**КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ ИЗ ТЕОРИИ ПОГРЕШНОСТЕЙ**

**Виды измерений**

*Измерения* в геодезии являются количественной и качественной основой для изучения Земли, для получения исходной информации при решении всех инженерно-геодезических задач и выполнения топографических работ. Любое измерение выражается количественной характеристикой (величиной угла, длиной линии, превышением, площадью участка местности и т.п.) и имеет качественную сторону, которая характеризует точность полученного результата.

Величины, которые получают в процессе производства геодезических работ, можно классифицировать на *измеренные* и *вычисленные*. В первом случае величину получают обычно *непосредственно*, путем сравнения ее с единицей средства измерения, или *косвенно*, как функцию двух или нескольких непосредственно измеренных величин. Например, площадь прямоугольника может быть получена как произведение его сторон, измеренных непосредственно.

Под *результатом измерения* предусматривается конечный результат, который получается в процессе всех произведенных измерений и вычислений.

Например, конечным результатом может быть высота точки, ее координаты, площадь участка и т.п. Результаты измерений в своей группе могут быть *равноточными* и *неравноточными*.

Если измерения выполнены прибором одного и того же класса точности, по одной и той же методике (программе), в одинаковых внешних условиях, одним и тем же наблюдателем (либо наблюдателями одной квалификации), то такие измерения относят к равноточным. При несоблюдении хотя бы одного из перечисленных выше условий результаты измерений классифицируют как неравноточные.

Примером равноточных измерений могут являться результаты измерений длины одной и той же линии, либо линий, примерно равных друг другу, полученные при неизменных условиях внешней среды, одним и тем же измерительным средством (прибором), одними и теми же исполнителями работ, по общей для всех результатов измерений программе. Если в процессе измерений длины линии, например, стальной лентой, изменится температура окружающего воздуха или поверхности грунта, на который укладывается полотно ленты, то это приведет к получению части неравноточных результатов в общей группе результатов измерений, поскольку при изменении температуры происходит и изменение длины стальной ленты.

Число измеренных величин и число измерений может быть *необходимым* и *избыточным.*

При измерении, например, углов в треугольнике число необходимых измеренных величин равно двум. Значение третьего угла можно вычислить по сумме двух измеренных углов. Если необходимо решить плоский треугольник, то дополнительно обязательным является знание длины хотя бы одной из сторон, в связи с чем число необходимых измеренных величин должно быть равно трем, при этом одно из измерений – линейное при двух известных углах, либо два линейных измерения и один угол, заключенный между измеренными сторонами треугольника.

Таким образом, числом необходимых измеренных величин является минимально необходимое их число, при котором обеспечивается решение поставленной задачи. Число же измеренных величин, превышающих число необходимых, называется числом *избыточных* величин. В геодезии принято обязательным получать и избыточные величины, что обеспечивает обнаружение грубых погрешностей и промахов, позволяет повысить точность результатов измерений. Поэтому в треугольнике, например, обязательно измеряют все три угла и сравнивают полученную сумму углов с теоретической.

Если сформулировать задачу с точки обеспечения заданной точности измерений, то необходимое число измерений должно обеспечивать заданную точность измерения одной величины или самого результата измерений. Так, в том же треугольнике каждый из его углов может быть измерен несколько раз. Все избыточные измерения повышают надежность результатов, а также их точность, но в то же время и увеличивают объем работ, и часто прирост увеличения точности становится экономически нецелесообразным из-за большого числа наблюдений. Иногда говорят, что числом необходимых измерений является одно измерение, остальные – избыточные. Это не всегда так, поскольку, как будет показано выше, одно измерение не позволяет производить оценку точности и может содержать не контролируемую грубую погрешность (промах).

**Классификация погрешностей измерений**

Любые измерения, как бы они тщательно не выполнялись, сопровождаются *погрешностями*, которые представляют собой отклонение результата измерения от истинной его величины. Отклонения результатов измерения от истинной величины возникают из-за изменения условий измерений. Изменение условий измерений вызывает также изменение характеристик средства измерения, приводит к появлению личных ошибок (погрешностей) самого наблюдателя, колебаниям видимого положения наблюдаемого объекта (точки).

