

Тема ЛЕКЦИИ:  
**«КАЧЕСТВО ПЛАНОВО-  
КАРТОГРАФИЧЕСКОГО  
МАТЕРИАЛА»**

1. Понятие о детальности, полноте и точности планово-картографического материала.
2. Точность положения контурных точек на плане (карте).
3. Точность изображения расстояний на плане.
4. Точность направлений и углов, изображенных на плане.
5. Точность площадей контуров, изображенных на плане.
6. Точность превышений и уклонов, определяемых по плану.
7. Деформация плана и ее учет.

# 1. Понятие о детальности, полноте и точности планово-картографического материала.

Планы и карты, полученные в результате различных видов съемок, имеют не одинаковую детальность и полноту.

Под **детальностью** понимают степень подобия изображения на плане всех изгибов и извилин контуров ситуации и рельефа.

При отсутствии детальности говорят, что изображение ситуации и рельефа на плане (карте) обобщено.

Обобщение (генерализация) происходит при дешифрировании фотоматериалов, рисовке рельефа и при наземных съемках.

Под *полнотой* понимают степень насыщенности плана объектами местности, изображение которых на плане необходимо и при данном масштабе и высоте сечения рельефа возможно.

Для числового выражения степени детальности и полноты требуются исследования.

Этими качествами в наибольшей степени обладают планы (карты), получаемые методом аэрофотосъемки (космической) съемки, выгодно отличающиеся от планов, получаемых другими методами.

***Точность*** плана обычно характеризуется величиной средней квадратической ошибки положения контурной точки на плане относительно ближайшего пункта съемочного обоснования.

## 2. Точность положения контурных точек на плане (карте).

Ошибка положения точки является двумерной и определяется формулой

$$m_t = \sqrt{m_x^2 + m_y^2}, (1)$$

где  $m_x$  и  $m_y$  – ошибки положения по осям координат.

Наиболее правильно погрешности положения точек характеризовать эллипсом погрешностей, потому что сдвиг точки относительно ее точного положения в различных направлениях может быть различным.



При оценке точности плана в среднем, направление сдвига контурной точки принимают равновероятным, поэтому точность положения контурной точки характеризуют кругом погрешностей и для расчета точности значения  $m_x$  и  $m_y$  в формуле (1) принимают равными и независимыми одна от другой. В связи с этим

$$m_x = m_y = m_k$$
$$m_t = m_k \sqrt{2}. (2)$$

Точность планов различных видов съемок различна.

Это объясняется различием геодезических инструментов и технологических процессов, применяемых при съемках.

Но различие точности планов отдельных видов съемок при правильном их проведении невелико, и практически их можно считать одинаково точными, потому что ряд элементов, составляющих технологический процесс того или иного вида съемки, имеет погрешности, которые могут быть приравнены к графической точности (**0,1 мм на плане**).

Для получения погрешности положения контурных точек на плане погрешности отдельных геодезических действий можно принять независимыми и определить по формуле

$$m_t = \sqrt{m_1^2 + m_2^2 + \dots + m_n^2}$$

Для решения практических задач, связанных с оценкой точности отображения различных объектов топографии можно воспользоваться числовыми характеристиками средних квадратических ошибок положения точек  $m_t$ , приведенными в таблице.

