

УДК 528.4

С.П. ВОЙТЕНКО, д-р техн.наук, проф., Р.В. ШУЛЬЦ, канд.техн.наук, доц.,
О.О. КУЧЕРЕНКО, інж., С.А. ШВЕНЬОВ, інж. (Київський національний університет
будівництва і архітектури)

СТВОРЕННЯ СПЕЦІАЛЬНИХ ПЛАНОВИХ ІНЖЕНЕРНО-ГЕОДЕЗИЧНИХ МЕРЕЖ ЗНАЧНИХ СПОРУД НА ПРИКЛАДІ РЕКОНСТРУКЦІЇ НСК «ОЛІМПІЙСЬКИЙ»

Наведено методику створення і дослідження спеціальних планових інженерно-геодезичних мереж значних споруд на прикладі реконструкції НСК «Олімпійський».

Постановка проблеми

Створення спеціальних інженерно-геодезичних мереж виконується поетапно з переходом від більш точних мереж до менш точних. При реконструкції існуючих об'єктів реалізувати таку схему побудови мережі досить складно, оскільки етапи розвинення геодезичної мережі нерозривно пов'язані з проектом виконання будівельних робіт, під порядок виконання яких змушені підлаштовуватися геодезисти. Створення спеціальної інженерно-геодезичної мережі та підтримування її в належному стані є дуже складною інженерною задачею. З іншого боку наявність такої мережі дозволяє вирішувати ряд науково-технічних задач, зокрема моніторинг стану об'єктів в зоні будівництва та дослідження сучасних геодезичних приладів і програмного забезпечення. На базі кафедри інженерної геодезії київського національного університету будівництва і архітектури (КНУБА) створено контрольну геодезичну службу реконструкції НСК «Олімпійський». З метою виконання контрольних геодезичних вимірювань на найвищому науково-технічному рівні кафедрою було закуплено найсучасніше геодезичне устаткування: систему високоточного геодезичного моніторингу Leica GeoMos на базі найточнішого на сьогоднішній день в Україні електронного тахеометра TM30 та програмне забезпечення «МГСети» розробки донецького національного технічного університету під керівництвом професора С.Г. Могильного. Такий комплект устаткування дозволяє на сьогодні вирішити основні задачі, що поставлені перед контрольною геодезичною службою НСК «Олімпійський» і зокрема створення та дослідження багатостадійної інженерно-геодезичної мережі.

Огляд попередніх публікацій

Питанню створення інженерно-геодезичних мереж в декілька стадій присвячено значну кількість робіт закордоном і в Україні. Найбільш ґрунтовними слід визнати роботи професорів П.І. Барана, С.П. Войтенко, Є.Б. Ключина, Г.П. Левчука, Н.Н. Лебедева, Ю.І. Маркузе та ін [1-4]. Якщо розглядати нормативну документацію, то в будівельних нормах [5;6] недостатньо висвітлені питання пов'язані з методикою та точністю побудови інженерно-геодезичних мереж в декілька стадій при реконструкції інженерних споруд. Що стосується спостереження за стабільністю пунктів такої мережі то в нормативній літературі взагалі відсутні будь-які конкретні рекомендації.

Постановка завдання. Мета роботи розробка методики створення та дослідження спеціальних планових інженерно-геодезичних мереж значних споруд на прикладі реконструкції НСК «Олімпійський».

Основний зміст роботи

Наведене дослідження базується на результатах які отримані кафедрою інженерної геодезії КНУБА при створенні багатостадійної опорної геодезичної мережі на час влаштування покрівлі НСК «Олімпійський» в м. Києві.

Проект реконструкції НСК «Олімпійський» є унікальним. Розробником проекту виступила німецька фірма GMP. В результаті проведення реконструкції над стадіоном НСК «Олімпійський» буде встановлено покрівлю, яка буде триматися на 80-ти колонах висотою понад 40 метрів (рис. 1).

