

УДК 528.8

Тарнопольський Є.А.,
Київський національний університет будівництва і архітектури

АНАЛІЗ МЕТОДІВ РОЗРАХУНКУ ОПТИМАЛЬНОЇ КІЛЬКОСТІ СТАДІЙ РОЗВИТКУ ГЕОДЕЗИЧНОЇ МЕРЕЖІ

Виконано аналіз методів розрахунку оптимального коефіцієнта переходу від однієї стадії розвитку геодезичної основи до іншої та розрахунку кількості стадій геодезичної мережі.

Постановка проблеми. Розвиток системи земельних відносин в Україні зумовив підвищення вимог до топографо-геодезичного забезпечення землевпорядних робіт. Безумовно першою і найголовнішою умовою якісного виконання геодезичних робіт є наявність геодезичної опорної мережі, що побудована з необхідною точністю і має достатню щільність пунктів для виконання всіх видів землевпорядних робіт. Нажаль, на сьогоднішній день в Україні склалась ситуація, коли національна система координат УСК – 2000 з певних причин ще не набула широкого розповсюдження і більшість землевпорядних організацій користуються морально і технічно застарілими системами координат СК-42 та СК-63. Така ситуація змушує великі міста будувати та вводити свої власні місцеві системи координат, які за вихідну приймають УСК-2000, а згущення мережі виконують у відповідності до власних потреб. В таких умовах актуальним є питання визначення необхідної кількості стадій побудови міської мережі з врахуванням використання сучасних геодезичних технологій.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Питанню проектування геодезичних мереж присвячено величезну кількість публікацій. Певне узагальнення існуючих методів та підходів виконано в роботі [1]. Для розрахунку кількості стадій геодезичної мережі запропоновано декілька методів. До найбільш простих можна віднести методи, що використовують співвідношення відносних похибок різних стадій геодезичної мережі, такий метод розглянуто в роботі [2]. Більш гнучкий метод розрахунку в умовах використання супутникових методів визначення місцеположення наведено в [3]. Найбільш сучасним на наш погляд є метод розглянутий в роботі [5]. Даний метод не досліджений в літературі, оскільки на момент його появи технічні засоби не дозволяли виконати значні обчислювальні роботи. Загалом слід відмітити, що до теперішнього часу не виконано загального аналізу існуючих методів розрахунку кількості стадій побудови геодезичної мережі.

Постановка завдання. Метою роботи є виконання аналізу методів розрахунку оптимального коефіцієнта переходу від однієї стадії розвитку геодезичної основи до іншої та розрахунку кількості стадій геодезичної мережі.

Виклад основного матеріалу. Сучасний підхід до розрахунку кількості стадій розвитку геодезичної основи базується на принципі раціонального зменшення стадій розвитку основи.

Допускається, що основу яка побудована на пунктах Української перманентної мережі ГНСС необхідно згустити n стадіями розвитку, останньою з яких будуть теодолітні ходи, які найчастіше використовуються в землевпорядних роботах.

Згідно з методикою, що запропонована в роботі [1], коефіцієнт пониження точності при переході від однієї стадії до іншої задається однаковим. В такому випадку для проміжних стадій розвитку можна записати:

$$\begin{aligned} T_1 &= \frac{T_m}{K}, \\ T_2 &= \frac{T_1}{K} = \frac{T_m}{K^2}, \\ T_3 &= \frac{T_2}{K} = \frac{T_m}{K^3} \\ &\dots\dots\dots \\ T_n &= \frac{T_m}{K^n}. \end{aligned} \quad (1)$$

де, T_m - відносна похибка опорної геодезичної мережі, T_n - відносна похибка заключної стадії побудови мережі. З виразу (1) знаходять:

$$k = \sqrt[n]{\frac{T_n}{T_m}} \Rightarrow n = \log_k \frac{T_n}{T_m} \quad (2)$$

Для прикладу, якщо згустити пункти Української перманентної мережі ГНСС шістьма стадіями, при умові $T_m = 3000000$, $T_n = 4000$, $n = 6$, отримаємо:

$$k = \sqrt[6]{\frac{3000000}{4000}} = \sqrt[6]{750} \approx 2.5$$

Враховуючи значну відмінність точності традиційних спостережень в порівнянні з GPS можна прийняти коефіцієнт пониження точності рівний 3.

Відносна похибка 1-ої стадії згущення буде,

$$T_1 = \frac{3000000}{3} \approx 1000000,$$

а гранична буде 1:500000, що добре узгоджується з точністю мережі 1 класу побудованою за допомогою GPS.

