

УДК 528.063

РАВНОТОЧНЫЕ ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ НИВЕЛИРНЫЕ СЕТИ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ НА ГЕОДЕЗИЧЕСКОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

Д.В. УСОВ

(Полоцкий государственный университет)

Исследуются нивелирные сети, используемые для определения вертикальных деформаций инженерных сооружений. Получены равноточные нивелирные построения, в которых после обработки результатов измерений оценка точности определения осадочных реперов оказалась одинаковой. Рассматриваются различные по конфигурации равноточные нивелирные сети. Приведены условия для создания замкнутых, двухконтурных и универсальных равноточных нивелирных построений. Даны рекомендации по применению равноточных нивелирных сетей на геодезическом производстве.

При исследовании многочисленных, различных по своей схеме, нивелирных сетей было установлено, что при соблюдении определенных условий можно запроектировать и реализовать на местности геодезические равноточные построения различного типа:

- замкнутые равноточные нивелирные сети;
- двухконтурные равноточные нивелирные сети;
- универсально-равноточные нивелирные сети.

Под равноточной нивелирной сетью понимается такая геодезическая сеть, в которой средняя квадратическая погрешность высотного положения всех определяемых пунктов после уравнительных вычислений одинакова.

Поэтапно рассмотрим все типы равноточных нивелирных сетей.

1. Замкнутые равноточные нивелирные сети

При проектировании и построении замкнутых равноточных геодезических нивелирных сетей должны соблюдаться следующие условия (в порядке убывания их значимости):

- 1) нивелирная сеть должна быть замкнутой;
- 2) нивелирная сеть должна включаться в математическую обработку без исходных пунктов;
- 2) сеть необходимо уравнивать по методу наименьших квадратов (МНК);
- 3) количество связей на каждом пункте сети с другими пунктами должно быть одинаковым.

Ранее все исследования проводились при условии, что измерения для замкнутых равноточных нивелирных сетей (рис. 1) имеют один и тот же вес $P = E$ как для внутреннего замкнутого хода, так и для замыкающих по его контуру [1]. На геодезическом производстве данное условие сложно практически выполнить, так как расстояние между пунктами внутреннего хода и пунктами замыкающих сети разное.

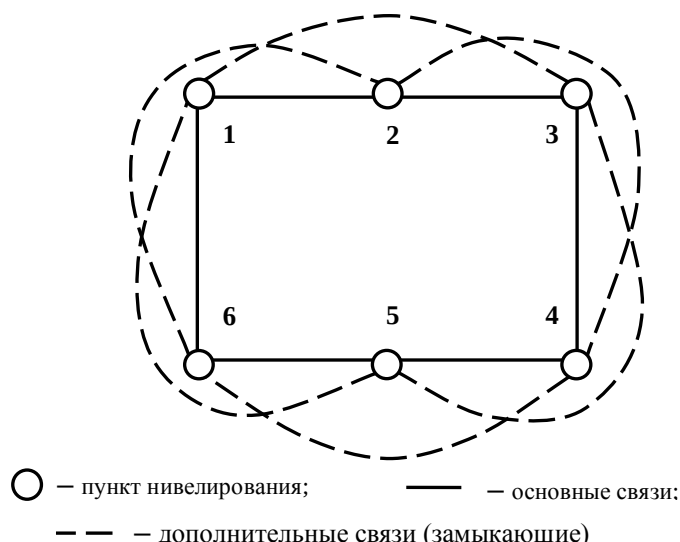


Рис. 1. Равноточный замкнутый нивелирный ход с замыкающими

Дальнейшие исследования показали, что можно получить равноточные нивелирные сети при неравноточных измерениях для внутреннего хода и замыкающих. Например, для сети, показанной на рисунке 1, вес измерений внутреннего хода $P = E$, а для замыкающих $P = 0,5E$. Если бы дополнительные измерения (замыкающие) объединяли три внутренних хода, то $P = 0,33E$, если четыре, то $P = 0,25E$, т.е. пропорционально расстоянию между пунктами.