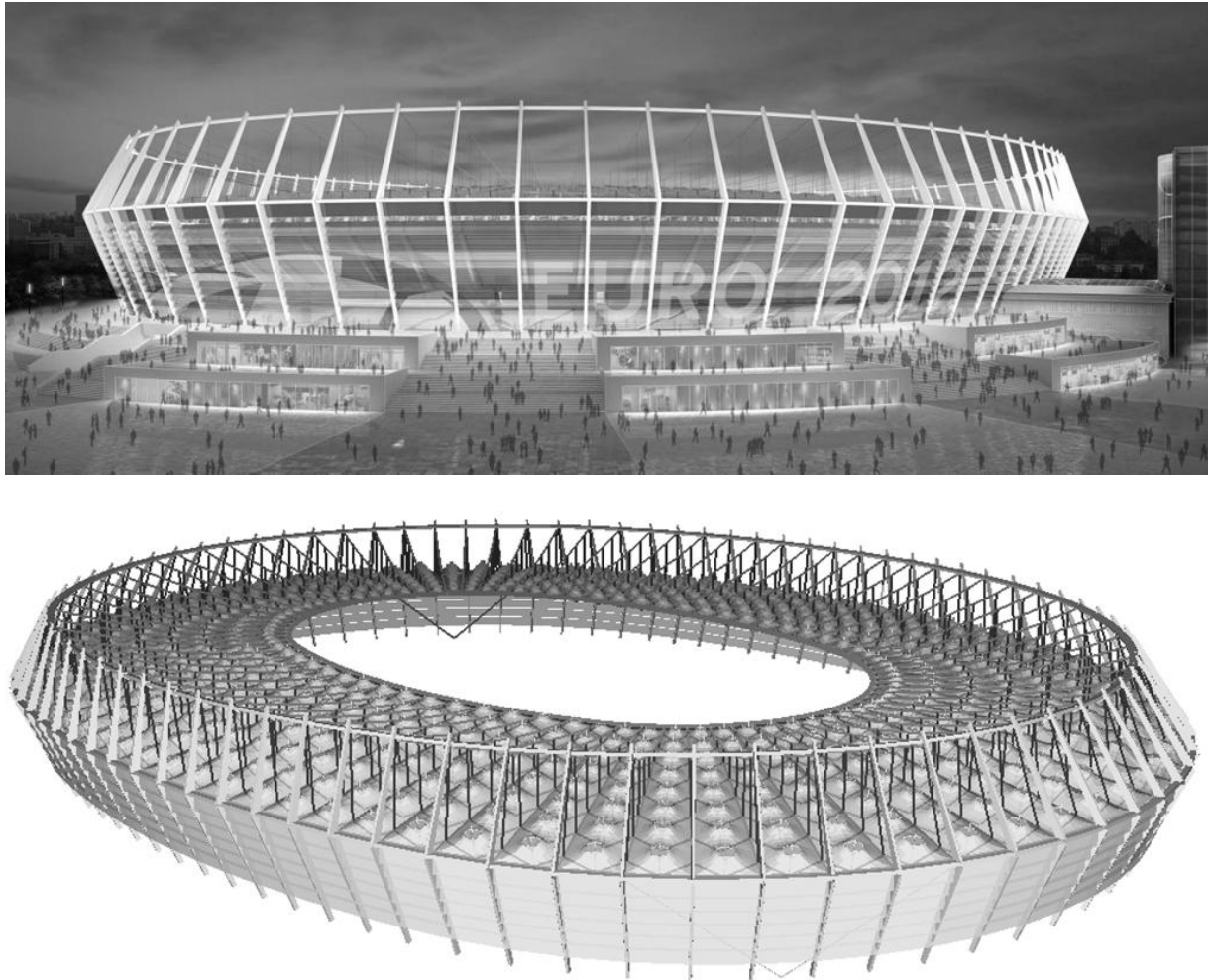


Рис. 1. Проект покрівлі НСК «Олімпійський»

Зрозуміло, що при реалізації такого проекту геодезичні роботи які пов'язані із забезпеченням проектної геометрії споруди будуть вкрай важливими. Відповідно до існуючих вимог для будівництва і реконструкції такого типу об'єктів було розроблено проект виконання геодезичних робіт (ПВГР). ПВГР є складовою частиною проекту виконання будівельно-монтажних робіт (ПВР), він розроблений на основі діючої нормативної документації та з врахуванням конструктивних, архітектурно-планувальних особливостей об'єкту згідно робочих креслень та проектної документації.

