GEOMETRIC, TRIGONOMETRIC AND GNSS LEVEL OPTIMIZATION FOR ENGINEERING GEODESY OBJECTS

PETYO. P. SPASOV

ABSTRACT: *Often in engineering and geodetic works we have to make a correct assessment of what geodetic instrument and method we have to apply when solving a problem in order to optimize time, resources and human resources in a way that satisfies the task. Two practical examples are considered. In first example the measurements were made on a permanent pavement of terrain - asphalt, concrete, etc., and in the second example the measurements were made on terrains in which construction is forthcoming. A list of conditions has been structured that can be used to make organizational decisions for work.*

KEYWORDS: *Geometric leveling, trigonometric leveling, GNSS leveling, optimization.*

DOI: https://doi.org/10.46687/MT22PPS

ОПТИМИЗАЦИЯ ПРИ ГЕОМЕТРИЧНА, ТРИГОНОМЕТРИЧНА И ГНСС НИВЕЛАЦИЯ ЗА ОБЕКТИ НА ИНЖЕНЕРНАТА ГЕОДЕЗИЯ

ПЕТЬО П. СПАСОВ

АБСТРАКТ: *Често при инженерно-геодезическите работи се налага да направим правилна преценка какъв геодезичен прибор и метод се налага да приложим при решаване на задача с цел оптимизиране на времето, средствата и човешкия ресурс и то по начин удовлетворяващ заданието. Разгледани са два практически примера. В единия пример измерванията са направени върху трайна настилка на терен – асфалт, бетон и др., а във вторият пример измерванията са направени на терени в които предстои строителство. Структуриран е списък с условия, който може да бъде използван за вземане на организационни решения за работа.*

1 Въведение

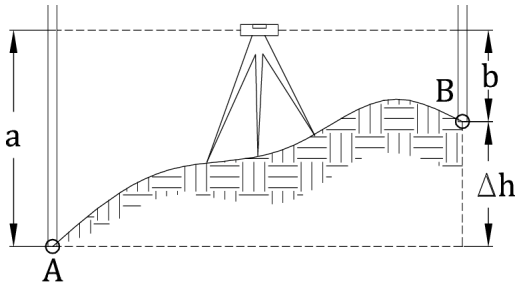
Често при инженерно-геодезическите работи се налага да направим правилна преценка какъв геодезичен прибор и метод се налага да приложим при решаване на задача с цел оптимизиране на времето, средствата и човешкия ресурс и то по начин удовлетворяващ заданието. Разгледани са два практически примера. В единия пример измерванията са направени върху трайна настилка на терен – асфалт, бетон и др., а във вторият пример измерванията са направени на терени в които предстои строителство. Структуриран е списък с условия, който може да бъде използван за вземане на организационни решения за работа.

2 Геометрична нивелация

При геометричната нивелация (фиг. 1) определянето на превишението между две точки А и В се извършва с помощта на хоризонтална визирна линия, материализирана от визирната ос на специален геодезичен инструмент – нивелир. За целта нивелира се поставя между двете точки, а върху т. А и т. В се държат отвесно лати. Чрез материализираната от нивелира хоризонтална визирна линия се правят отчети по латите – отчет а по латата,

разположена върху т. А и отчет b по латата, разположена върху точка В. Превишението $\boldsymbol{\Delta h_{AB}}$ ще се изчисли по формула (1).

(1) $\boldsymbol{\Delta h_{AB} = a - b}$



Фиг. 1. Геометрична нивелация

Така определеното по формула (1) превишение не трябва да бъде по-голямо от 3.5 m, а разстоянието между двете точки А и В не трябва да превишава 150 m. Когато трябва да бъде извършена нивелация между точки, намиращи се на по-голямо разстояние или по-голямо превишение между тях от указаните по-горе, определянето на превишението се извършва чрез нивелачен ход с помощни точки, а самото превишение се получава като сума от превишенията между отделни помощни точки от хода, които се подбират така, че да бъдат изпълнение горните изисквания.

