

## О ВЛИЯНИИ ВЫСОТ ПУНКТОВ ТРИАНГУЛЯЦИИ НА ТОЧНОСТЬ ИЗМЕРЕНИЯ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ УГЛОВ

В работе [1] дана формула систематической ошибки ( $m_2$ ) измерения угла

$$m_2 = \sqrt{m^2 - m_1^2}, \quad (1)$$

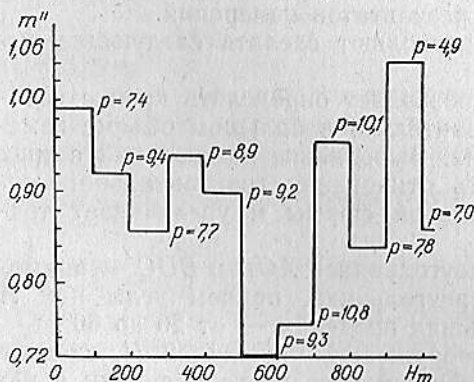
где  $m$  — средняя квадратическая ошибка измерения угла, полученная по невязкам треугольников;  $m_1$  — средняя квадратическая ошибка измерения угла, найденная из уравнивания на станции.

На основании исследований, описанных в работе [2], можно предположить, что изменение ошибки  $m$  в зависимости от внешних условий происходит в основном в результате изменения ошибки  $m_2$ , так как величина  $m_1$  мало подвержена влиянию изменения внешних факторов.

При изучении зависимости средней квадратической ошибки измерения угла от высот пунктов над уровнем моря были использованы 925 невязок треугольников 2 кл. в районе Дальнего Востока и 267 невязок в районе Казахстана.

Исследование проводили следующим образом. На схеме сети триангуляции были выписаны

Рис. 1. Связь ошибки измерения угла и средней высоты  $H_m$  треугольника для Дальнего Востока\*.



невязки треугольников и высоты пунктов над уровнем моря. Для каждого треугольника вычисляли и записывали на схему сети среднее значение  $H_m$  высот его вершин. Затем все невязки распределили на группы в зависимости от средней высоты вершин треугольников.

Для горного района (Дальний Восток) было выбрано 11 групп невязок треугольников со «ступенью» между смежными группами в 100 м. В первую группу вошли невязки треугольников, средние высоты которых не превышали 100 м над уровнем моря; во вторую — со средними высотами вершин 100—200 м и т. д. В каждой последующей группе верхний предел изменения средних высот увеличивался на 100 м. В последнюю груп-

\* За веса  $p$  принято число десятков треугольников каждой группы.

пу вошли невязки треугольников, средние высоты которых превышают 1000 м над уровнем моря.

Для всхолмленного района (Казахстан) было выбрано 10 групп невязок треугольников со «ступенью» между смежными группами в 20 м. В первую группу вошли невязки треугольников, средние высоты которых не превышали 220 м над уровнем моря; во вторую — со средними высотами 220—240 м и т. д. В последнюю группу вошли невязки треугольников, средние высоты которых превышают 380 м.

Для каждой группы по невязкам треугольников были подсчитаны средние квадратические ошибки измерения угла (табл. 1, 2)\*.

На основании полученных данных, можно сделать следующие выводы:

А. По Дальнему Востоку.

1. Можно предположить, что в горной местности средняя квадратическая ошибка измерения углов зависит от высот вершин треугольников над уровнем моря.

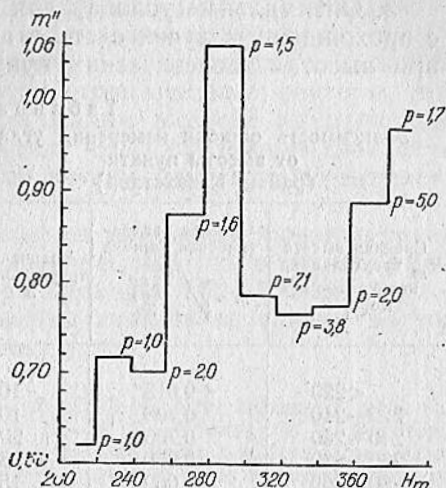


Рис. 2. Связь ошибки измерения угла и средней высоты  $H_m$  треугольника для Казахстана.