# Таблица. Числовые характеристики средних квадратических ошибок положения точек

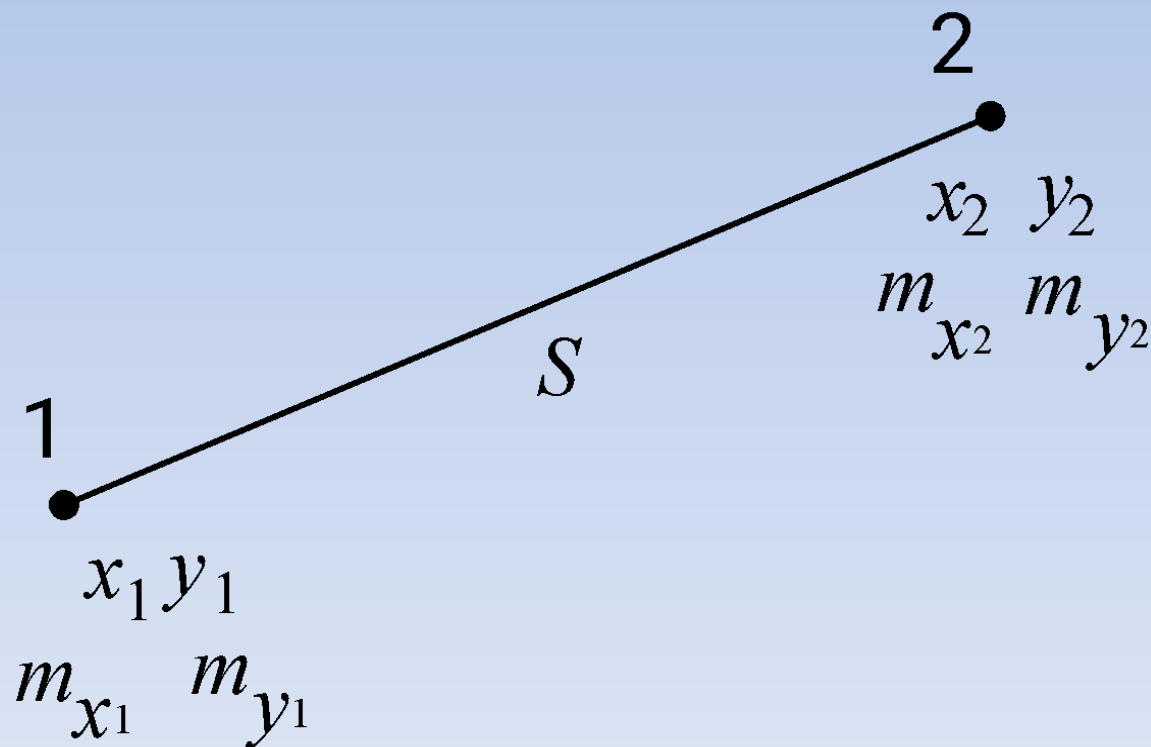
Название объекта топографии	$m_r$ , мм на плане
<b>Пункты съёмочного обоснования, нанесенные на карту (план) по координатам</b>	0,15–0,2
<b>Углы капитальных построек, оград, центры колодцев и точки других постоянных, четко опознаваемых объектов местности</b>	0,2–0,3
<b>Точки пересечения асфальтированных дорог, кварталов сельских населенных пунктов, канав и других аналогичных постоянных объектов</b>	0,4–0,5
<b>Точки границы пашни, пересечения грунтовых дорог, лесных просек и других малоизменчивых опознаваемых объектов</b>	0,6–1,0
<b>Точки контуров леса, кустарники, луговой растительности, бровок оврагов, урезов воды рек, ручьев, а также других изменчивых, нечетко опознаваемых объектов местности</b>	1,1–1,5

### 3. Точность изображения расстояний на плане.

Если положение точек на плане ошибочно, то расстояния между этими точками будут определены ошибочно независимо от способа определения.

Для получения зависимости погрешности расстояния между точками от погрешностей их положения представим, что

каждая из точек определяется координатами  $x_1$  и  $y_1$ ,  $x_2$  и  $y_2$  со средними квадратическими ошибками  $m_{x_1}$  и  $m_{y_1}$ ,  $m_{x_2}$  и  $m_{y_2}$ .



Тогда расстояние между точками определится по формуле

$$S^2 = (x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2$$

представляющей зависимость между функцией **S** и аргументами  **$x_1, y_1, x_2, y_2$** .

Для получения зависимости средних квадратических ошибок функций от аргументов, возьмем ее полный дифференциал

$$2s ds = -2(x_2 - x_1) dx_1 + 2(x_2 - x_1) dx_2 - 2(y_2 - y_1) dy_1 + 2(y_2 - y_1) dy_2.$$



Произведя сокращение обеих частей на 2, перейдем от дифференциалов к средним квадратическим ошибкам, заменив дифференциалы квадратами средних квадратических ошибок и возведя в квадрат сомножители при дифференциалах получим:

$$s^2 m_s^2 = (x_2 - x_1)^2 m_{x_1}^2 + (x_2 - x_1)^2 m_{x_2}^2 + \\ + (y_2 - y_1)^2 m_{y_1}^2 + (y_2 - y_1)^2 m_{y_2}^2$$