Геометрична нивелация, при която нивелира се поставя между двете точки А и В се нарича нивелиране в средата. Известен е и друг начин за извършване на геометричнтана нивелация – нивелиране от края (нивелиране напред), нивелирът се поставя върху точка А по такъв начин, че окулярът на зрителната тръба и точката да лежат на една отвесна линия. С ролетка се измерва разстоянието от точка А до центъра на окуляра. Това разстояние JA се нарича височина на инструмента. Чрез материализираната с визирната ос на нивелира хоризонтална визирна линия се прави отчет b по вертикално поставена лата в точка В. Превишението между двете точки се определя по формулата

Геометричната нивелация чрез нивелиране от края намира ограничено приложение, само при измервания с ниска точност, тъй като влиянието на кривината на Земята и други грешки не могат да се елиминират.

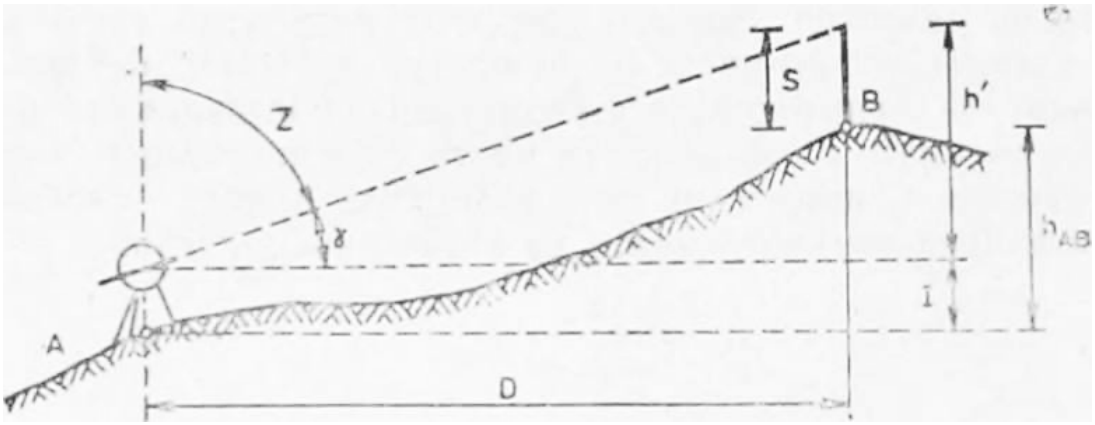
3 Тригонометрична нивелация

Не винаги е възможно и целесъобразно геометричната нивелация да се прилага като метод за определяне на превишения между точки. Във високопланински райони, пресечени терени (редуващи се оврази) и в други участъци, неподходящи за извършване на геометрична нивелация, се прилага т. нар. тригонометрична нивелация. В сравнение с геометричната нивелация тя е по-неточна, но в замяна на това е по-икономична, бързо се извършва и при определени условия е единствено възможна.

За определяне превишението между две точки А и В чрез тригонометрична нивелация е необходимо да се знае зенитният ъгъл Z (или вертикалният ъгъл γ) и разстоянието D между тях. Зенитният ъгъл се измерва с теодолит, а хоризонталното разстояние D се изчислява от координатите на точките (ако са известни) или се измерва.

Точките A и B обикновено са триангулачни или полигонови точки в райони, неподходящи за прилагане на геометрична нивелация.

Ако разстоянието между точките е по-малко от 300 m, тригонометричната нивелация се извършва по начин, показан на фигура 2. Над т. А се центрира и хоризонтира теодолит, а върху т. В се поставя сигнал. Извършена е проверка и поправка на осовите условия на теодолита и е отстранена индексната грешка. Измерва се зенитният ъгъл Z при две положения на тръбата, един или два пъти, като се визира в сигнала S. Зенитният ъгъл може да се измери и по специална технология - чрез отчитане по трите нишки на теодолита и използване на по-сложен сигнал.



Фиг. 2. Тригонометрична нивелация

Както се вижда от фиг. 3, превишението Δh_{AB} е:

(2) $\Delta h_{AB} = h' + J - S$

(3) $h' = D ctg\ Z = D tg\ \gamma$

(4) $h_{AB} = D\ ctg\ Z + J - S\ = D\ tg\ \gamma\ + J - S$

Във формула (2) J е височината на инструмента, която се измерва директно с ролетка от центъра на т. A до средата на хоризонталната ос на инструмента, а S - височината на сигнала, се мери директно или чрез някоя помощна фигура, ако сигналът е висок и е невъзможно непосредственото му измерване. Точността на измерването на тези два елемента обикновено е в sm или mm.