Таблица 1  
Зависимость ошибки измерения угла от высоты пункта (район Дальнего Востока)

Средняя высота $H_m$ треугольника над уровнем моря, м.	Средняя квадратическая ошибка $m = \sqrt{\frac{\sum w^2}{3n}}$	Количество треугольников $n$
0—100	$\pm 0,985''$	74
100—200	0,920	94
200—300	0,855	77
300—400	0,940	89
400—500	0,900	92
500—600	0,718	93
600—700	0,757	108
700—800	0,955	101
800—900	0,835	78
900—1000	1,040	49
>1000	0,855	70
Среднее для всего района	$\pm 0,884''$	$\Sigma 925$

\* Полученные результаты показаны на рис. 1 и 2.

2. При увеличении высот пунктов над уровнем моря от 0 до 500 м средняя квадратическая ошибка уменьшается с 0,985" до 0,718" (если не учитывать средней квадратической ошибки для 4-й и 5-й групп).

3. Оптимальные условия для ослабления ошибок, связанных с прохождением лучей света в атмосфере, вероятно, возникают при высотах геодезических пунктов над уровнем моря 500—

Таблица 2  
Зависимость ошибки измерения угла от высоты пункта (район Казахстана)

Средняя высота $H_m$ треугольника над уровнем моря, м	Средняя квадратическая ошибка $m = \sqrt{\frac{\sum w^2}{3n}}$	Количество треугольников $n$
< 220	$\pm 0,618''$	10
220—240	0,708	10
240—260	0,700	20
260—280	0,875	16
280—300	1,062	15
300—320	0,785	71
320—340	0,765	38
340—360	0,778	20
360—380	0,889	50
> 380	0,972	17
Среднее для всего района	$\pm 0,826''$	$\Sigma 267$
«Ступень» 100 м.		
200—300	$\pm 0,820''$	71
300—400	0,826	196

700 м, т. е. для 6-й и 7-й групп, где средние квадратические ошибки минимальны (0,718" и 0,757").

4. При увеличении высот пунктов с 700 до 1000 м над уровнем моря средняя квадратическая ошибка увеличивается с 0,718" до 0,935" (табл. 1) (если брать средние значения для 8-й и 9-й групп, а также для 10-й и 11-й). На этой восходящей ломаной линии наблюдается два максимума и два минимума, которые, возможно, случайны. Увеличение средней квадратической ошибки в 8-й, 11-й группах можно объяснить ухудшением условий на больших высотах: сильные ветры, туманы, снегопады и т. д.

#### Б. По Казахстану.

1. Для холмистой местности, где высоты пунктов находятся в пределах 200—400 м над уровнем моря, четкой зависимости между средними высотами треугольников и средней квадратической ошибкой измерения углов обнаружить не удалось. Это можно объяснить тем, что для Казахстана была выбрана малая «ступень» (20 м), при которой условия прохождения лучей света в атмосфере практически неизменны. Средняя квадратическая ошибка практически не изменится, если сравнить ее значения и для двух групп треугольников с разностью средних высот 100 м.

$$m_{200-300} = \pm 0,820''; m_{300-400} = \pm 0,826''.$$

2. Анализируя график, приведенный на рис. 2 (для Казахстана), видим, что средняя квадратическая ошибка увеличивается (с 0,618" до 0,972") при увеличении средних высот треугольников с 220 до 380 м. Эта же закономерность наблюдает-

ся для Дальнего Востока ( $m_{200-300} = \pm 0,855''$ ;  $m_{300-400} = \pm 0,940''$ ). Выяснение причин такой закономерности выходит за рамки данной работы.

Таким образом, высоты пунктов влияют на точность измерения горизонтальных углов в горных районах. По-видимому, при средних высотах условия наблюдений оптимальны, так как визирные лучи проходят высоко над подстилающей поверхностью, но еще не сказываются отрицательные факторы, присущие большим высотам. При малых высотах на равнинных участках визирные лучи проходят через приземные слои атмосферы, особенно подверженные резким изменениям температуры, давления и влажности.

Все сказанное следует учитывать при проектировании триангуляции, т. е. пункты желательно располагать в точках, имеющих высоты над уровнем моря примерно 500—700 м.

В холмистой местности высоты пунктов не влияют на точность измерения горизонтальных углов.

**Список литературы:** 1. *Проворов К. Л.* О точности сплошных сетей триангуляции. М., Геодиздат, 1956, с. 10—11. 2. *Пузанов С. И.* Некоторые вопросы точности угловых измерений в триангуляции 2 и 3 классов. «Сборник научно-теоретических и производственных статей по геодезии, аэрофото-топографии и картографии», 1969, вып. 24. М., с. 70—80.

Работа поступила в редколлегияу 30 декабря 1976 года. Рекомендована кафедрой геодезии Львовского политехнического института.