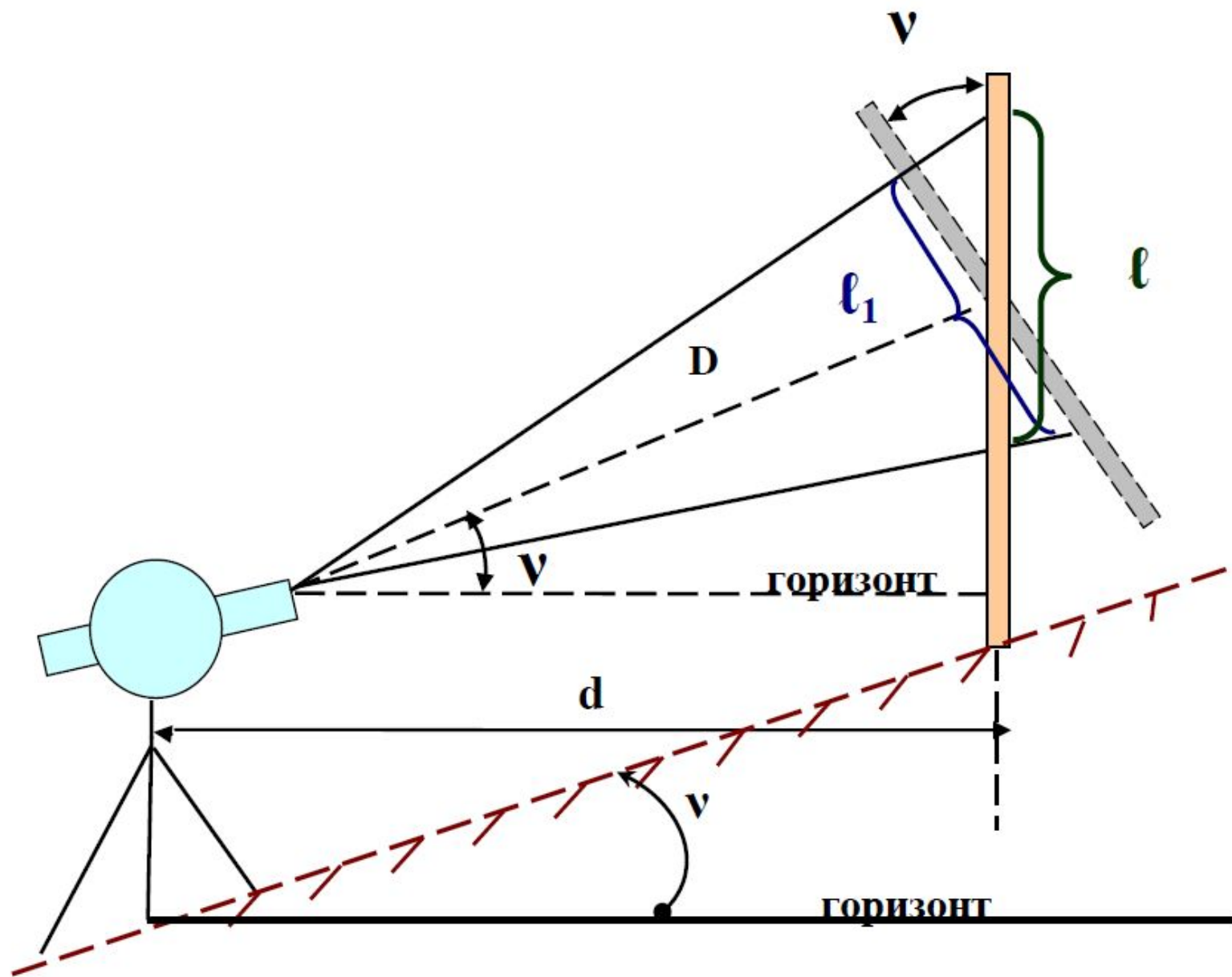


Рис. 61. Двойной учет вертикального угла  $\nu$

Рейка всегда устанавливается вертикально и поэтому вследствие наличия угла наклона  $\nu$  на оказывается не перпендикулярной к визирной оси. Следовательно, дальномерный интервал  $l$  оказывается завышенным по сравнению с действительным  $l'$ , соответственно будет измерено не действительное наклонное расстояние  $D$ , а завышенное его значение  $d$ . Из схемы видно:

$$l' = l \cdot \cos \nu,$$

$$D = C l' = C l \cos \nu = D_{\text{изм}} \cos \nu.$$

$$d = D \cos \nu,$$

$$d = D_{\text{изм}} \cos^2 \nu.$$

В практике после определения  $D_{\text{изм}}$  горизонтальное проложение  $d$  берут из таблиц.

## 8.3. Определение неприступных расстояний

- Возможны два случая при определении неприступного расстояния:
- имеется взаимная видимость точек (рис. 62 а),
- такой видимости нет (рис. 62 б).