Данное утверждение можно доказать на примере нивелирной сети, изображенной на рисунке 1, используя формулы (1) – (4) [2].

Точность высотного положения пункта i можно вычислить по следующим формулам:

$$m_{H_i} = \mu \sqrt{Q_{ii}}; \quad \mu = \sqrt{\frac{V^T P V}{r}}, \quad (1)$$

где m_{H_i} – средняя квадратическая погрешность отметки; V – поправки из уравнивания; r – число избыточных измерений; P – матрица весов измерений.

Вес измерений можно вычислить, используя следующие формулы:

$$P = \frac{1}{\sigma_h^2}; \quad P = \frac{C}{L}; \quad P = \frac{1}{j}, \quad (2)$$

где σ_h – стандарт измеренных превышений; L – длина хода в километрах; j – число станций нивелирования для конкретного превышения.

Диагональные элементы Q_{ii} в формуле (1) можно найти, используя матричное выражение:

$$Q = F P^{-1} F^T, \quad (3)$$

где $F = (A^T P A)^+ A^T P$.

Здесь F – расширенная псевдообратная матрица; A – матрица коэффициентов параметрических уравнений поправок.

При проектировании нивелирных сетей вместо выражения (1) можно использовать формулу:

$$m_{H_i} = \sigma_h \sqrt{Q_{ii}}. \quad (4)$$

Численные значения диагональных элементов обратной матрицы весов Q для указанной нивелирной сети при условии, что $P = E$, одинаковы и равны 0,1806. Используя формулу (4), получим одинаковые погрешности положения пунктов для всей сети. Значения диагональных элементов обратной матрицы весов Q для нивелирной сети при условии, что вес измерений внутреннего хода $P = E$, а для замыкающих $P = 0,5E$, одинаковы и равны 0,2491 для всех Q_{ii} . Применяя формулу (4), получим одинаковые для всех пунктов нивелирной сети средние квадратические погрешности определения отметок m_{H_i} , значит, сеть равноточная при различных весах измерений [2].

Можно выделить следующие преимущества замкнутых равноточных сетей:

- 1) замкнутые равноточные сети с различным числом замыкающих в 1,5 – 2,0 раза точнее аналогичных неравноточных нивелирных сетей;
- 2) высотное положение всех пунктов определено с одинаковой точностью;
- 3) используя равноточные сети (например, на атомных электростанциях), можно выявить малые величины деформаций, которые находятся в пределах доверительного интервала погрешностей измерений, за меньшее число циклов наблюдений.

2. Двухконтурные равноточные нивелирные сети

По своей структуре такие сети состоят из двух контуров пунктов: внутреннего и внешнего. Число пунктов внешнего и внутреннего контура должно быть одинаковым, но могут быть и исключения из данного правила.

Приведем необходимые условия для построения двухконтурных равноточных нивелирных сетей:

- 1) нивелирная сеть должна содержать два контура;
- 2) количество примыкающих превышений (связей) к пунктам сети должно быть одинаковым для всех пунктов нивелирного построения;
- 3) пункты внешнего и внутреннего контура должны быть связаны между собой дополнительными связями;
- 4) сеть должна уравниваться как геодезическое построение без исходных пунктов;
- 5) сеть должна уравниваться по методу наименьших квадратов.

Продemonстрируем на рисунке 2 выявленные нами схемы двухконтурных по структуре равноточных нивелирных сетей, которые входят во множество равноточных нивелирных сетей установленного, под руководством профессора В.И. Мицкевича.

Нами было выполнено уравнивание изображенных на рисунке 2 нивелирных сетей и доказано, что при соблюдении всех вышеперечисленных условий данные геодезические построения являются равноточными. Двухконтурные равноточные нивелирные построения обладают всеми достоинствами замкнутых равноточных нивелирных сетей. По точности двухконтурная сеть точнее, чем внешний и внутренний контур в отдельности. Данные сети можно использовать, когда есть необходимость в одинаковой точности внешней и внутренней высотной разбивочной сети и требуется высокая точность измерений.