Відповідно до ПВГР було запроєктовано планово-висотну геодезичну мережу, яка має декілька стадій з різним рівнем точності. Точність створення кожної стадії мережі розраховувалась у відповідності до вимог забезпечення передбачених проектом виконання будівельних робіт геометричних параметрів і встановлення елементів

конструкції у проектне положення із заданою точністю. Вимоги, щодо точності для конструкцій покрівлі згідно проекту GMP наведені в таблиці 1.

Табл. 1. Допустимі відхилення у встановленні елементів покрівлі

| Допустимі відхилення, мм | Вимоги, щодо точності для змонтованої та попередньо зтиснутої конструкції покрівлі |
|--------------------------|---|
| ±5 | в плані для кожної вузлової точки основи колони |
| ±5 | по висоті для кожної прилеглої вузлової точки основи колони |
| ±10 | по висоті для кожної вузлової точки основи колони |
| ±15 | в плані для кожної вузлової точки нижнього кільця* |
| ±5 | по висоті для кожної прилеглої вузлової точки нижнього кільця |
| ±10 | по висоті для кожної вузлової точки нижнього кільця |
| ±20 | в плані для кожної вузлової точки верхнього кільця та вузлових точок капітелі колони* |
| ±5 | по висоті для кожної прилеглої вузлової точки верхнього кільця та вузлових точок капітелі колони |
| ±10 | по висоті для кожної вузлової точки верхнього кільця та вузлових точок капітелі колони * |
| ±30 | в плані для кожної стандартної вузлової точки розтягнутого кільця |
| ±5 | в плані для кожної позиції з'єднувальних елементів кільця, зв'язаних з суміжними з'єднувальними елементами внутрішнього розтягнутого кільця |
| ±80 | по висоті для кожної вузлової точки розтягнутого кільця |
| ±10 | по висоті для кожної вузлової точки розтягнутого кільця суміжних вузлових точок |
| ±35 | по висоті, для вузлових точок в середині вантової ферми (верхній та нижній радіальний трос) на кожній осі. |

* - Жодна з точок фасадних колон (основа колони/нижнє кільце/ верхнє кільце) не повинна виступати більше ніж на ±5 мм в радіальній площині

Геодезична мережа стадіону буде використовуватися для проведення геодезичних досліджень монтажної геометрії споруди згідно проекту:

в період виконання монтажних робіт по фасадних колонах та стиснутому кільцю;

- для детальних досліджень на кожній третині об'єкта (≈ 33 м.);
- після закінчення монтажу сталюї конструкції на стиснутому кільці виконується дослідження всіх отворів під штирі для тросових з'єднань;
- в період попереднього натягу конструкції покрівлі необхідно виконати чотири геодезичних дослідження тросових конструкцій;
- після закінчення збирання тросової конструкції виконують визначення практичного положення всіх точок для тросових з'єднань;
- після остаточного монтажу мембрани виконують геодезичні вимірювання геометрії тросової конструкції;
- після завершення всіх робіт по конструкції покрівлі виконують повне дослідження геометрії покрівлі.

Після завершення всіх робіт точки геодезичної основи та марковані точки елементів конструкцій споруди передаються для проведення подальших досліджень геометрії параметрів споруди та їх деформацій.

Для виконання розмічувальних робіт і монтажу елементів конструкцій нижнього ярусу НСК “Олімпійський” безпосередньо на полі стадіону було запроєктовано внутрішню планово-висотну мережу (I стадія) із 7 пунктів С, F₁, F₂, В₁, В₂, В₃, В₄ (рис. 2).

Пункти С, F₁, F₂ закріплені бетонними монолітами на глибину 70-80 см, пункти В₁, В₂, В₃, В₄ - фундаментальними реперами на глибину 8 м до стійких порід ґрунту з влаштуванням зовнішніх знаків для встановлення вимірювальних приладів та марок.

Для монтажу елементів конструкцій покрівлі стадіону було запроєктовано зовнішню нижню геодезичну мережу (II стадія).