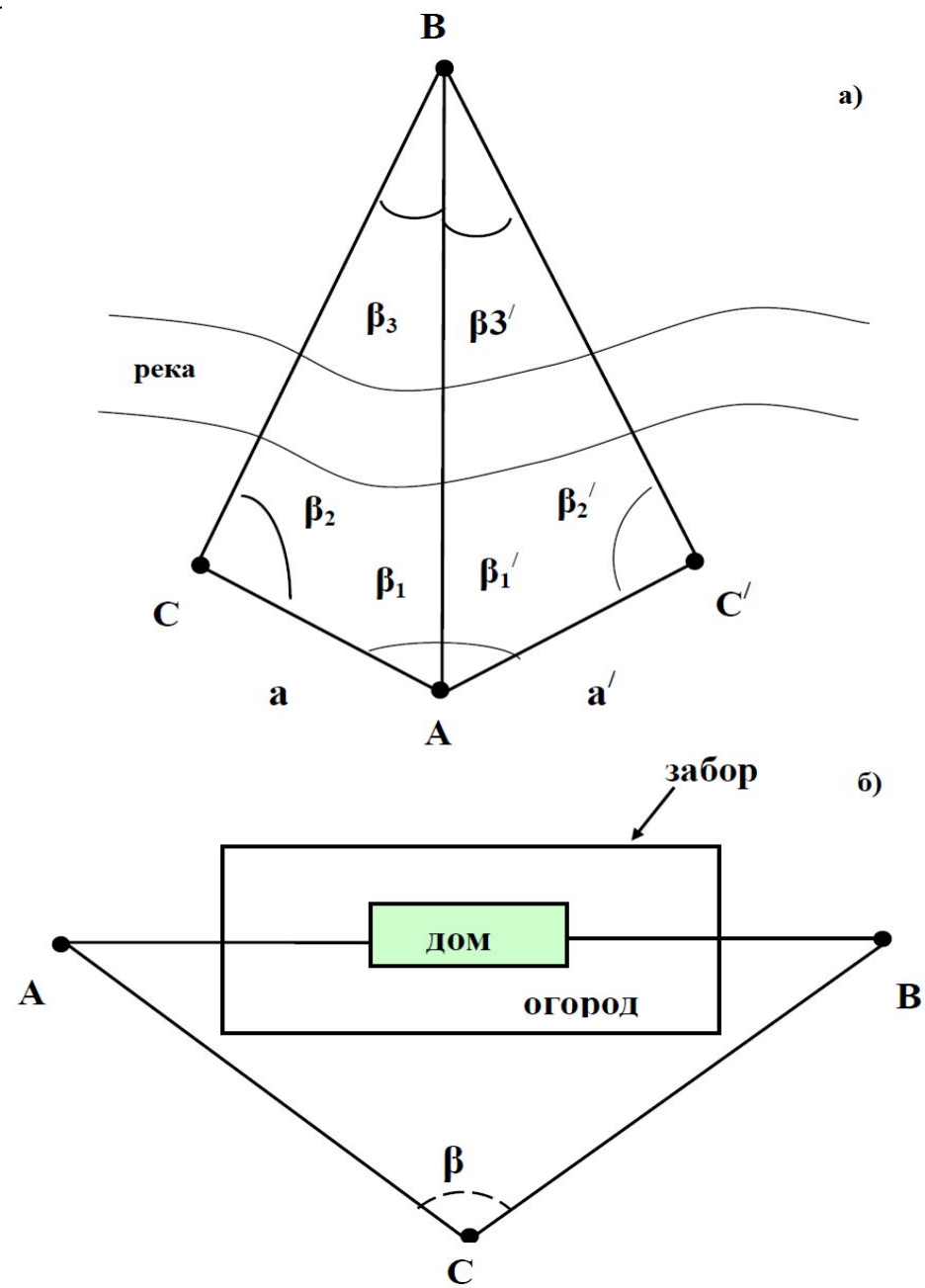


Рис. 62. Определение недоступных расстояний

- В первом случае у вспомогательных треугольников  $ABC$  и  $ABC'$  измеряются углы, базисы  $a$  и  $a'$  и по теореме синусов вычисляется искомое расстояние  $AB$ :

$$\frac{AB}{\sin\beta_2} = \frac{a}{\sin\beta_3} \quad \text{и} \quad AB = a \frac{\sin\beta_2}{\sin\beta_3}.$$

Контроль:

$$AB = a' \frac{\sin\beta_2'}{\sin\beta_3}.$$

- Ожидаемая точность вычисления линии **АВ** следующая.
- При измерении углов теодолитом: полным приемом, при измерении базисов с точностью не менее 1:3000, при расхождении двух вычисленных значений **АВ** не более 1:1500 - длина линии **АВ** определяется с точностью 1:2000.
- Во втором случае по теореме косинусов:

$$AB = \sqrt{a^2 + e^2 - 2ae \cos \beta} .$$

- Если точность измерения линии **АВ** может быть меньше 1:2000, то в первом случае углы не измеряют, расчётные формулы будут:

$$AB = a \frac{\sin \beta_2}{\sin(\beta_1 + \beta_2)} \text{ и } AB = a' \frac{\sin \beta_2'}{\sin(\beta_1' + \beta_2')} .$$