Министерство образования Российской Федерации МИИГА и К

Факультет вечерний

Направление впечатать сюда

**Выпускная работа**

**на тему:**

**«Характеристика различных способов тригонометрического нивелирования»**

Студент ФИО (\_\_\_)

Руководитель ФИО (\_\_\_)

«Работа к защите допущена»

Зав. кафедрой ФИО (\_\_\_)

Москва 2003

**Содержание**

[Введение 3](#_Toc42143056)

[1. Тригонометрическое нивелирование 5](#_Toc42143057)

[1.1. Принципы тригонометрического нивелирования 5](#_Toc42143058)

[1.2. Теория различных способов тригонометрического нивелирования 6](#_Toc42143059)

[1.3. Погрешности тригонометрического нивелирования в зависимости от точности измеренных расстояний 11](#_Toc42143060)

[1.4. Влияние угла земной рефракции на точность определение превышений при различных способах тригонометрического нивелированиия 16](#_Toc42143061)

[1.5. Влияние погрешностей в определении абсолютных отметок точек на точность определения превышений 17](#_Toc42143062)

[1.6. Влияние погрешностей определения уклонений отвеса на точность определения превышений 18](#_Toc42143063)

[1.7. Влияние непараллельности уровенных поверхностей на определяемое превышение 19](#_Toc42143064)

[1.8. Сравнение погрешностей определения превышений различными способами тригонометрического нивелирования 20](#_Toc42143065)

[2. Геодезические методы определения превышений центров пунктов государственной геодезической сети 22](#_Toc42143066)

[2.1. Способ одностороннего тригонометрического нивелирования 22](#_Toc42143067)

[2.2. Способ двухстороннего тригонометрического нивелирования 23](#_Toc42143068)

[2.3. Способ тригонометрического нивелирования через точку 24](#_Toc42143069)

[3. Государственные геодезические сети 25](#_Toc42143070)

[Заключение 28](#_Toc42143071)

[Список использованных источников 29](#_Toc42143072)

# Введение

Главной задачей в капитальном строительстве яв­ляется повышение эффективности капитальных вложений за счет улучшения планирования, проектирования и орга­низации строительного производства, сокращения продол­жительности и снижения стоимости строительства. В настоящее время в нашей стране расширяется строительство крупных промыш­ленных комплексов, городов.

Инженерно-геодезические работы стали неотъемлемой частью технологического процесса строительства, сопут­ствуя всем этапам создания сооружения. От оперативного и качественного геодезического обеспечения во многом зависят качество и сроки строительства. Инженеру-геодезисту необходимо знать состав и технологию геодезических работ, обеспечивающих изыскания, проектирование, стро­ительство и эксплуатацию сооружений. Он должен уметь квалифицированно использовать топографо-геоде­зический материал, выполнять типовые детальные раз­бивки для отдельных строительных операций и регламент­ные исполнительные съемки результатов строительно-монтажных работ.

Нивелирование - это вид геодезических работ по опре­делению превышений.

Нивелирование обычно используют для определения высот точек при составлении топографических планов, карт, профилей, при перенесении проектов застройки и планировки территории по высоте. При производстве строительно-монтажных работ с помощью нивелирования устанавливают строительные конструкции в проектное положение по высоте. Применяют нивелирование при наблюдениях за осадками и деформациями зданий, для определения вертикальных перемещений точек зданий и сооружений.

Различают следующие методы нивелирования:

1) геоме­трическое нивелирование;

2) тригонометрическое нивелирование;

3) физическое нивелирование:

- гидростатическое нивелирование;

- барометрическое нивелирование;

- радиолокационное нивелирование;

4) автомати­ческое.

Геометрическое нивелирование - это метод определе­ния превышения с помощью горизонтального визирного луча и нивелирных реек. Для получения горизонтального луча используют прибор, который называется нивелиром. Геометрическое нивелирование широко применяется в геодезии и строительстве.

Тригонометрическое нивелирование - это метод опре­деления превышения по измеренному углу наклона и расстоянию между точками. Его применяют при топо­графических съемках и при определении больших пре­вышений.

К физическому нивелированию относят методы, основан­ные на использовании различных физических явлений: метод гидростатического нивелирования, основанный на применении сообщающихся сосудов; барометрического ни­велирования, основанный на определении превышений по разностям атмосферного давления в наблюдаемых точ­ках; радиолокационного нивелирования, основанного на отражении электромагнитных волн от земной поверхно­сти и определении времени их прохождения.

Метод гидростатического нивелирования применяют в производстве строительно-монтажных работ для выверки конструкций в стесненных условиях. Его часто используют при наблюдениях за деформациями инженер­ных сооружений.

Барометрическое нивелирование применяют в началь­ный период инженерных изысканий. Радиолокационное нивелирование выполняют при аэрофотосъемке местности.

Автоматическое нивелирование осуществляют с по­мощью специальных приборов, устанавливаемых на авто­мобилях, железнодорожных вагонах и т.п. При автома­тическом нивелировании сразу вычерчивается на специаль­ной ленте профиль местности. Этот метод находит приме­нение при изысканиях линейных сооружений и для кон­троля положения железнодорожных путей.[[1]](#footnote-1)

Геометрическое нивелирование в настоящее время изучено достаточно полно и не вы вызывает сомнений в своих точностных характеристиках.

# Тригонометрическое нивелирование

## Принципы тригонометрического нивелирования

При тригонометрическом нивелировании (рис. 1) над точкой А устанавливают теодолит и измеряют высоту при­бора iп, a в точке В устанавливают рейки. Для определе­ния превышения h измеряют угол наклона ν, горизонталь­ное проложение d и фиксируют высоту визирования V (отсчет, на который наведен визирный луч).

Из рис. 1 видно, что

В1В2 = d tg ν; В1В3 = В1В2 + iп; (1.1)

h = ВВ3 = В1В3 – V (1.2.)

Тогда

h = d tg ν + iп – V (1.3)

При использовании тригонометрического нивелирова­ния для топографических съемок в качестве визирной цели в точке В устанавливают нивелирную рейку. В этом случае d определяют с помощью нитяного дальномера.

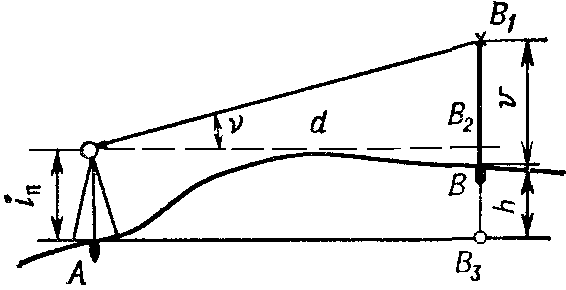


Рис. 1.1. Упрощенная схема тригоно­метрического нивелиро­вания

Известно, что

d = (Кn + с) cos2 ν (1.4)

Подставив это значение в формулу (1.3), получим формулу для вычисления превышения:

h = (Кn + с) cos2 ν tg ν + iп – V;

h = (1/2) (Kn + с) sin2 ν + iп – V (1.5)

В процессе нивелирования на открытой местности при измерении угла ν удобно визировать на точку, располо­женную на высоте прибора.

Для этого на отсчете по рейке, равном iп, привязы­вают ленту. Тогда при iп = v формула (1.5) примет вид:[[2]](#footnote-2)

h = (1/2) (Кn + с) sin 2ν (1.6)

## Теория различных способов тригонометрического нивелирования

Применение различных способов тригонометрического нивелирования вызвано стремлением к ослаблению влияния земной рефракции. Существуют две гипотезы действия земной рефракции на результаты измерения вертикальных углов.

В первой предполагается равенство углов земной рефракции при одновременном изменении вертикальных углов на концах линии в направлении друг на друга.

Во второй – равенство углов земной рефракции при одновременных измерениях вертикальных углов с точки стояния инструмента в любых направлениях.