Відносна похибка 2-ої стадії згущення буде,

$$T_2 = \frac{3000000}{9} \approx 340000,$$

а гранична буде 1:170000, що добре узгоджується з точністю мережі 2 класу побудованою за допомогою GPS.

Відносна похибка 3-ої стадії згущення буде,

$$T_3 = \frac{3000000}{27} \approx 110000,$$

а гранична буде 1:55000, що відповідає точності мережі 3 класу побудованою за допомогою GPS.

Аналогічно для 6-ої стадії згущення будемо мати,

$$T_6 = \frac{3000000}{749} \approx 4100,$$

а гранична буде 1:2000, що відповідає точності теодолітного ходу.

При побудові планових мереж супутниковими методами для використання виразу (2) доцільно визначити середні довжини сторін для кожної стадії розвитку мережі і використовувати відносну похибку.

Якщо на ділянці на якій необхідно провести знімання немає пунктів геодезичної основи, тоді для розрахунку необхідної точності побудови геодезичної основи на різних стадіях згідно з [2] приймається умова, що похибка взаємного положення двох точок останньої стадії розвитку, розташованих на відстані 1 км одна від одної, з врахуванням похибок вимірювань в попередніх стадіях, не повинна перевищувати величини M .

Вплив похибок вимірювань в кожній стадії на загальну величину похибки M позначено через m_1, m_2, \dots, m_n , де індекси позначають порядковий номер стадії побудови основи.

Так як, похибки m_1, m_2, \dots, m_n є незалежними, то можна записати:

$$M = \sqrt{\sum_1^n m_i^2}$$

Величину m_i в будь-якій стадії розвитку можна підрахувати за формулою:

$$m_i = \frac{M \cdot k^{i-1}}{\sqrt{1+k^2+k^4+\dots+k^{2(n-1)}}}, \quad (3)$$

де M – загальна сумарна похибка визначення взаємного положення двох точок, які знаходяться на відстані 1 км одна від одної в останній стадії розвитку, в нашому випадку 10 см;

k – коефіцієнт пониження точності при переході від однієї стадії розвитку до іншої;

i – номер стадії розвитку.

Для того, щоб похибки вихідних даних не спотворювали мережу нижчого класу, коефіцієнт пониження точності при переході від більш високої стадії побудови до більш низької в роботах [1;2] рекомендується приймати не меншим за 2,2.

Виконаємо розрахунок для попереднього прикладу. Коефіцієнт 2,2 приймається для розрахунку значення $m_1, m_2, m_3, m_4, m_5, m_6$:

$$m_1 = \frac{10k^0}{\sqrt{1+k^2+k^4+k^6+k^8+k^{10}}} = 0.17 \text{ см,}$$

$$m_2 = \frac{10k^1}{\sqrt{1+k^2+k^4+k^6+k^8+k^{10}}} = 0.38 \text{ см,}$$

$$m_3 = \frac{10k^2}{\sqrt{1+k^2+k^4+k^6+k^8+k^{10}}} = 0.84 \text{ см,}$$

$$m_4 = \frac{10k^3}{\sqrt{1+k^2+k^4+k^6+k^8+k^{10}}} = 1.84 \text{ см}$$

$$m_5 = \frac{10k^4}{\sqrt{1+k^2+k^4+k^6+k^8+k^{10}}} = 4.05 \text{ см}$$

$$m_6 = \frac{10k^5}{\sqrt{1+k^2+k^4+k^6+k^8+k^{10}}} = 8.92 \text{ см}$$

Слід зазначити, що відносні точності взаємного положення двох точок в різних стадіях побудови, отримані для вирівняних мереж і їх не можна ототожнювати з допустимими чи середніми відносними похибками в полігонометричних та теодолітних ходах.

При використанні супутникових методів, після зрівнювання відомі не лише відносні похибки визначення базових ліній, а й середні квадратичні похибки абсолютного положення кожного пункту. Оскільки в містах побудова мереж на останніх стадіях виконується традиційними методами [5], то доцільно виконати розрахунок коефіцієнта пониження точності і кількості стадій з врахуванням можливості моделювання впливу випадкових та систематичних похибок. Нехай на об'єкті є мережа з похибкою пунктів δ_m і передбачається виконати згущення цієї мережі в n стадій. Якщо похибка кінцевої стадії повинна дорівнювати δ_n , а при переході від старшого розряду до молодшого використовують постійний коефіцієнт пониження точності k , тоді:

$$\delta_1 = k\delta_m, \delta_2 = k^2\delta_m, \delta_n = k^n\delta_m$$

$$k = \sqrt[n]{\frac{\delta_n}{\delta_m}} \Rightarrow n = \log_k \frac{\delta_n}{\delta_m} \quad (4)$$

Перевага використання виразу (4) в тому, що він дозволяє обчислити вплив випадкових та систематичних похибок на кожній стадії.