Принимая

$$m_{x_1} = m_{y_1} = m_{k_1}, \quad m_{x_2} = m_{y_2} = m_{k_2},$$

тогда

$$s^2 m_s^2 = m_{k_1}^2 \left\{ (x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2 \right\} +$$
$$+ m_{k_2}^2 \left\{ (x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2 \right\},$$

$$s^2 m_s^2 = m_{k_1}^2 s^2 + m_{k_2}^2 s^2,$$

$$m_s^2 = m_{k_1}^2 + m_{k_2}^2.$$

На основании формулы (2)

$$m_s^2 = \frac{1}{2} (m_{t_1}^2 + m_{t_2}^2).$$

Если  $m_{t_1} = m_{t_2} = m_t$ ,

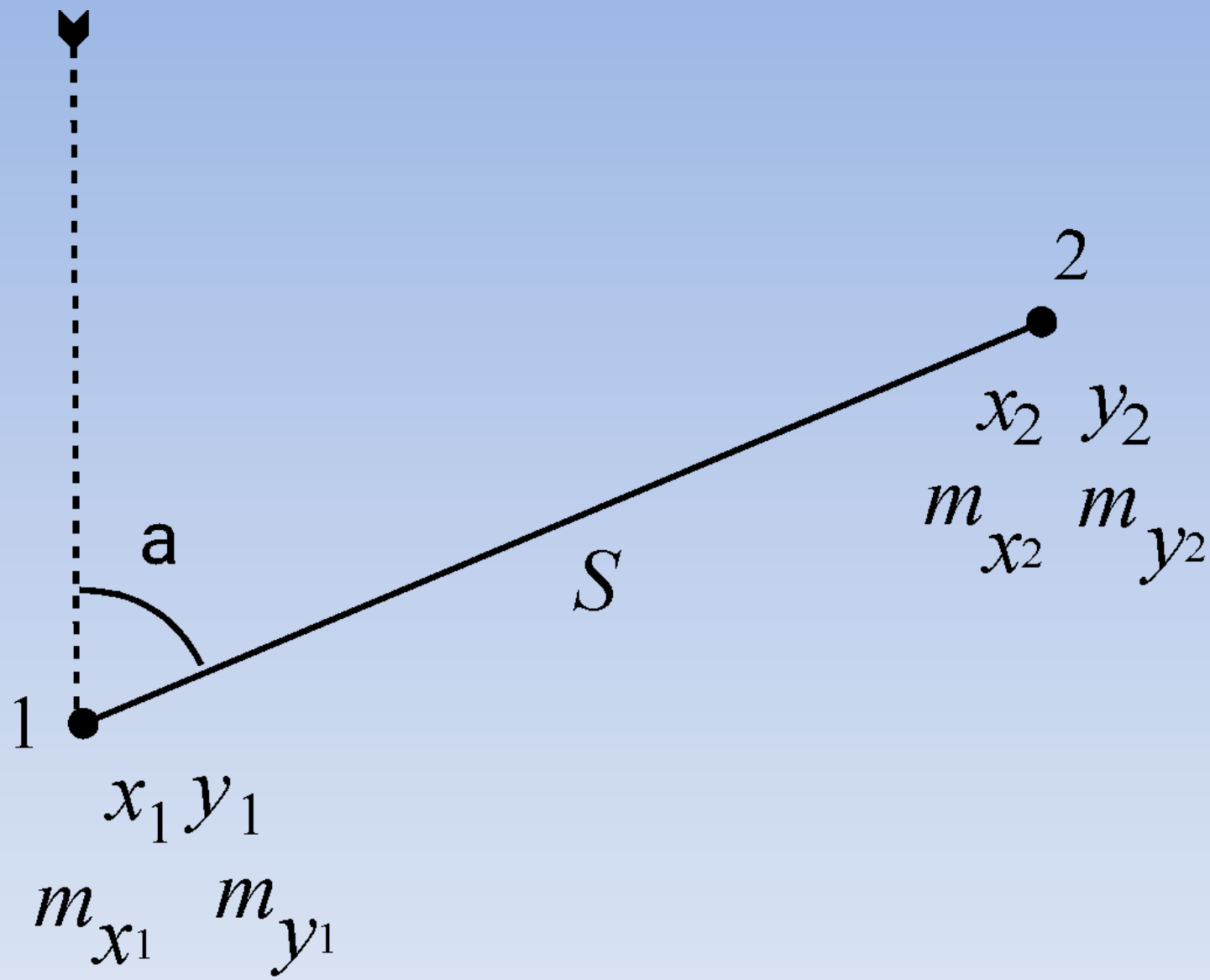
то  $m_s = m_t$

т.е. средняя квадратическая ошибка расстояния между точками на плане равна средней квадратической ошибке положения точки.