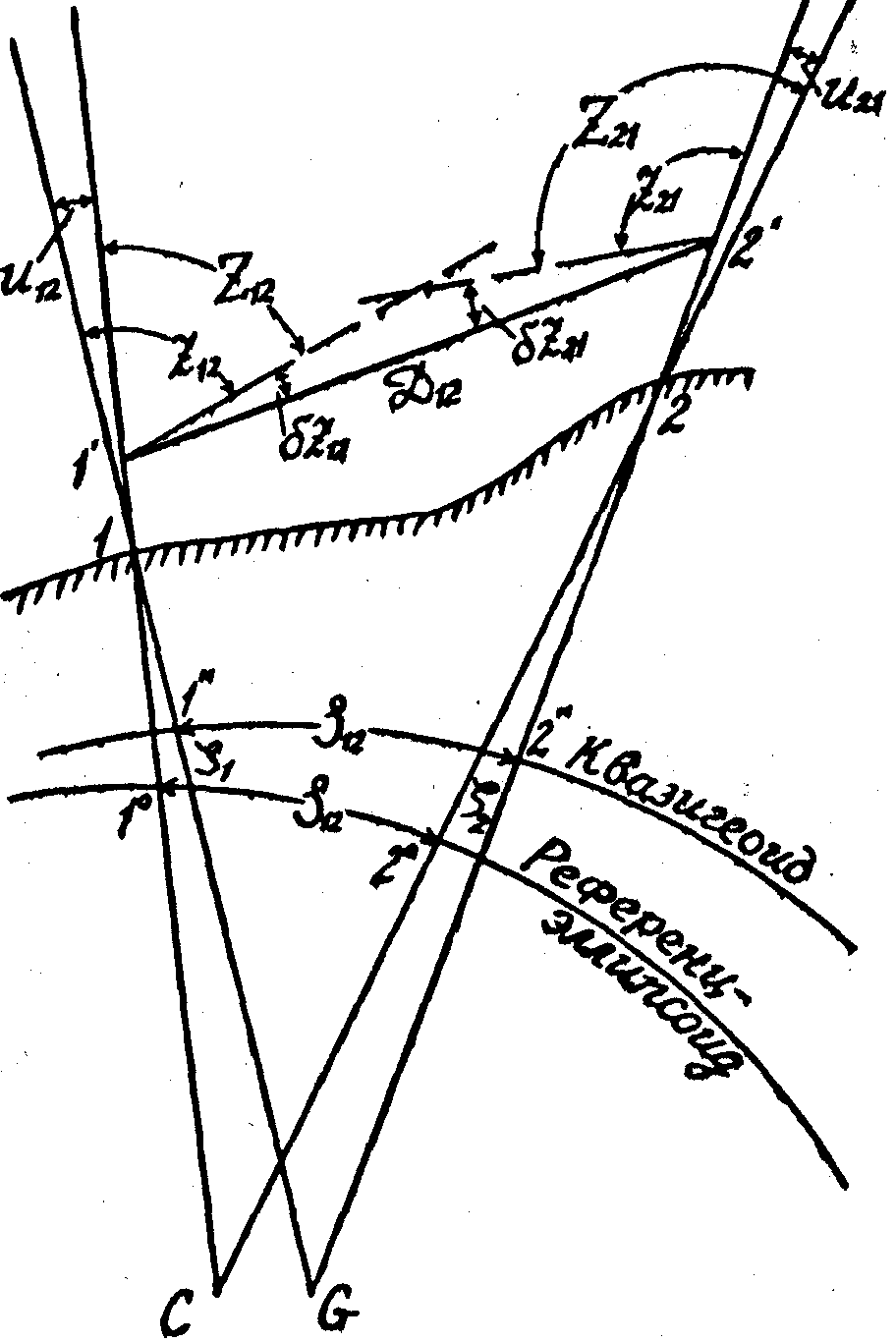


Рис. 1.2.

Первая гипотеза учитывает разнообразие условий рельефа по линиям, а вторая идентичность условий наблюдений в точке стояния инструментов.

Рассмотрим теорию различных способов тригонометрического нивелирования

Геометрические построения для этого выполнены на рис. 1.2.

1', 2' места, установки теодолитов;

1,2 - центры знаков на земной поверхности;

1"2" - проекции точек 1 и 2 на поверхность квазигеоида;

1°,2° проекции точек 1 и 2 на поверхность референц-эллипсоида;

1С, 2С- нормали к поверхности референц-эллипсоида, проходящие через точки 1 и 2 соответственно;

1G, 2G - отвесные линии проходящие через точки 1 и 2;

Z12, Z21 - зенитные расстояния точек 1 и 2, отнесенные к нормалям референц-эллипсоида в этих же точках;

z12, z21 - измеренные в точках 1 и 2 зенитные расстояния;

δz12, δz21 - величины углов земной рефракции в точках 1' и 2' по направлению 1-2.

На рис. 1.2 показано, что нормали и отвесные линии пересекаются в точке С и G. На самом деле этого не происходит, точки С и G надо рассматривать как пересечение проекций линий 1С, 2С, 1G, 2G, на плоскость чертежа, совпадающую с плоскостью нормального сечения с точки 1 на точку 2.

Для упрощения обозначим отрезок 11' представляющий высоту инструмента в точке 1 через i1, а 22' через i2. Примем, что высоты инструментов и визирных целей на этих точках равны между собой, то есть i1 = l1 и i2 = l2.

Отрезки 11' и 22', характеризующие абсолютные отметки точек 1 и 2 в системе нормальных высот, обозначим через Н1 и Н2 соответственно.

Высоты точек 1 и 2 над поверхностью референц-эллипсоида равные 11° и 22° обозначим через Q1 и Q2, а высоты квазигеоида над поверхностью референц-эллипсоида в этих же точках обозначим через ζ1 и ζ2.

Проекцию линии 12, изображенную дугами 1°2° ≈ 1"2", на поверхности относимости обозначим через S . Длины этих дуг с точностью до малых величин третьего порядка относительно сжатия принятого эллипсоида можно считать равными длине дуги окружности с радиусом R, определяемым по формуле:

R = (1.7)

где N – радиус кривизны первого вертикала,

А12 – азимут линии 12, а величина

η = e'cos2Bm

где e' – второй эксцентриситет эллипсоида,

Bm – средняя широт точек 1 и 2.

Значения высот по отвесным линиям и нормалям к референц-эллипсоиду можно принимать практически одинаковыми. Разница этих высот в самом неблагоприятном случае, при Н = 7 км, не превышает 0,2мм.

В системе нормальных высот для одностороннего тригонометрического нивелирования имеем:

h12 = S ctg(z12 + δz12) + + i1 – l2 + (U12 – U21)S + ΔЕ12 (1.8)

а для двухстороннего:

h12=S tg+ + - +S + ΔЕ12 (1.9)

где U12 = z12 – Z12 , U21 = z21 – Z21  - наблюдаемые в точках 1 и 2 уклонения отвесных линий в плоскости нормального сечения линий 12;

Um – среднеинтегральное значение уклонения отвеса по линии 12;

ΔЕ - поправка за переход от измеренной разности высот к разности нормальных высот точек 1 и 2, вычисляемые по формуле:[[3]](#footnote-3)

ΔЕ = – (Н1 – Н2)(В2 – В1)sin2Bm , (1.10)

где g – измеренная сила тяжести в точках линии 12;

γ – нормальная сила тяжести;

В12 – геодезические широты точек 1 и 2;

Bm – среднее значение широты линии 12;

Н1,2 – абсолютные высоты точек 1 и 2 в км.

К формулам (1.8) и (1.9) необходимо прибавить величину Δh = .

Погрешность вычисления превышений по формулам (1.8) и (1.9) за счет неучета Δh менее 1,5 мм лишь при превышениях h<100 м, тогда как при h>100 м ее величина возрастает пропорционально квадрату превышения.

Прогресс в области электрооптических измерений позволил осуществлять измерения длин линий с высокой точностью.

Сложившаяся практика выполнения тригонометрического нивелирования основана на использовании одностороннего и двухстороннего способов по горизонтальным проложениям, тогда как способы с непосредственно измеренными наклонными расстояниями не применяются. Хотя совершенно очевидно, что использование горизонтальных проложений приводит к потере времени за счет вычисления их величин.