Проектування такої мережі надзвичайно складне за умов:

1. відсутності місць закріплення пунктів фундаментальними реперами на глибину до стійких ґрунтів;
2. складними умовами будівельного майданчика на всій території якого виконуються земляні та будівельно-монтажні роботи;
3. складністю забезпечити видимість між пунктами геодезичної мережі;
4. можливою деформацією існуючих та зведених споруд НСК, яка визначається за результатами наукового геодезичного супроводу;
5. для забезпечення необхідної точності інженерно-геодезичних розмічувальних робіт пункти опорної мережі повинні, по можливості, розміщуватись як найближче до конструкцій споруди, оскільки безвідбиткові електронні тахеометри дають надійні результати вимірювання відстаней до конструкцій до 100 м.

Зовнішня лінійно-кутова мережа включає пункти М2-М7 та пункт А9, як зв'язкові.

Пункти зовнішньої мережі М3-М5 було закріплено на бетонних опорних поверхнях для влаштування проїздів та на опорних підпірних стінках. Пункти М2, М6, М7 розміщені на покрівлях будинків прилеглих до території НСК.

Для розмічування елементів конструкцій та контрольно-монтажних вимірів в холодній зоні, по осям 120 – 450 розвивається система полігонометричних ходів з пунктами А1–А11 з точністю II стадії, яка опирається на пункти внутрішньої мережі В2, В3, В4.

Планова геодезична мережа повинна забезпечити встановлення елементів конструкцій в проектне положення згідно вимог робочих креслень з найвищою в плані точністю $\delta = \pm 5$ мм.

Відомо, що допустиме відхилення на встановлення контрольної точки елементу конструкції δ_T визначається за формулою:

$$\delta_T = K_1^2 \delta_1^2 + K_2^2 \delta_2^2 + K_3^2 \delta_3^2 + K_4^2 \delta_4^2 \quad (1)$$

де $\delta_1, \delta_2, \delta_3, \delta_4$ – допустимі відхилення похибок для мережі I, II, III стадій та розмічувальних робіт; K_1, K_2, K_3, K_4 – коефіцієнти співвідношення точності між різними стадіями виконання геодезичних вимірів.