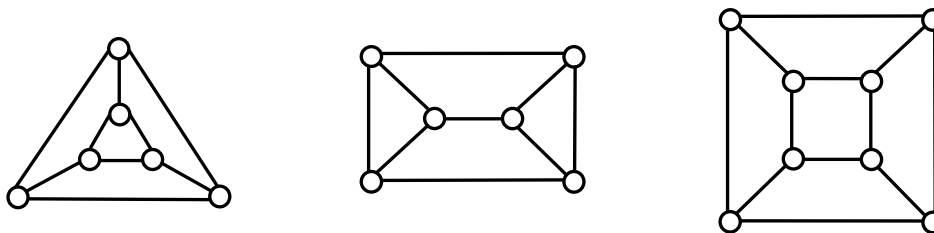


Рис. 2. Схемы двухконтурных нивелирных сетей

3. Универсально-равноточные нивелирные сети

Универсальность данных сетей заключается в том, что сеть равноточная не только для сетей без исходных пунктов (нуль-свободных), но и для свободных и несвободных нивелирных сетей. Данное свойство нами было получено при уравнивании нивелирных сетей, изображенных на рисунке 3.

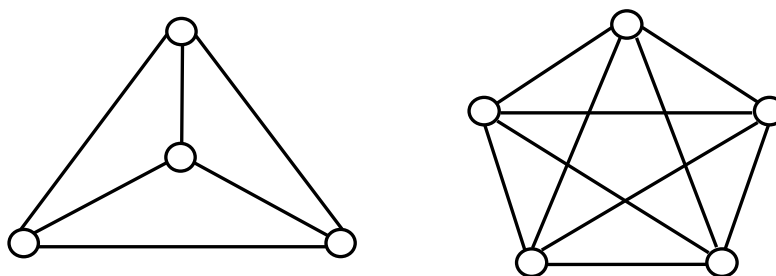


Рис. 3. Универсально-равноточные нивелирные сети

По результатам вычислений, выполненных для различных универсально-равноточных нивелирных сетей, сделаем следующие **выводы**:

1) построив сети определенной конфигурации, можно получить не только равноточные сети, но и универсально-равноточные, т.е. сети, в которых ошибка положения одинакова для всех пунктов при использовании сетей как свободное и несвободное построение;

2) при уравнивании нивелирных сетей по методу наименьших квадратов величина ошибки высотного положения для свободных сетей, опирающихся на один исходный пункт, всегда возрастает по сравнению с ошибками для нуль-свободных сетей (без исходных пунктов);

3) во всех случаях с возрастанием количества пунктов в сети и связей между ними средняя квадратическая ошибка положения пунктов уменьшается для любых несвободных, свободных и нуль-свободных нивелирных сетей;

4) если некоторые из условий построения равноточных нивелирных сетей не выполняются (например, при переходе от одной эпохи наблюдений к другой), можно получить квазиравноточные нивелирные сети.

ЛИТЕРАТУРА

1. Усов, Д.В. Методика построения равноточных нуль-свободных нивелирных и спутниковых геодезических сетей / Д.В. Усов, О.О. Усова, В.В. Ялтыхов // Земля Беларуси. – 2009. – № 1. – С. 38 – 40.
2. Мицкевич, В.И. О проектировании равноточных нивелирных сетей для целей определения осадок инженерных сооружений / В.И. Мицкевич, Д.В. Усов // Вестн. Полоц. гос. ун-та. Сер. Ф. Строительство. Прикладные науки. – 2010. – № 12. – С. 109 – 114.

Поступила 29.04.2012

EQUALLY ACCURATE'S GEODETIC LEVELING NETWORKS AND THEIR USE IN THE GEODETIC MANUFACTURER

D. USOV

Under the guidance of professor V.I. Micevich in the research of leveling networks used to determine the vertical deformation of engineering constructions have been obtained equally accurate leveling networks, in which, after processing the results of measurements accuracy of the estimation of sedimentary frame was the same. The different configurations of equally accurate leveling network. The conditions for the creation of closed, bypass and universal equally accurate leveling constructions. Recommendations on the use of equally accurate leveling networks in geodetic manufacturing.