Если результат измерения *Х* известен точно, то разность между измеренной величиной *х* и истинным значением

D = *x* - *X* (3.1)

называют *абсолютной погрешностью*.

Отношение абсолютной погрешности к результату измерения называют *относительной погрешностью*

**

Не для любого результата измерения можно определить относительную погрешность. Например, при определении горизонтального угла можно оперировать только абсолютной погрешностью. А величина относительной погрешности в этом случае может быть определена только косвенно, с привлечением результатов линейных измерений, для оценки, например, планового положения точки на земной поверхности в принятой системе прямоугольных координат.

В результате измерений могут появиться *грубые погрешности*, проявляющиеся в виде промахов и просчетов наблюдателя, из-за незамеченных неисправностей прибора, либо из-за резких изменений внешних условий наблюдений. Результаты грубых измерений обнаруживаются при повторных измерениях, отбраковываются и заменяются новыми. Как будет показано выше, критерием отбраковки грубых результатов может явиться и величина установленной для данного вида работ *предельной погрешности* измерений.

Особое место при геодезических измерениях занимают систематические и случайные погрешности.

Внешние условия измерений, изменение характеристик измерительного средства могут вызвать появление погрешностей одностороннего (одного знака) или знакопеременного вида – *систематических погрешностей*.

Систематические погрешности являются весьма опасными при измерениях, поскольку для их учета надо знать чаще всего изменение характеристик измерительного средства, как внутреннего свойства, определяемых конструкцией прибора и технологией его изготовления, так и при воздействии внешних условий. Например, длина мерной ленты из стального полотна при температуре t1 оС равна *L1* , а при изменении температуры до t2 оC она станет равной *L2* . Если не учитывать изменение температуры (т.е. не определять ее в момент измерений), то наблюдатель при температуре t2 оC будет пользоваться прежним значением длины ленты *L1* , что и даст в результатах измерений систематическую погрешность величиной (*L1* - *L2* ) *n*, где *n* – число укладок ленты в измеряемой линии.

Часто систематические погрешности исключают особыми приемами в работе (в рассмотренном выше случае – введением поправок на изменение длины ленты из-за изменения температуры), устанавливают в результате исследования особенности работы прибора, выполняют работы по специальной методике, при которой систематические погрешности исключаются полностью, либо действие их значительно ослабляется. В некоторых случаях полное исключение систематических погрешностей является практически неосуществимым, в связи с чем проводят специальные исследования с целью установления закона изменения систематических погрешностей и введения поправок в результаты измерений.

Источниками *случайных погрешностей* в измерениях являются неподдающиеся учету мгновенные изменения (флуктуации) внешних условий, которые приводят к неопределенности в каждый момент времени в видимом положении наблюдаемой цели, к относительно мгновенным изменениям характеристик прибора, погрешностям считывания по шкалам прибора и устройств, устанавливаемых на цели и др. По своей величине каждая из составляющих случайных погрешностей является малой, однако в некоторых случаях их совместное действие может быть существенным. В первом приближении случайную погрешность можно определить как разность результата измерения и истинного значения, если в измеренной величине отсутствует грубая погрешность и учтена погрешность систематическая.

**Свойства случайных погрешностей**

Группа случайных погрешностей измерения одной и той же величины подчиняется *нормальному закону распределения*.

Рассмотрим ряд случайных погрешностей, определяемых как отклонение результата измерения *хi* одной и той же величины, свободного от грубых и систематических погрешностей, от истинного значения *Х*:



На основании теоретических и опытных данных установлены следующие свойства ряда случайных погрешностей.

*Свойство 1.* При выполнении измерений одной величины равновероятно появление случайных погрешностей, равных по величине, но противоположных по знаку*.*

*Свойство 2*. Малые по абсолютной величине погрешности встречаются чаще, чем большие.

*Свойство 3*. При неизменных условиях измерений случайные погрешности не превосходят по абсолютной величине известного предела:



*Свойство 4*. При большом числе измерений среднее арифметическое из случайных погрешностей стремится к нулю, т.е.

 