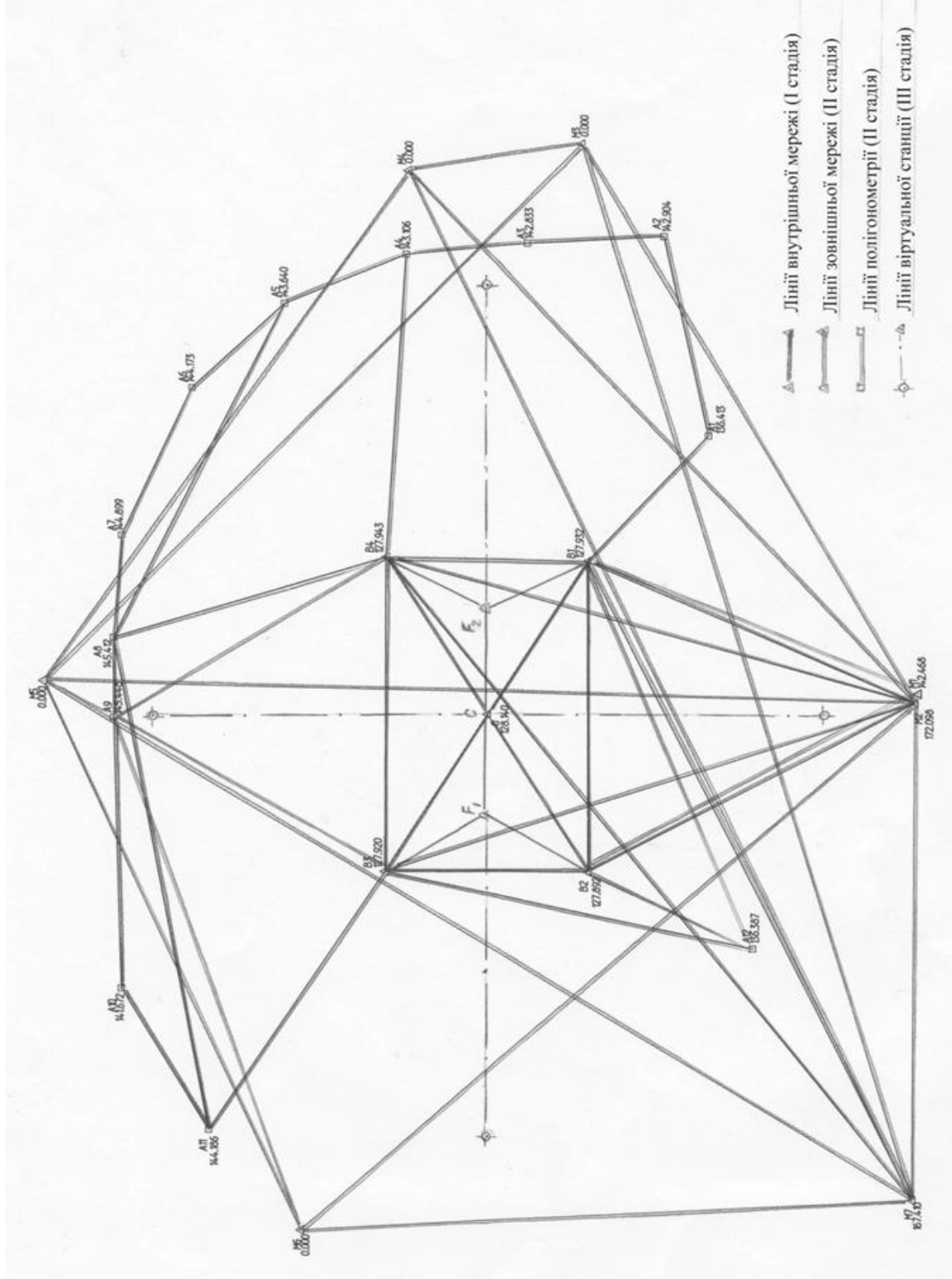


Рис. 2. Схема багатостадійної лінійно-кутової мережі

Розрахунок виконано за методикою, розробленою проф. Г.П.Левчуком та проф. С.П.Войтенко, яка дозволяє встановити коефіцієнти K_i . За формулою (1) виконано розрахунки точності виконання геодезичних вимірів на різних стадіях. При цьому точність кутових та лінійних вимірів в кожній стадії визначається за формулою:

$$\delta_T^2 = \delta_L^2 + \delta_\beta^2 \quad (2)$$

де $\delta_\beta = \delta_T \rho / 2S$; S – довжина ліній, геодезичної мережі або для розмічувальних робіт.

Розрахунки точності геодезичних вимірів наведено в таблиці 2.

Табл. 2. Точність вимірювання ліній та кутів на різних стадіях побудови інженерно-геодезичної мережі

| Стадії | Лінійних вимірів, мм | Кутових вимірів, " |
|---------------------------|----------------------|--------------------|
| внутрішньої мережі (I) | 1 | 2,8 |
| зовнішньої мережі (II) | 1 | 1,2 |
| вільної станції (III) | 2 | 3,3 |
| розмічувальні роботи (IV) | 2 або 3 | 12 або 8 |

За результатами розрахунків для створення мережі стадії I було використано електронний тахеометр “Trimble” (США) з СКП вимірювання кутів 1" та СКП вимірювання ліній 1мм + 1мм/км.

Передбачаючи можливу деформацію пунктів, запроєктовано і виконано повторні спостереження та обчислення координат пунктів зовнішньої мережі. Було проведено два цикли спостережень з інтервалом в один місяць. В першому циклі спостережень мережі стадії II було використано для вимірювання кутів та ліній електронний тахеометр Sokkia (Японія) з СКП вимірювання кутів 1"; СКП вимірювання ліній 2мм + 2мм/км. Для спостережень в другому циклі було використано: для вимірювання кутів електронний тахеометр Sokkia (Японія) з СКП вимірювання кутів 1", для вимірювання ліній електронний тахеометр “Trimble” (США) з СКП вимірювання ліній 1мм + 1мм/км.

Вимірювання кутів на пунктах лінійно-кутової мережі виконано способом прийомів при вимірюванні окремого кута або способом кругових прийомів за багатостативною системою. Центрування приладу та візирних марок виконували з точністю 0,5 мм.