Влиянието на кривината на Земята върху превишението h_{AB} може да се пренебрегне за разстояние между точките до 300 m. Над 300 m това влияние трябва да се отчита.

Формулата за изчисляване на превишението при тригонометрична нивелация с отчитане кривината на Земята и рефракцията ще бъде:

(5) $$h_{AB} = D_{AB}\left(1 + \frac{H_{\text{ср}}}{R}\right) cotg\ Z_{AB} + \frac{1-k}{2R} D_{AB}^2 + J_A - S_B$$

4 Измервания чрез ГНСС за нивелация

За определяне на геодезични точки се прилагат относителни фазови GNSS методи [1]. В случаите, когато се изисква постигането на точност 0.5 m или по-ниска, може да се прилагат и диференциални кодови методи. Според оперативността на

прилагането им методите за определяне на геодезични точки могат да се осъществяват:

- в реално време;
- с последваща обработка.

За осъществяване на посочените методите се приемат и обработват спътникови навигационни сигнали. Приложими са следните GNSS:

1. GPS;
2. ГЛОНАСС, Galileo и други - в зависимост от текущото им състояние и възможностите на наличното оборудване.

Първичните данни, получавани при обработката на навигационни сигнали от наблюдаваните спътници, са:

- Псевдоразстояния, измерени с помощта на един или повече PRN кодове;
- Измервания на фазите на една или повече носещи честоти;
- Прогнозирани данни за орбитите, скалите за време, състоянието на йоносферата, спътниците и др.

Когато се използва метод с последваща обработка, първичните данни от обработката на сигналите се записват в паметта на приемателната апаратура.

GNSS измерванията се извършват на геодезични точки, които отговарят на всички общи изисквания към избора на място, начина за стабилизиране и репериране, видимостта към други точки и местни предмети, произтичащи от приложимите нормативни документи.

В зависимост от ролята на точките в схемата на измерванията се различават:

- Базови станции;
- Определяеми точки;

В зависимост от наличните данни за тях и предназначението им някои от точките могат да бъдат:

- Изходни точки, с координати и височини, зададени в геодезическа координатна система, които служат за определяне на резултатите от GNSS измерванията в тази система;
- Трансформационни точки, с координати и височини, зададени в локална координатна система, които служат за определяне на резултатите от GNSS измерванията в тази система по трансформационен път.

За осъществяване на геодезични GNSS методи е необходимо да се извършват едновременни измервания на една базова станция и една определяема точка, при което:

1. Измерванията на базовите станции са непрекъснати и продължават през цялото време, докато се осъществяват измервания на определяеми точки;
2. Измерванията на определяемите точки са с продължителност, специфична за прилагания GNSS метод и вида на извършваната работа.

5 Оптимизация при извършването на геодезически измервания и избор на подходящи инструменти

Преди да се пристъпи към оптимизацията на времето при извършването на геодезически измервания, първо се разглежда каква е изискваната точност която трябва да постигнем. За да може да се добие една добра представа ще бъдат разгледани два обекта на

които трябва да се направи нивелация. Единият обект е пасище (мера) на което трябва да се извърши нивелация с цел бъдещо проектиране за урбанизиране, а другият обект е рехабилитация на асфалтовата настилка на участък от малко селскостопанско летище.

Анализ на изискуемата точност при заснемане на терен за проектиране (обект №1)

Когато става въпрос за бъдеща урбанизация и изработване на нивелационни планове след заснемане, терена се изобразява чрез хоризонтали със сечение 0.50 m или 1.00 m, за площи с по – малки наклони дори и 0.10 m и 0.20 m. Може да се каже, че от сечението на хоризонталите зависи и точността на изобразения терен. Много голямо влияние оказва и наклона на терена, както и редица други фактори. Извода е, че при заснемане на подобен тип обекти може да се работи с точности до 0.10m.