Рассмотрим формулу одностороннего тригонометрического нивелирования по измеренным наклонным расстояниям (рис. 1.2):

1'2' = D – измеренное наклонное расстояние,

1"G, 2"G – радиусы кривизны квазигеоида, принимаемые равными радиусу кривизны эллипсоида – R.

Из треугольника 1'G2', считая известной сторону 1'G, найдем сторону 2'G:

2'G = (1.11)

приняв во внимание, что

2'G = R + H1 + h12 + l2, (1.12)

1'G = R + H1 +i1, (1.13)

произведя вычитание получим:

2'G – 1'G = h12 + l2 – i1 (1.14)

Выражение примет вид:

h'12 = – (R+H1) - l (1.15)

Для перехода к нормальному превышению необходимо ввести поправки за уклонение от отвесной линии Δhu и за непараллельность уровенных поверхностей ΔЕ.

Δhu = ξ1 – ξ2 , или Δhu = (U12 – Um12)Dsin(z12 + δz12). Поправка ΔЕ вычисляется по формуле (1.10). Таким образом окончательная формула одностороннего тригонометрического нивелирования примет вид:

h'12= –(R+H1)–l+(U12–Um12)Dsin(z12+δz12) +ΔЕ12 (1.16)

Примем i2 = l2. Переход к разности нормальных высот осуществляется с помощью поправок Δhu и ΔЕ. Окончательная формула двухстороннего тригонометрического нивелирования по измеренным наклонным расстояниям содержит еще один измеренный элемент z12 и имеет вид:

h12=+i1–i2+ΔЕ12+Dcos (1.17)

В этих формулах принято что высоты теодолита, дальномера и визирной цели в точке 1 равны между собой, а в точке 2 аналогичное равенство наблюдается для теодолита, отражателя и визирной цели. В практике геодезических работ это условие не соблюдается. Кроме того измеренное наклонное расстояние, после введения поправок за центровку дальномера и редукцию отражателя принимается равным расстоянию между центрами знаков. Это действительно имеет место при z = 90° и больших длинах измеряемых сторон. Однако с увеличением углов наклона и использованием высоких сигналов измерения длина линии, исправленная поправками за центровку дальномера и редукцию отражателя, не будет равна расстоянию между центрами знаков.

Рассмотрим способ тригонометрического нивелирования через промежуточную точку. Иногда этот способ называют еще тригонометрическим нивелированием из середины. Этот способ аналогичен одностороннему тригонометрическому нивелированию и предполагает значительное ослабление рефракционных воздействий, если считать справедливой вторую рефракционную гипотезу.

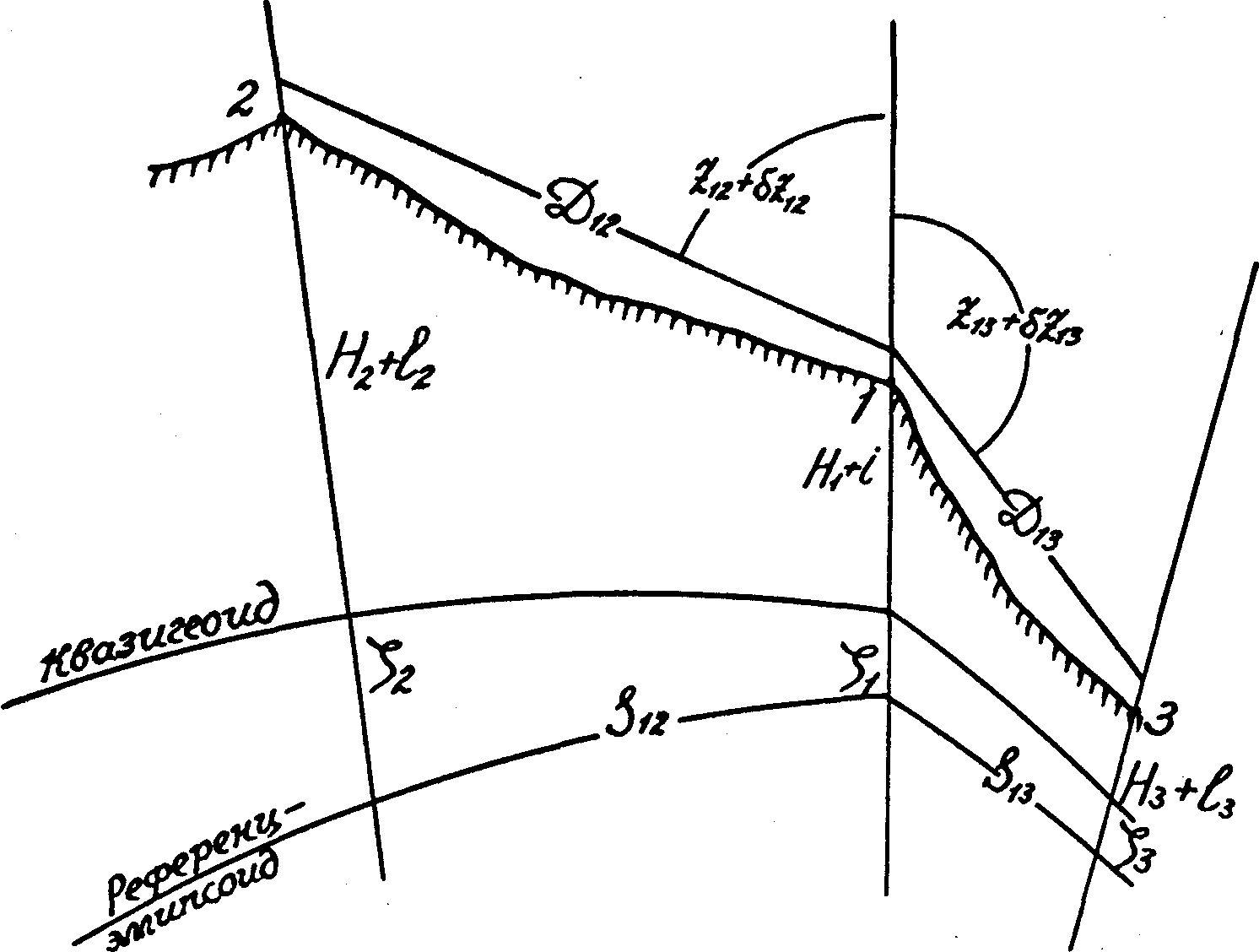


Рис. 1.3.

Рассмотрим рис. 1.3, обозначения на котором полностью соответствуют ранее принятым на рис. 1.2.

Требуется по измеренным в точке 1 зенитным расстояниям определить превышение между точками 2 и 3.

Превышения между точками 1, 2 и 1, 3 в системе нормальных высот при использовании горизонтальных проложений определяется по формуле (1.8). Обозначим

S13 = S12 + ΔS (1.18)

Вычислив разность превышений между указанными точками, найдем:

h32 = S12(ctg(z12 + δz12) – ctg(z13 + δz13)) + (H2ctg(z12 + δz12) – H3ctg(z13 + δz13)) – ΔS ctg(z13 + δz13) – + + l1 – l2 + S12(U12–U13+Um13–Um12) – ΔS(U13–Um13) + ΔE12 – ΔE13  (1.19)

Формула тригонометрического нивелирования через точку с использованием непосредственно измеренных наклонных расстояний выводится аналогично с условием, что

D13 = D12 + ΔD (1.20)

h32 =  – ‑  + + D12(sin(z12+δz12)(U12–Um12) - sin(z13+δz13)(U13–Um13)) + ΔD(U13–Um13) sin(z13+δz13) + + ΔE12 – ΔE13 + l3 – l2 (1.21)

При соблюдении равноплечья члены, содержащие ΔS и ΔD обращаются в ноль, формула существенно упрощается.

Сравнив формулы способов тригонометрического нивелирования можно сделать вывод, что способ двухстороннего нивелирования по измеренным наклонным расстояниям содержит минимальное количество величин, необходимых для вычисления превышений. Раньше, с точки зрения производственного применения способ двухстороннего тригонометрического нивелирования являлся более предпочтительным.