## 4. Точность направлений и углов, изображенных на плане.

Точность направления, характеризующегося дирекционным углом линии между двумя точками на плане, зависит от ошибок положения точек.

Пусть, положение каждой из точек определяется координатами  $x_1$  и  $y_1$ ,  $x_2$  и  $y_2$  со средними квадратическими ошибками  $m_{x1}$  и  $m_{y1}$ ,  $m_{x2}$  и  $m_{y2}$ .



Тогда дирекционный угол линии в направлении с точки **1** на точку **2** определится по следующей формуле

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}.$$

Продифференцируем данное выражение и перейдем к средним квадратическим ошибкам. В результате получим

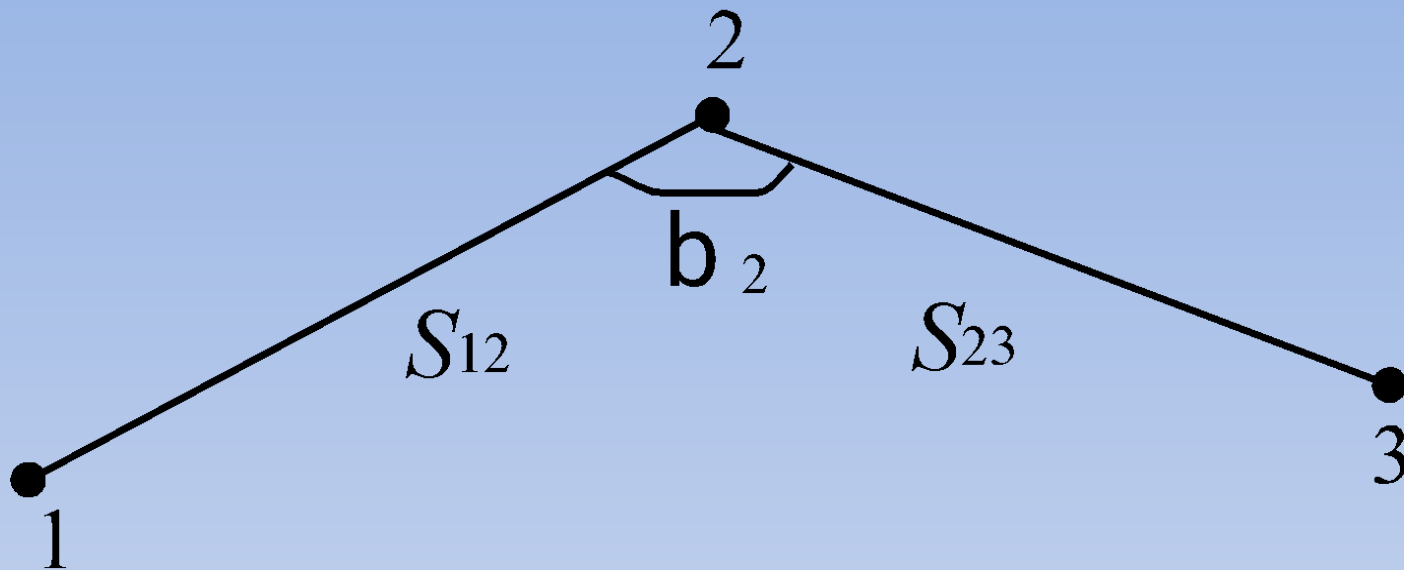
$$m_{\alpha}^2 = \frac{1}{2} (m_{t_1}^2 + m_{t_2}^2) \left( \frac{\rho'}{s} \right)^2$$

или

$$m_{\alpha} = \frac{m_t}{S} 3438'.$$

Данная формула показывает, что погрешность дирекционного угла увеличивается с уменьшением расстояния между точками.

Среднюю квадратическую ошибку угла  $\beta_2$ , заключенного между линиями, направленными из точки **2** на точки **1** и **3**, можно определить по следующей формуле



$$m_{\beta_2} = \rho' \sqrt{\left(\frac{m_{s_{12}}}{s_{12}}\right)^2 + \left(\frac{m_{s_{23}}}{s_{23}}\right)^2 - \frac{m_{t_2}^2 \cos \beta_2}{s_{12}s_{23}}}.$$



При  $\beta = 180^\circ$  погрешность становится максимальной, а при очень острых углах  $\beta$  погрешность угла приближается к погрешности, получаемой по формуле

$$m_\alpha = \frac{m_t}{S} 3438'.$$

## 5. Точность площадей контуров, изображенных на плане.

Ошибки положения точек контура вызывают ошибки его площади.