Анализ на изискуемата точност при заснемане на терен за рехабилитация на асфалтовата настилка на участък от малко селскостопанско летище. При този обект имаме трайна настилка на местността, която е нужно да ремонтираме. За да изготви качествен проект за рехабилитация и достоверни количествено - стойностни сметки е необходима прецизна нивелация. Препоръчителни точности, които трябва да бъдат постигнати са 1 mm – 5 mm.

Избор на технически прибори за извършване на нивелацията.

След като вече знаем какви точности трябва да постигнем при извършването на нивелацията, може да се говори за избор на техническа апаратура. Един от най-важните критерии – точността е фиксирана. В приложение №1 са представени в табличен вид точностите на ГНСС среден клас в RTK режим, точността при техническа геометрична нивелация и точността при тригонометрична нивелация. Не е трудно да се забележи, че за обект №1 може да бъде използвана GNSS осигуряващ средна точност от 50 mm. Както също така това е един от най-бързите методи за извършване на нивелацията от разглежданите. Има някои условия които трябва да бъдат изпълнени, за реализирането на заснемането. За да работи ГНСС в реално време е необходимо да има връзка със сървъра за получаване на поправки. Необходимо е открит небосвод и разбира се оператор. При липса на едно от условията заснемането в RTK режим на терена би било невъзможно. Тогава е необходимо да се пристъпи към друг метод. Когато се налага избора на друг метод, не е целесъобразно извършването на нивелация с точности покриващи изискванията няколкократно.

За обект №2 нямаме възможности за много голям избор на инструменти от разглежданите в приложение №1, а по – скоро за възможност от увеличаване на екипите извършващи геометричната нивелация за постигане на точности от 1 mm – 5 mm.

6 Изводи и метод за оптимизация

1. Необходимост от предварително проучване на обекта. Наклон. Растителност. Открит небосвод. Работни точки и репери.
2. Разясняване на необходимите точности които трябва да бъдат постигнати при представяне на резултатите. Техническо задание. Начини на представяне на терена.
3. Избор на инструментариум покриващ изискванията за точност.
4. В зависимост от времето за което трябва да бъдат извършени геодезическите дейности се организират броя екипи.

ЛИТЕРАТУРА:

[1] Кацаров М. Руската сателитна навигационна система ГЛОНАСС. Годишник на ШУ „Епископ Константин Преславски“, Т. XI Е, Факултет по технически науки, 2021, с. 68-77, ISSN 1311-834X

[2] URL: https://www.cadastre.bg/sites/default/files/documents/regulation/32340/instruction_dnm_rd-02-20-1_15_01_2021.pdf

[3] URL: http://geodesy-union.org/wp-content/uploads/2020/07/09_BG.pdf

Приложение 1. Точности на ГНСС среден клас

Особености	Метод		
	Техническа геометрична нивелация от средата	Тригонометрична нивелация	GNSS нивелиране на точки
Инструментариум	Нивелир, нивелачни лати, жабки, триножки	Тотална станция, отражател, триножки, тринога, щок.	GPS система роувър, използване на сървър
Брой специалисти в екип	Оператор, фигурант	Оператор, фигурант	Оператор
Средна априорна точност по паспорт на инстр. [mm]	5 mm	10 mm	50 mm
Средно време за подготовка на инструмента за работа [min]	1 min	3 min	0.5 min
Средна скорост на пешеходен ход [km/h]	5 km/h	5 km/h	5 km/h
Разсояние до нова точка [m]	20 m	20 m	20 m
Време за достигане на новата точка [min]	0.24 min	0.24 min	0.24 min
Допълнителни условия	- Необходимост от изходен репер, нивелачна мрежа, необходимост от допълнителна обработка ако е нивелачен ход	- Необходимост от изходен репер, нивелачна мрежа, необходимост от допълнителна обработка ако е нивелачен ход	- Необходимост от връзка със сървър, интернет, открит небосвод
+ %	30 %	25 %	2 %
Препядствия	Стръмен терен над 30%, гъста растителност, трудно проходим терен	гъста растителност, трудно проходим терен	гъста растителност
+ %	65 %	35 %	50 %
Време за нивелиране на една точка в идеални условия [min]	1.24 min	3.24 min	0.75 min
Време за нивелиране на една точка в тежки условия [min]	2.42 min	5.18 min	1.14 min