Однако с использованием ЭВМ для вычисления предпочтение можно отдать способу тригонометрического нивелирования через точку.

## Погрешности тригонометрического нивелирования в зависимости от точности измеренных расстояний

Для подсчета суммарных величин погрешностей превышений для способов тригонометрического нивелирования воспользуемся формулой вычисления средней квадратической ошибки:[[4]](#footnote-4)

(1.22)

Полные формулы погрешностей превышений для способов тригонометрического нивелирования получим из формул (1.8), (1.9), (1.16), (1.17), (1.19), (1.21).

Для одностороннего тригонометрического нивелирования по горизонтальным проложениям имеем:

mh2 = ms2 + mH2 + mR2 + (m2Z12 + m2δZ12) + S122(m2U12 + m2Um12) + m2ΔE12 + m2i + m2l  (1.23)

Для одностороннего тригонометрического нивелирования по непосредственно измеренным наклонным расстояниям:

mh2 = mD2+ +·(mR2+mH2)+ +(mR2+mH2)+ +mi2+(D12sin(z12+δz12))2(m+m)+ +m+ m (1.24)

Формула полной погрешности превышения для двухстороннего тригонометрического нивелирования по горизонтальным проложениям имеет вид:

m=‑m+ 2‑ m + +‑m+2‑+ +2 m +Sm+ m+2+2 (1.25)

Аналогично формулу полной погрешности превышения для двухстороннего тригонометрического нивелирования по наклонным расстояниям можно получить подставив в формулу (1.22) (1.17)

Формулу полной погрешности тригонометрического нивелирования через точку по горизонтальным проложениям получим подставив (1.19) в (1.22).

Формула полной погрешности тригонометрического нивелирования через точку при использовании непосредственно измеренных наклонных расстояний выводится путем подстановки (1.21) в (1.22).

Сравнение величин предвычисленных средних квадратических ошибок определения превышений различными способами тригонометрического нивелирования в зависимости от отдельных источников ошибок выполним применительно к принятому подразделению рельефа местности на следующие районы (см. табл. 1.1.):

Плоскоравнинные 89° ≤ z ≤ 91°

Всхолмленные 86° ≤ z ≤ 94°

Горные 80° ≤ z ≤100°

Особые случаи 60° ≤ z ≤120°

К особым случаям относятся построения геодезического обоснования таких сооружений как фуникулеры, подъемники, канатные дороги, когда допускается включать в сеть стороны с зенитными расстояниями от 60° до 120°.

Для сопоставления точностей различных способов тригонометрического нивелирования все расчеты выполним для конкретных величин горизонтальных проложений равных 0,2, 0,6, 1,0, 1,5 2,0, 2,5, 3,0км.

Значения каждого из указанных горизонтальных проложений остаются неизменными для предельных зенитных расстояний, характеризующих район работы.

В расчетах участвуют указанные величины горизонтальных проложений и соответствующие им непосредственно измеренные наклонные расстояния, величины которых предвычисляются по формуле: D=S·cosecZ.

Для этого расчета принимается относительная ошибка определения горизонтальных проложений не более 1/50000, а погрешность непосредственного измерения длин линий от 0,1 до 6 км ± 10 мм.

Таблица .. Величины средних квадратических ошибок превышений в зависимости от точности определения расстояний для различных способов тригонометрического нивелирования

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Районы | Способ\* | Вид расстояния | Величины mh/SD в мм для горизонтальных проложений в км | | | | | | |
| **0,2** | **0,6** | **1,0** | **1,5** | **2,0** | **2,5** | **3,0** |
| Плоскоравнинный | 1, 2 | S | 0,0 | 0,2 | 0,4 | 0,5 | 0,7 | 0,9 | 1,1 |
| D | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,2 |
| 3 | S | 0,1 | 0,4 | 0,7 | 1,1 | 1,4 | 1,8 | 2,2 |
| D | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 0,4 |
| Всхолмленный | 1, 2 | S | 0,3 | 0,8 | 1,4 | 2,1 | 2,8 | 3,5 | 4,2 |
| D | 0,7 | 0,7 | 0,7 | 0,7 | 0,7 | 0,7 | 0,7 |
| 3 | S | 0,6 | 1,7 | 2,8 | 4,2 | 5,6 | 7,0 | 8,4 |
| D | 1,4 | 1,4 | 1,4 | 1,4 | 1,4 | 1,4 | 1,4 |
| Горный | 1, 2 | S | 0,7 | 2,1 | 3,5 | 5,2 | 6,9 | 8,7 | 10,4 |
| D | 1,7 | 1,7 | 1,7 | 1,7 | 1,7 | 1,7 | 1,7 |
| 3 | S | 1,4 | 4,2 | 7,0 | 10,4 | 13,9 | 17,4 | 20,9 |
| D | 3,4 | 3,4 | 3,4 | 3,4 | 3,4 | 3,4 | 3,4 |
| Особые случаи | 1, 2 | S | 2,0 | 6,0 | 10,0 | 15,0 | 20,0 | 25,0 | 30,0 |
| D | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 |
| 3 | S | 4,0 | 12,0 | 20,0 | 30,0 | 40,0 | 50,0 | 60,0 |
| D | 12,2 | 12,2 | 12,2 | 12,2 | 12,2 | 12,2 | 12,2 |

\* 1 – способ одностороннего тригонометрического нивелирования; 2 –двухстороннего; 3 – через точку.

Для тригонометрического нивелирования через точку принимается:

= ≤ (1.26)

В этом случае средняя квадратическая ошибка определения неравноплечья, при использовании непосредственно измеренных наклонных расстояний определится:

mΔD = 10 мм (1.27)

а при использовании горизонтальных проложений:

mΔD = (1.28)

С целью упрощения выводов для тригонометрического нивелирования примем, что измеренные зенитные расстояния симметричны относительно горизонта, то есть:

90° - z12 ≈ z13 - 90° (1.29)

Величину средней квадратической ошибки определения разности зенитных расстояний в тригонометрическом нивелировании через точку устанавливают из следующих соображений:

В общем случае зенитные расстояния вычисляются как полуразность при круге право – R и круге лево – L.[[5]](#footnote-5)

То есть в измерение z входят случайные погрешности двух визирований, двух контактирований уровня и двух отсчетов по лимбу.

В двухстороннем тригонометрическом нивелировании разность зенитных расстояний можно вычислить только как

Δz = z12 – z21 (1.30)

В результате чего средняя квадратическая ошибка вычисления будет равна:

mΔz = mz (1.31)

где mz = 3",5.

Использовать для вычисления Δz отсчеты взятые при одном круге теодолита не представляется возможным из-за того, что при наблюдениях на соседних пунктах место зенита вертикального круга не остается постоянным.

В тригонометрическом нивелировании через точку разность зенитных расстояний можно вычислить по формулам (1.32) вследствие того, что при наблюдениях направлений 12 и 13 нет причин, которые могли бы при существующей методике измерений вызвать изменение места зенита.

Δz = L12 – L13 ,

Δz = R12 – R13  (1.32)

Величина Δz вычисляемая по этой формуле из одного полуприема содержит случайные погрешности двух визирований, двух контактирований уровня и двух отсчетов по лимбу. Поэтому, точность ее определения равняется точности измерения зенитного расстояния. А так как количество полуприемов в два раза больше числа приемов, то величина Δz из полуприёмов будет определена с погрешностью

mΔz = = 2",5 (1.33)

Величины средних квадратических ошибок превышений в зависимости от точности измерения зенитных расстояний приведены в таблице 1.2.