Чтобы определить погрешность площади контура в зависимости от погрешностей положения поворотных точек этого контура, следует, представить, что каждая точка определяется на плане независимо от других и ее положение характеризуется координатами  $x_i$  и  $y_i$  со средними квадратическими ошибками  $m_{x_i}$  и  $m_{y_i}$ .

Зависимость между площадью контура и координатами его поворотных точек можно представить формулой

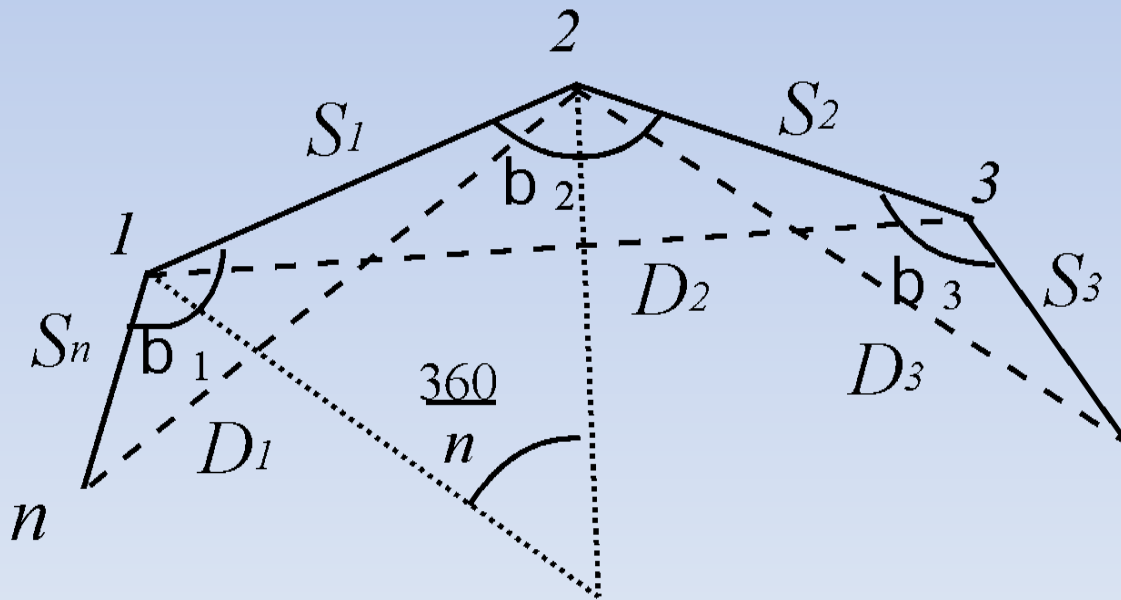
$$2P = \sum_{i=1}^n x_i (y_{i+1} - y_{i-1}).$$

Для получения зависимости между средними квадратическими ошибками площади и координат точек контура продифференцируем по всем переменным  $x_i$  и  $y_i$ , а затем перейдем от дифференциалов к средним квадратическим ошибкам. Приняв  $m_{x_i} = m_{y_i}$

ПОЛУЧИМ

$$m_P^2 = \frac{1}{8} \sum_{i=1}^n \left\{ (x_{i-1} - x_{i+1})^2 + (y_{i+1} - y_{i-1})^2 \right\} m_{t_i}^2.$$

Величины в фигурных скобках есть квадраты диагоналей, между точками  **$n-2$** ,  **$1-3$** ,  **$2-4$**  и т. д.



Эти диагонали  $D_i$  могут быть выражены через расстояния  $S_{i-1}$  и  $S_i$  между точками  $i-1$  и  $i+1$  и внутренние углы  $\beta_i$  при точках  $i$  так:

$$(x_{i+1} - x_{i-1})^2 + (y_{i+1} - y_{i-1})^2 = S_{i-1}^2 + S_i^2 - 2S_{i-1}S_i \cos \beta_i = D_i^2.$$

Тогда

$$m_P^2 = \frac{1}{8} \sum_{i=1}^n \left\{ (S_{i-1}^2 + S_i^2 - 2S_{i-1}S_i \cos \beta_i) \right\} m_{t_i}^2, (3).$$