Коефіцієнт пониження точності призначають виходячи з наступних міркувань. Для того, щоб при зрівнюванні мережі похибки вихідних даних не спотворювали результати вимірювань на нижчих стадіях, висувають умову:

$$m_F \quad m_{F_1} = qm_F$$

де q - задана наперед мала величина. Тоді отримують:

$$m_F^2 \leq \frac{m_{F_1}^2}{(1-q)^2}$$

При сумісному вирівнюванні мереж двох стадій:

$$m_F^2 = \frac{\mu^2}{P_F}; m_{F_1}^2 = \frac{\mu^2}{P_{F_1}},$$

тоді,

$$P_F \geq (1 - q)^2 P_{F_1} \quad (5)$$

Для визначення P_F, P_{F_1} необхідно вирішити дві системи рівнянь. В першій системі рівняння поправок складають тільки для вимірювань однієї стадії, у другому випадку – для вимірювань у двох стадіях.

При параметричному способі вирівнювання, рівняння поправок першої стадії мають вигляд:

$$V_1 = A_1 x + L_1 \quad (6)$$

де V_1 - вектор поправок; A_1 - матриця коефіцієнтів рівнянь поправок; x - вектор невідомих або поправок до невідомих координат пунктів мережі нижчої стадії.

При вирішенні рівнянь (6) за умовою $V_1^T P_1 V_1 = \min$ можна знайти $\frac{1}{P_{F_1}}$.

Рівняння поправок для двох стадій представляють:

$$\begin{aligned} V_1 &= A_1 x_1 + A x + L \\ V &= \quad \quad \quad x \end{aligned} \quad (7)$$

Використовуючи співвідношення ваг $P = P_1 k^2$, рівняння (7) вирішують під умовою $V_1^T P_1 V_1 + V^T P V = \min$ і визначають вагу $\frac{1}{P_F}$.

Порівнюючи ваги $\frac{1}{P_{F_1}}$ и $\frac{1}{P_F}$ за виразом (5) визначають правильність вибору коефіцієнта пониження точності. При більшості розрахунків приймають $q = 0.05$.

Використовуючи значення ваг P и P_1 можна при вибраному k визначити для всіх пунктів значення q , які задовольняють нерівність (5). Отримані величини q не тільки дозволяють визначити надійність k , але й характеризують якість мережі в цілому. Даний метод є найбільш сучасним і потребує більш детального дослідження.

Висновки. Виконано аналіз методів розрахунку оптимального коефіцієнта переходу від однієї стадії розвитку геодезичної основи до іншої та розрахунку кількості стадій геодезичної мережі. Встановлено необхідність в подальшому виконання детального дослідження кожного з розглянутих методів в комплексі.

Література

1. Тамутис З.П. Проектирование инженерных геодезических сетей. М., Недра, 1990. – 138 с.
2. Левчук Г.П., Новак В.Е., Конусов В.Г. Прикладная геодезия. Основные методы и принципы инженерно-геодезических работ. М., Недра. 1981. – 443 с.
3. Практикум по курсу прикладной геодезии. В.Е. Новак, Г.П. Левчук, Г.Ф. Глотов, О.И. Горбенко и др. под ред. Н.Н. Лебедева. М., Недра, 1977. - 384 с.
4. Лукьянов В.Ф. Расчеты точности инженерно-геодезических работ. М, Недра, 1981. – 285 с.
5. Бойков А.В. Теоретические основы и практическая реализация координатного обеспечения спутниковой системы межевания земель (проект «Москва»). Автореферат канд. Диссертации, МИИГАиК, Москва, 2008, 24с.

АННОТАЦИЯ

Выполнен анализ методов расчета оптимального коэффициента перехода от одной стадии развития геодезической сети к другой и расчета количества стадий геодезической сети.

SUMMARY

The analysis of calculation methods for optimum coefficient of transition from one stage of geodetic network to other and calculation of amount of the stages of geodetic network is executed.