Таблица .. Величины средних квадратических ошибок превышений в зависимости от точности измерения зенитных расстояний

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Районы | Способ | Вид расстояния | Величины mh/z в мм для горизонтальных проложений в км | | | | | | |
| **0,2** | **0,6** | **1,0** | **1,5** | **2,0** | **2,5** | **3,0** |
| Плоскоравнинный, всхолмленный и горный | 1 | S | 3,5 | 10,5 | 17,5 | 16,2 | 35,0 | 43,8 | 52,5 |
| D | 3,5 | 10,5 | 17,5 | 16,2 | 35,0 | 43,8 | 52,5 |
| 2 | S | 2,5 | 7,4 | 12,4 | 18,5 | 24,7 | 31,0 | 37,1 |
| D | 2,5 | 7,4 | 12,4 | 18,5 | 24,7 | 31,0 | 37,1 |
| 3 | S | 2,6 | 7,7 | 12,8 | 19,4 | 25,6 | 32,1 | 38,5 |
| D | 2,6 | 7,7 | 12,8 | 19,4 | 25,6 | 32,1 | 38,5 |
| Особые случаи | 1 | S | 4,5 | 1,38 | 23,8 | 35,0 | 46,8 | 57,4 | 70,0 |
| D | 3,5 | 10,5 | 17,5 | 26,3 | 35,0 | 43,7 | 52,5 |
| 2 | S | 3,3 | 9,8 | 16,4 | 24,5 | 32,7 | 40,9 | 49,0 |
| D | 2,5 | 7,3 | 12,2 | 18,4 | 24,5 | 30,6 | 36,7 |
| 3 | S | 3,3 | 10,0 | 16,7 | 25,1 | 33,3 | 41,6 | 50,6 |
| D | 2,5 | 7,6 | 12,6 | 19,1 | 25,2 | 31,6 | 37,9 |

## Влияние угла земной рефракции на точность определение превышений при различных способах тригонометрического нивелирования

Рассмотрим влияние погрешностей учета углов земной рефракции на точность определения превышений в различных способах тригонометрического нивелирования.

Зависимость точности определения превышений от величин средних квадратических ошибок учета углов земной рефракции аналогична зависимости точности определения превышений от средних квадратических ошибок измерения зенитных расстояний.

Учет угла земной рефракции с помощью стандартного коэффициента не отображает всего многообразия рельефа и распределения вертикального температурного градиента при одностороннем тригонометрическом нивелировании. При тригонометрическом нивелировании через точку и одновременном двухстороннем с значительной мере компенсируется систематическая часть ошибки в определении угла земной рефракции, зависящая от общего состояния атмосферы. При неодновременном двухстороннем тригонометрическом нивелировании компенсация происходит значительно слабее.

Таблица .. Величины средних квадратических ошибок определения превышений в зависимости от погрешностей учета углов земной рефракции

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Районы | Способ | Вид расстояния | Величины mh/δz в мм для горизонтальных проложений в км | | | | | | |
| **0,2** | **0,6** | **1,0** | **1,5** | **2,0** | **2,5** | **3,0** |
| Плоскоравнинный, всхолмленный и горный | 1 | S | 10,0 | 30,0 | 50,0 | 75,0 | 100,0 | 125,0 | 150,0 |
| D | 10,0 | 30,0 | 50,0 | 75,0 | 100,0 | 125,0 | 150,0 |
| 2 | S | 3,5 | 10,6 | 17,7 | 26,5 | 35,4 | 44,2 | 53,0 |
| D | 3,5 | 10,6 | 17,7 | 26,5 | 35,4 | 44,2 | 53,0 |
| 3 | S | 2,8 | 8,2 | 13,7 | 20,5 | 27,4 | 34,2 | 41,0 |
| D | 2,8 | 8,2 | 13,7 | 20,5 | 27,4 | 34,2 | 41,0 |
| Особые случаи | 1 | S | 13,2 | 40,0 | 66,5 | 100,0 | 133,2 | 166,8 | 200,0 |
| D | 10,0 | 30,0 | 50,0 | 75,0 | 100,0 | 125,0 | 150,0 |
| 2 | S | 4,7 | 14,1 | 23,4 | 35,1 | 46,8 | 58,5 | 70,2 |
| D | 3,5 | 10,6 | 17,7 | 26,5 | 35,4 | 44,3 | 53,1 |
| 3 | S | 3,5 | 10,8 | 18,1 | 26,8 | 35,8 | 44,9 | 53,9 |
| D | 2,7 | 8,1 | 13,5 | 20,1 | 26,9 | 33,7 | 40,4 |

Для одновременного двухстороннего и тригонометрического нивелирования через точку, согласно рефракционной гипотезы:

δΔz12 = δΔz21 ,

δΔz12 = δΔz13 (1.34)

Остаточное влияние рефракции mδΔz , в этом случае равно ± 2",5.

Для неодновременного двухстороннего тригонометрического нивелирования

δΔz12 ≈ δΔz12 (1.35)

Величины средних квадратических ошибок определения превышений в зависимости от погрешностей учета углов земной рефракции с учетом (1.26) и (1.29) приведены в таблице 1.3.

## Влияние погрешностей в определении абсолютных отметок точек на точность определения превышений

Рассмотрим влияние погрешностей в определении абсолютных отметок точек на точность вычисления превышений различными способами тригонометрического нивелирования.

В двухстороннем тригонометрическом нивелировании с использованием непосредственно измеренных наклонных расстояний погрешности в определении абсолютных отметок точек не влияют на точность, т.к. в исходной формуле (1.17) нет величины Н.

Для непосредственного вычисления величин погрешностей превышений из-за ошибок в определении абсолютных отметок точек принимают величину средней квадратической ошибки отметки равной 0,1км, для всех способов тригонометрического нивелирования. Определение абсолютных отметок точек с точностью 0,1 км не вызывает никаких затруднений, так как использование простейших барометров – анероидов обеспечивает принятую точность даже без учета метеорологических факторов.

Таблица .. Средние квадратические ошибки превышений в зависимости от погрешностей определения абсолютных отметок

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Районы | Способ | Вид расстояния | Величины mh/Н в мм для горизонтальных проложений в км | | | | | | |
| **0,2** | **0,6** | **1,0** | **1,5** | **2,0** | **2,5** | **3,0** |
| Плоскоравнинный | 1 | S | 0,0 | 0,2 | 0,2 | 0,4 | 0,6 | 0,7 | 0,8 |
| 2 | S | 0,0 | 0,1 | 0,2 | 0,3 | 0,4 | 0,5 | 0,6 |
| 3 | S | 0,0 | 0,3 | 0,4 | 0,6 | 0,8 | 1,0 | 1,2 |
| Всхолмленный | 1 | S | 0,2 | 0,7 | 1,1 | 1,7 | 2,3 | 2,9 | 3,5 |
| 2 | S | 0,1 | 0,5 | 0,5 | 1,2 | 1,6 | 2,0 | 2,5 |
| 3 | S | 0,3 | 1,0 | 1,5 | 2,4 | 3,2 | 4,1 | 4,9 |
| Горный | 1 | S | 0,6 | 1,8 | 3,0 | 4,3 | 5,8 | 7,4 | 8,8 |
| 2 | S | 0,4 | 1,3 | 2,1 | 3,0 | 4,2 | 5,2 | 6,2 |
| 3 | S | 0,8 | 2,5 | 4,2 | 6,0 | 8,1 | 10,4 | 12,3 |
| Особые случаи | 1 | S | 2,0 | 5,8 | 9,6 | 14,4 | 19,2 | 24,0 | 28,8 |
| 2 | S | 1,4 | 4,1 | 6,8 | 10,2 | 13,6 | 17,0 | 20,3 |
| 3 | S | 2,8 | 8,1 | 13,4 | 20,2 | 26,9 | 33,6 | 40,3 |

Для тригонометрического нивелирования с использованием измеренных наклонных расстояний величины ошибок превышений за счет погрешностей в величинах Н очень малы (mh/H ≤ 0,1мм).

Величины средних квадратических ошибок превышений в зависимости от погрешностей определения абсолютных отметок приведены в таблице 1.4.

## Влияние погрешностей определения уклонений отвеса на точность определения превышений

Величины средних квадратических ошибок превышений в зависимости от уклонений отвеса приведены для различных районов работ в таблице 1.5.

Приведенные величины характеризуют как действие погрешностей в определении уклонений отвеса, так и величину ошибок превышения происходящую из-за неучета уклонения отвеса при одностороннем и двухстороннем тригонометрическом нивелировании.