ИЛИ

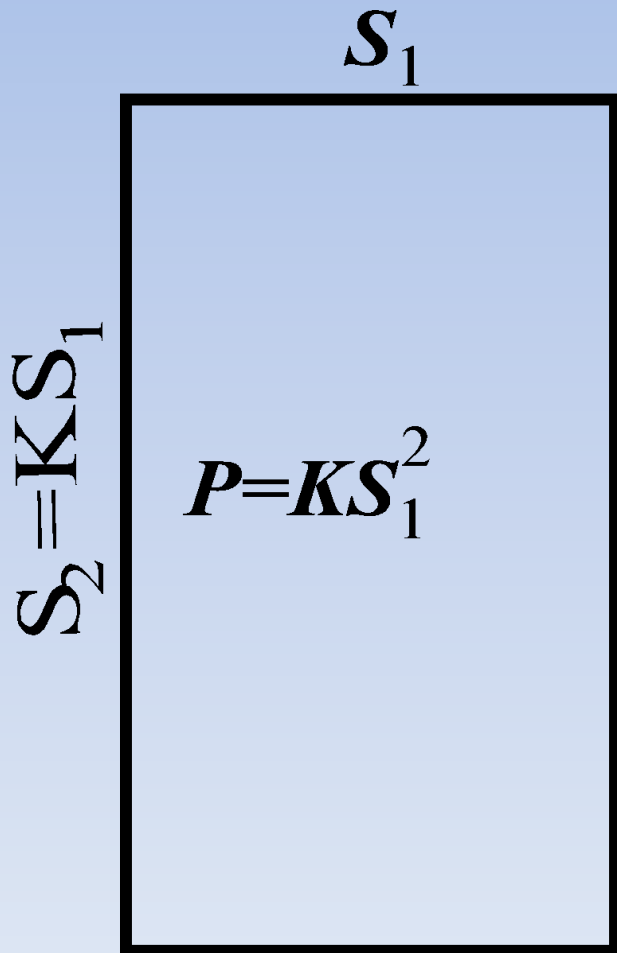
$$m_P^2 = \frac{1}{8} \sum_{i=1}^n m_{t_i}^2 D_i^2, (4).$$

По формулам (3) и (4) можно определить среднюю квадратическую ошибку площади фигуры любой формы.

Для правильного многоугольника

$$m_P = m_t \sqrt{\sin \frac{360^\circ}{n} P}.$$

Для фигуры прямоугольной формы с четырьмя точками поворота и соотношением сторон **1:K** будем иметь



$$m_P = m_t \sqrt{P} \sqrt{\frac{1 + K^2}{2K}}.$$

Для фигуры, по форме близкой к квадрату, при  **$n = 4$  и  $K = 1$**

$$m_P = m_t \sqrt{P}.$$

Поскольку определяемые площади земельных участков выражают в гектарах на местности, то среднюю квадратическую ошибку отображения площади на плане тоже принято выражать в гектарах. Тогда формула приобретет вид

$$m_{P(га)} = m_{t(см)} \frac{M}{10000} \sqrt{P_{(га)}},$$

где  $m_{t(см)}$  – средняя квадратическая ошибка положения точки на плане, см;

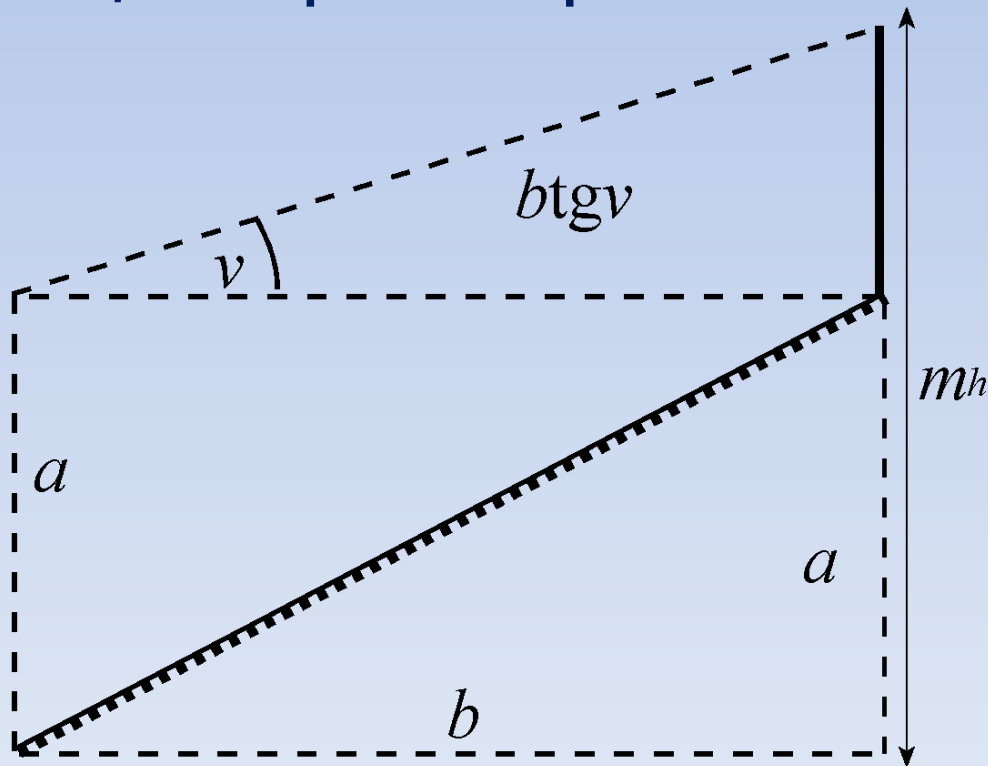
$M$  – знаменатель численного масштаба карты (плана);

$P_{(га)}$  – площадь участка на местности, га.



## 6. Точность превышений и уклонов, определяемых по плану.

Превышения и уклоны линий между точками определяют по плану с горизонталями, изображающими рельеф местности.



Точность изображения рельефа на плане обычно характеризуют **СКО высоты точки**, лежащей на горизонтали, т. е. СКО положения горизонтали по высоте. Эту погрешность определяют **формулой Коппе**

$$m_h = a + btgv$$

где ***a*** – величина, характеризующая точность определения точки земной поверхности по высоте,

***b*** – величина, характеризующая сдвиг точки в горизонтальной плоскости вследствие ошибок определения планового положения станции, с которой определяются пикеты и др.;

***v*** – угол наклона местности.

*Для приближенных расчетов можно принять СКО равной высоты сечения рельефа.*

СКО превышения  $h$  между точками **1** и **2** с высотами  $H_1$  и  $H_2$ , равного  $h=H_2-H_1$ , можно вычислить по формуле

$$m_h^2 = m_{H_1}^2 + m_{H_2}^2.$$

При

$$m_{H_1} = m_{H_2} = m_H$$

получим

$$m_h = m_H \sqrt{2}.$$

СКО уклона, определяемого по горизонталям плана, можно получить исходя из известной формулы

$$i = \frac{h}{s}$$

Продифференцировав  $i$  по аргументам  $h$  и  $s$ , перейдя к СКО можно записать

$$m_i \approx \frac{m_h}{s}$$

Формула показывает, что точность определения уклона уменьшается с уменьшением расстояния  $s$ .

## 7. Деформация бумаги и её учет при работе с планом.

При измерении по плану учитывают деформацию бумаги. Величина деформации характеризуется коэффициентами деформации, определяемыми в двух взаимно перпендикулярных направлениях по формуле

$$q = \frac{l_0 - l}{l_0}$$

где  $l_0$  – теоретическая длина линии, значащаяся на плане (например, длина сторон нескольких квадратов координатной сетки);

$l$  – результат измерения этой линии по плану.

Коэффициент деформации бывает различным: 1:400, 1:200, 1:100 и даже 1:50. Величина его зависит от сорта бумаги, условий хранения плана, времени, которое прошло со дня составления плана.

В связи с необходимостью учета деформации бумаги приходится в линии, определенные по плану вводить поправки.

Пусть  $l$  – результат измерения линии на деформировавшемся плане.

Требуется определить соответствующее ей горизонтальное проложение на местности  $l_0$ , т.е. ввести поправку за деформацию бумаги.

Запишем

$$l_0 = \frac{l}{1 - q}.$$



Умножив числитель и знаменатель на  $(1+q)$  и не учитывая по малости величину  $q^2$ , получим

$$l_0 = l + lq$$

где  $lq$  – поправка к линии  $l$ , обусловленная деформацией бумаги.

Если поправка в линию меньше точности масштаба, то её не вводят в результат измерения линии по плану.

**СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!**