Таблица .. Влияние погрешностей определения уклонений отвеса на точность определения превышений

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Районы | Способ | Вид расстояния | Величины mh/U в мм для горизонтальных проложений в км | | | | | | |
| **0,2** | **0,6** | **1,0** | **1,5** | **2,0** | **2,5** | **3,0** |
| Плоскоравнинный | 1 | S, D | 0,1 | 0,5 | 1,1 | 2,1 | 3,1 | 4,3 | 5,7 |
| 2 | S, D | 0,1 | 0,4 | 0,9 | 1,7 | 2,5 | 3,6 | 4,7 |
| 3 | S, D | 0,2 | 0,7 | 1,5 | 2,9 | 4,3 | 6,0 | 8,0 |
| Всхолмленный | 1 | S, D | 3,3 | 9,9 | 16,5 | 24,7 | 33,0 | 41,2 | 49,5 |
| 2 | S, D | 2,7 | 8,1 | 13,5 | 20,2 | 26,9 | 33,6 | 40,4 |
| 3 | S, D | 4,6 | 14,0 | 23,1 | 34,6 | 46,2 | 57,6 | 69,3 |
| Горный, особые случаи | 1 | S, D | 6,0 | 18,1 | 30,1 | 45,1 | 60,3 | 75,2 | 90,4 |
| 2 | S, D | 4,9 | 14,8 | 24,6 | 36,9 | 49,2 | 61,5 | 73,8 |
| 3 | S, D | 8,4 | 25,4 | 42,2 | 63,1 | 84,3 | 105,2 | 126,6 |

Величины уклонений отвеса по линиям 12, 13 равны между собой при одинаковых азимутах линий. При расположении линий 12, 13 в одной вертикальной плоскости, проходящей через точку 1 величины уклонений отвеса по линиям равны по абсолютной величине, но противоположны по знаку.

Вычисленные величины погрешности превышений в зависимости от погрешностей учета уклонений отвеса приведены в таблице 1.6.

В тригонометрическом нивелировании через точку величины mh/R независимо от того, будут ли использоваться горизонтальные проложения или непосредственно измеренные наклонные расстояния, не будут превышать для плоскоравнинного района 1 мм, для всхолмленного – 2,5мм, для горного – 5 мм.

По данным этой таблицы хорошо прослеживается зависимость величин ошибок превышений, вычисленных с использованием горизонтальных проложений от зенитных расстояний. Тогда как при использовании непосредственно измеренных наклонных расстояний эта зависимость существует в меньшей мере и только в одностороннем тригонометрическом нивелировании.

Таблица .. Величины погрешности превышений в зависимости от погрешностей учета уклонений отвеса

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Районы | Способ | Вид расстояния | Величины mh/R в мм для горизонтальных проложений в км | | | | | | |
| **0,2** | **0,6** | **1,0** | **1,5** | **2,0** | **2,5** | **3,0** |
| Плоскоравнинный  Н≤0,5км | 1 | S | 0,0 | 0,3 | 0,8 | 1,9 | 3,3 | 5,2 | 7,5 |
| D | 0,1 | 0,6 | 1,2 | 2,4 | 3,6 | 5,4 | 7,8 |
| 2 | S | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| D | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| Всхолмленный  Н≤1,5км | 1 | S | 0,1 | 0,8 | 2,1 | 4,7 | 8,3 | 13,0 | 18,8 |
| D | 0,3 | 1,5 | 3,0 | 6,0 | 9,0 | 13,5 | 19,5 |
| 2 | S | 0,1 | 0,3 | 0,4 | 0,6 | 0,9 | 1,1 | 1,3 |
| D | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| Горный  Н≤6км | 1 | S | 2,2 | 7,5 | 14,2 | 24,4 | 36,7 | 51,0 | 67,5 |
| D | 0,6 | 3,0 | 6,0 | 12,0 | 18,0 | 27,0 | 39,9 |
| 2 | S | 2,0 | 6,0 | 10,0 | 15,0 | 50,0 | 25,0 | 30,0 |
| D | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |

Уклонения отвеса, представленные через погрешности в определении R, не влияют на двухстороннее тригонометрическое нивелирование с измерением наклонных расстояний.

В тригонометрическом нивелировании через точку с использованием горизонтальных проложений, ошибки превышений, возникающие под влиянием уклонений отвесных линий, несколько больше зависят от величин зенитных расстояний, чем при использовании непосредственно измеренных наклонных длин.

Ослабление влияния уклонений отвеса в тригонометрическом нивелировании через точку происходит только в случае, когда А12 – А12 < 90°.

Данные таблиц 1.5 и 1.6 характеризуют порядок величин погрешностей превышений имеющих место при неучете уклонений отвесных линий.

## Влияние непараллельности уровенных поверхностей на определяемое превышение

Рассмотрим влияние непараллельности уровенных поверхностей на определяемое превышение.

Из формулы (1.10) видно, что поправка ΔЕ не зависит от способа тригонометрического нивелирования, зенитного расстояния и от того используются непосредственно измеренные наклонные расстояния или горизонтальные проложения. Эта поправка состоит из двух частей:

аномальной – равной

; ρ (1.36)

и нормальной

(Н2 – Н1)(В2 – В1)sin2Bm (1.37)

Величины нормальной части поправки ΔЕ для всех районов работ при S<3км будет меньше. Только при z = 60° и S = 3 км она становится равной 5 мм.

Величины погрешностей превышений за счет неучета непараллелльности уровенных поверхностей приведены в таблице 1.7.

Таблица .. Величины погрешностей превышений за счет неучета непараллелльности уровенных поверхностей

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Районы | Способ | Вид расстояния | Величины mh/ΔЕ в мм для горизонтальных проложений в км | | | | | | |
| **0,2** | **0,6** | **1,0** | **1,5** | **2,0** | **2,5** | **3,0** |
| Плоскоравнинный | 1, 2 | S | 0,2 | 0,5 | 0,8 | 1,2 | 1,7 | 2,1 | 2,5 |
| D | 0,2 | 0,5 | 0,8 | 1,2 | 1,7 | 2,1 | 2,5 |
| 3 | S | 0,3 | 0,7 | 1,2 | 1,7 | 2,4 | 3,0 | 3,5 |
| D | 0,3 | 0,7 | 1,2 | 1,7 | 2,4 | 3,0 | 3,5 |
| Всхолмленный | 1, 2 | S | 0,7 | 2,1 | 3,5 | 5,3 | 7,0 | 8,8 | 10,5 |
| D | 0,7 | 2,1 | 3,5 | 5,3 | 7,0 | 8,8 | 10,5 |
| 3 | S | 1,0 | 3,0 | 5,0 | 7,5 | 9,9 | 12,5 | 14,9 |
| D | 1,0 | 3,0 | 5,0 | 7,5 | 9,9 | 12,5 | 14,9 |
| Горный | 1, 2 | S | 3,5 | 10,6 | 17,6 | 26,4 | 35,2 | 44,0 | 52,8 |
| D | 3,5 | 10,6 | 17,6 | 26,4 | 35,2 | 44,0 | 52,8 |
| 3 | S | 5,0 | 15,0 | 24,9 | 37,4 | 49,7 | 62,3 | 74,7 |
| D |  | 15,0 | 24,9 | 37,4 | 49,7 | 62,3 | 74,7 |

## Сравнение погрешностей определения превышений различными способами тригонометрического нивелирования

Для выяснения возможной точности каждого из существующих способов тригонометрического нивелирования, необходимо вычислить средние квадратические значения ошибок превышений.

Сравнение величин погрешностей превышений для различных способов тригонометрического нивелирования выполним только для измеренных результатов.

Величины средних квадратических ошибок определения превышений в зависимости от погрешностей источников, входящих в формулы, приведены в таблице 1.8.

Таблица .. Величины средних квадратических ошибок определения превышений в зависимости от погрешностей источников входящих в формулы

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Районы | Способ | Вид расстояния | Величины mh в мм для горизонтальных проложений в км | | | | | | |
| **0,2** | **0,6** | **1,0** | **1,5** | **2,0** | **2,5** | **3,0** |
| Плоскоравнинный | 1 | D, S | 10,6 | 31,8 | 52,9 | 79,4 | 105,9 | 132,5 | 158,9 |
| 2 | D, S | 4,3 | 12,9 | 21,6 | 32,0 | 43,2 | 54,0 | 64,7 |
| 3 | D, S | 3,8 | 11,2 | 18,8 | 28,2 | 37,5 | 46,8 | 56,2 |
| Всхолмленный | 1 | S | 10,6 | 31,8 | 53,0 | 79,5 | 106,0 | 132,5 | 159,0 |
| D | 10,6 | 31,8 | 53,0 | 79,4 | 105,9 | 132,4 | 158,9 |
| 2 | S | 4,3 | 13,0 | 21,7 | 32,1 | 43,3 | 54,1 | 64,9 |
| D | 4,3 | 12,9 | 21,6 | 32,0 | 43,2 | 54,0 | 64,7 |
| 3 | S | 3,9 | 11,4 | 19,1 | 28,6 | 38,0 | 47,4 | 56,9 |
| D | 3,8 | 11,2 | 18,8 | 20,2 | 37,5 | 46,8 | 56,2 |
| Горный | 1 | S | 10,6 | 31,9 | 53,2 | 79,7 | 106,3 | 132,9 | 159,5 |
| D | 10,7 | 31,8 | 53,0 | 79,4 | 105,9 | 132,5 | 158,9 |
| 2 | S | 4,4 | 13,2 | 22,0 | 32,6 | 43,9 | 54,9 | 65,8 |
| D | 4,6 | 13,0 | 21,7 | 32,1 | 43,2 | 54,0 | 64,7 |
| 3 | S | 4,1 | 12,1 | 20,4 | 30,5 | 40,6 | 50,7 | 60,9 |
| D | 3,8 | 11,3 | 18,9 | 28,4 | 37,8 | 47,1 | 56,6 |
| Особые случаи | 1 | S | 14,2 | 43,1 | 71,8 | 107,9 | 143,1 | 179,8 | 215,9 |
| D | 11,7 | 32,2 | 53,2 | 79,6 | 106,1 | 132,5 | 159,0 |
| 2 | S | 6,2 | 18,7 | 31,0 | 46,5 | 62,0 | 77,5 | 93,0 |
| D | 6,6 | 13,8 | 22,0 | 32,7 | 43,3 | 54,1 | 64,7 |
| 3 | S | 6,9 | 20,6 | 34,5 | 51,5 | 68,7 | 85,9 | 103,4 |
| D | 12,8 | 16,8 | 22,6 | 30,9 | 39,7 | 48,8 | 58,0 |

Анализ данных, приведенных в таблице, позволяет считать тригонометрическое нивелирование через точку наиболее оптимальным и точным способом нивелирования.

1. При его выполнении в сетях триангуляции происходит ослабление влияния уклонения отвеса и непараллельности уровенных поверхностей.

2. Экономится время за счет того, что определяется превышение между точками, находиться с инструментом на которых нет необходимости.

3. Измерения зенитных расстояний по направлениям выполняется в один и то же момент времени, за счет чего происходит значительное ослабление рефракционных воздействий.

4. Возможно повышение точности измерения зенитных расстояний вследствие уменьшения длин сторон до наблюдаемых пунктов.

# Геодезические методы определения превышений центров пунктов государственной геодезической сети

Различают три способа тригонометрического нивелирования:

- способ одностороннего тригонометрического нивелирования;

- способ двухстороннего тригонометрического нивелирования;

- способ тригонометрического нивелирования через точку (из середины).

## Способ одностороннего тригонометрического нивелирования

Полная формула одностороннего тригонометрического нивелирования имеет вид:[[6]](#footnote-6)

h12 = Н – Н

h12 = s12·ctgz12 + + · S12·ctgz12 – (ξ·cosA12 + η1·sinA12) ± (2.1)

В случае линейного измерения уклонений отвесных линий формула преобразуется:

h12 = Н – Н= h12Г – (ξ1 ·cosA12+ η1·sinA12 – ξ2 ·cosA21 – η2·sinA21) (2.2)

Коэффициент вертикальной рефракции определяется по формуле:

K'12 = 1 + · sin2z12 · (h'12 – h'12Г) + + + + (2.3)

В формулах (2.1-2.3) приняты следующие обозначения:

h'12 = s12·ctgz12 + i1 – α2 – вычисляемое превышение из тригонометрического нивелирования с учетом высоты горизонтальной оси теодолита (i1) и наблюдаемой цели (α2) над центром знаков 1 и 2;

s12 – измеренное расстояние между пунктами 1 и 2 отнесенное к поверхности референц-эллипсоида;

R – средний радиус кривизны референц-эллипсоида для линии s12, имеющий азимут А12 или А21;

z12 – измеренное зенитное расстояние с пункта 1 на пункт 2;

Н и Н – геодезические высоты пунктов 1 и 2;

ξ2 , ξ1, η2 , η1 – составляющие полного уклонения отвесной линии в меридиане и первом вертикале для пунктов 1 и 2;

q – поправка в измеренное зенитное расстояние за гнутие зрительной трубы и влияние длиннопериодических погрешностей вертикального круга;

H= - средняя нормальная высота линии 1-2;

Hи H – нормальные высоты пунктов 1 и 2;

ζ0 = - средняя высота квазигеоида над референц-эллипсоидом для линии 1-2.

## Способ двухстороннего тригонометрического нивелирования

Пользуясь упрощенной теорией двухсторонних наблюдений зенитных расстояний для определения превышения между пунктами следует:[[7]](#footnote-7)

1) (h1/2)1 = s·ctgz1 + ·s2 + i1 – α2,

2) (h2/1)2 = s·ctgz2 + ·s2 + i2 – α1 (2.4)

В этих формулах превышения между пунктами вычислены по наблюдениям на пунктах 1 и 2 соответственно.

К1 и К2 – коэффициенты вертикальной рефракции. При одновременном двухстороннем тригонометрическом нивелировании они принимается равными в обоих пунктах.

Взяв среднее их двух значений получим:

(h2/1)ср. = + - (2.5)

## Способ тригонометрического нивелирования через точку

Строгая формула тригонометрического нивелирования через точку имеет вид:[[8]](#footnote-8)

h12 = (s1 + Δs)·ctgz2 – s1·ctgz1+ + (2.6)

где h12 – превышение между пунктами;

Δs – неравенство расстояний между точкой стояния инструмента и двумя точками визирования.

Превышения полученные с помощью тригонометрического нивелирования через точку будут более точными, если вычисленным превышениям придать вес, учитывающий неравенство расстояний между наблюдаемыми пунктами.

# Государственные геодезические сети

Геодезические измерения позволяют определять рас­положение отдельных точек земной поверхности относи­тельно исходных точек, координаты которых определены или известны заранее. По мере удаления от исходных точек накапливаются погрешности, сопровождающие из­мерения, вследствие чего понижается точность определе­ния координат. Если использовать несколько независи­мых друг от друга исходных точек, то координаты опреде­ляемых точек плохо согласовываются друг с другом. Поэтому возникает необходимость предварительного опре­деления планового положения исходных точек в единой системе координат. Это позволяет избежать накопления погрешностей измерений и сводит результаты работ в одно целое. Например, работы по созданию карт состоят из следующих процессов: геодезические работы, аэро­фотосъемка, топографические работы, картосоставительские работы.

В производстве топографических работ участвует одно­временно большое число исполнителей. Каждый топограф получает для съемок участок, покрываемый одним или несколькими листами карт. Лист карты представляет собой трапецию, рамками которой служат линии меридиа­нов и параллелей, на местности ничем не обозначенных. Для того чтобы найти на местности участок, подлежащий съемке, на каждый съемочный планшет наносят не менее трех опорных исходных точек, которые на местности за­креплены соответствующими знаками. При производстве съемок большой территории опорные точки дают возмож­ность одновременно и независимо друг от друга произ­водить съемку таким образом, чтобы затем свести резуль­таты в одно целое без разрывов и перекрытий между от­дельными участками. Геодезические работы имеют целью определить относительное положение на земной поверх­ности опорных точек, т. е. координаты и высоты.

Инженерно-геодезические работы, сопровождающие все этапы инженерно-строительного производства, также требуют наличия на местности исходных точек, плановые координаты и высоты которых определены с высокой точностью. Ни одно крупное инженерное сооружение не может быть возведено без геодезической сети.

Геодезическая сеть - это совокупность точек, закреп­ленных на местности, положение которых определено в общей для них системе координат. Закрепленная на местности точка геодезической сети называется геодезиче­ским пунктом. Относительно геодезических пунктов опре­деляют положение любой точки местности при съемке.

Развитие геодезических сетей осуществляется по прин­ципу - «от общего к частному», т. е. от более крупных по размерам построений к менее крупным, и от более точ­ных к менее точным. Соответственно этому принципу геодезические сети подразделяются на четыре вида:

1. Государственная геодезическая сеть, представляю­щая собой главную геодезическую основу для всех видов геодезических и топографических работ.

2. Геодезические сети сгущения, развиваемые в от­дельных районах при недостаточном числе пунктов го­сударственной геодезической сети.

3. Съемочные геодезические сети (съемочное, или ра­бочее обоснование), на основе которых непосредственно производятся съемки контуров и рельефа местности, ин­женерно-геодезические работы при строительстве соору­жений.

4. Специальные геодезические сети, развиваемые при строительстве сооружений, предъявляющих к геодезиче­ским работам специальные требования.

Каждый из указанных видов сетей подразделяется на классы и разряды.

Государственная геодезическая сеть подразделяется на 4 класса. Сети 1 и 2 классов являются опорной астрономо-геодезической сетью. Сети 3 и 4 классов по существу являются сетями сгущения, так как они создаются с целью сгущения опорной сети до необходимой плотности пунктов при проведении картографирования страны. В тех случаях, когда возникает необходимость в дальнейшем повышении густоты геодезических пунктов для обеспечения предстоящих работ по постановке круп­номасштабных съемок и инженерно-геодезических работ дополнительно выполняют последовательное построение сетей сгущения местного значения, которые создаются в виде сети 4 класса пониженной точности и разрядных сетей (двух разрядов точности).

Государственная геодезическая сеть 1 класса имеет наивысшую точность и охватывает всю территорию страны. Геодезические сети последующих классов раз­виваются на основе сетей высших классов. Геодезические сети сгущения строятся на основе государственных геоде­зических сетей, съемочные сети - на основе обеих видов сетей. Геодезические сети подразделяются на плановые и высотные. Плановые сети служат для определения пла­новых координат геодезических пунктов х и у в прямо­угольной системе зональных координат, а высотные - для определения высот пунктов Н.

Пункты государственной геодезической сети опреде­лены на всей территории страны в единой системе коор­динат, В этом случае результаты съемочных работ будут получены также в единой системе, независимо от после­довательности их выполнения в отдельных районах страны, что обеспечивает соединение разрозненных съемоч­ных материалов в единую топографическую карту госу­дарства.

В отдельных случаях допускается использование авто­номной системы координат при работах на незначитель­ных территориях.

Геодезические сети создаются с расчетом на длитель­ное время пользования. Поэтому государственная геоде­зическая сеть создается с точностью, рассчитанной на высокие требования к ней как в настоящем, так и в буду­щем. Если возникнет необходимость в дополнительных пунктах, можно сгустить существующую сеть без ее пере­делок.

Пункты государственной геодезической сети и геодезических сетей сгущения закрепляют на местности таким образом, чтобы на долгие годы была обеспечена их сохранность, постоянство положения и быстрое нахожде­ние на местности. Пункты государственной плановой гео­дезической сети и плановых сетей сгущения закрепляются специальными подземными знаками - центрами, обозначающими положение геодезических пунктов на местности.

Закрепление пунктов съемочных геодезических сетей в соответствии с их назначением - служить основой для текущих съемочных и инженерно-геодезических работ - осуществляется, в основном, временными знаками (дере­вянными колышками, металлическими штырями, гвоздями и т. п.). В некоторых случаях возможно их долговременное (постоянное) закрепление.

При проектировании и развитии геодезических сетей учитывают необходимость обеспечения надежного кон­троля геодезических измерений и оценки их точности, а также возможность их использования для решения на­учных задач геодезии.

# Заключение

В заключение подведем итоги.

Анализ данных позволяет считать тригонометрическое нивелирование через точку наиболее оптимальным и точным способом нивелирования.

Использование в тригонометрическом нивелировании непосредственно измеренных наклонных расстояний существенно повышает точность определения превышений в горных районах.

Наибольшее влияние на точность тригонометрического нивелирования оказывают погрешности измерения зенитных расстояний, учета углов земной рефракции и отсутствие данных об уклонениях отвеса на точках измерения зенитных расстояний.

Влияние на превышение погрешностей учета углов земной рефракции больше влияния погрешностей измерения зенитных расстояний в три раза для одностороннего тригонометрического нивелирования, в полтора раза для двухстороннего неодновременного и примерно равно для тригонометрического нивелирования через точку.

Влияние погрешностей измерения зенитных расстояний и учета углов земной рефракции на превышение про 80° ≤ z ≤ 100° не зависит от того используются ли при вычислениях горизонтальные проложения или непосредственно измеренные наклонные расстояния как при 80° > z > 100° указанное влияние в 1,5-2 раза меньше при использовании последних.

Ослабление действия уклонений отвеса и непараллельности уровенных поверхностей возможно только при тригонометрическом нивелировании через точку.

# Список использованных источников

1. Еремеев В.Ф. Юркина М.И. – Теория высот в гравитационном поле земли М., Недра 1972.
2. Инструкция о построении государственной геодезической сети Союза ССР М., «Недра», 1966.
3. Ковалев В.И. Разработка методики определения вертикальной рефракции в приземном слое атмосферы при траекторных измерениях. Дисс. на соискание ученой степени к.т.н., М, 1983.
4. Курс инженерной геодезии: Учебник для ВУЗов/под ред. В.Е. Новака. – М.: Недра, 1989. – 430 с.
5. Найденов Д.А. Исследование и учет инструментальных ошибок измерений вертикальных углов при инженерно-геодезических работах Дисс. на соискание ученой степени к.т.н., М, 1974.

1. Курс инженерной геодезии: Учебник для ВУЗов/под ред. В.Е. Новака. – М.: Недра, 1989. – с. 119-122. [↑](#footnote-ref-1)
2. Курс инженерной геодезии: Учебник для ВУЗов/под ред. В.Е. Новака. – М.: Недра, 1989., с.-144-146 . [↑](#footnote-ref-2)
3. Еремеев В.Ф. Юркина М.И. – Теория высот в гравитационном поле земли М., Недра 1972. [↑](#footnote-ref-3)
4. Ковалев В.И. Разработка методики определения вертикальной рефракции в приземном слое атмосферы при траекторных измерениях. Дисс. на соискание ученой степени к.т.н., М, 1983. [↑](#footnote-ref-4)
5. Инструкция о построении государственной геодезической сети Союза ССР М., «Недра», 1966. [↑](#footnote-ref-5)
6. Ковалев В.И. Разработка методики определения вертикальной рефракции в приземном слое атмосферы при траекторных измерениях. Дисс. на соискание ученой степени к.т.н., М, 1983. [↑](#footnote-ref-6)
7. Ковалев В.И. Разработка методики определения вертикальной рефракции в приземном слое атмосферы при траекторных измерениях. Дисс. на соискание ученой степени к.т.н., М, 1983. [↑](#footnote-ref-7)
8. Найденов Д.А. Исследование и учет инструментальных ошибок измерений вертикальных углов при инженерно-геодезических работах Дисс. на соискание ученой степени к.т.н., М, 1974. [↑](#footnote-ref-8)