Перед початком робіт, прилади перевіряють, юстирують і досліджують за відповідною програмою. Обов'язковою є наявність сертифікатів Укрметтестстандарту, що підтверджують точність використаних приладів. Кількість прийомів, що залежить від точності приладу який застосовується, наведена в табл. 3.

Табл. 3. Кількість прийомів вимірювання кутів на різних стадіях побудови інженерно-геодезичної мережі

| Точність вимірювання кутів | Кількість прийомів I,II,III стадія |
|----------------------------|------------------------------------|
| 0.5" | 4 |
| 1" | 6 |

Результати вимірювання окремих кутів або напрямків на пунктах мають бути в межах допусків, що наведені в табл. 4.

Табл. 4. Вимоги до точності вимірювання кутів

| Елементи вимірювання | Точність приладу | |
|--|------------------|----|
| | 0.5" | 1" |
| Розходження між значеннями кута з двох напівприймів | 3" | 5" |
| Коливання значення кута з різних прийомів | 2" | 4" |
| Розходження між результатами спостережень на початковий напрямок на початку і в кінці напівприйому | 3" | 5" |
| Коливання значень напрямків, що приведені до спільного нуля, в окремих прийомах | 2" | 4" |

Точність вимірювання сторін регламентується точністю приладу та розрахунками точності. Вимірювання ліній електронними тахеометрами виконано двома прийомами. Між прийомами виконано повторне центрування приладу та візирних цілей.

Коливання результатів вимірювань у прийомах не повинні бути більшими 2,5 mS, де mS — середня квадратична помилка вимірювання віддалі, що взята з паспорта приладу.

Зрівнювання результатів спостережень в першому та другому циклах виконано в програмному комплексі «МГСети» [9] і наведено в таблицях 5 і 6.

Табл. 5. Результати зрівнювання інженерно-геодезичної мережі II стадія, перший цикл

| № | Точка | X, м | Y, м | m_x , м | m_y , м |
|---|-------|----------|----------|-----------|-----------|
| 1 | M2 | -139,914 | 3,8007 | 0,0014 | 0,0011 |
| 2 | M7 | -134,337 | -167,01 | 0,0019 | 0,0018 |
| 3 | M6 | 65,7448 | -171,594 | 0,002 | 0,0016 |
| 4 | M5 | 145,1552 | 19,6904 | 0,0016 | 0,0016 |
| 5 | M3 | -36,0444 | 198,2709 | 0,0023 | 0,0021 |
| 6 | A9 | 122,1293 | -0,6942 | 0,001 | 0,0009 |

Оцінка точності вимірювань наведена в таблиці 7.

Табл. 6. Результати зрівнювання інженерно-геодезичної мережі II стадія, другий цикл

| № | Точка | X, м | Y, м | m_x , м | m_y , м |
|---|-------|----------|----------|-----------|-----------|
| 1 | M2 | -139,913 | 3,802 | 0,0009 | 0,001 |
| 2 | M7 | -134,338 | -167,008 | 0,0016 | 0,0012 |
| 3 | M6 | 65,7439 | -171,595 | 0,0017 | 0,0011 |
| 4 | M5 | 145,1569 | 19,6907 | 0,0011 | 0,0013 |
| 5 | M3 | -36,0414 | 198,2728 | 0,0018 | 0,0012 |
| 6 | A9 | 122,1296 | -0,6949 | 0,0008 | 0,0009 |

Табл. 7. Оцінка точності результатів вимірювань II стадії в другому циклі вимірювань

| Похибки | | | |
|-------------|----------|----------|-----------|
| | Напрямок | Лінія, м | Відносна |
| СКП | 1.55 | 0.0010 | 1: 232086 |
| Максимальна | 2.00 | 0.0013 | 1: 23017 |

Передбачаючи можливу зміну положення пунктів були утворені різниці між координатами двох циклів таблиця 8.

Табл. 8. Різниці координат II стадії між першим та другим циклами

| | Різниці, мм | | | | | | Сумма |
|---|-------------|---------|--------|---------|---------|---------|---------|
| X | -0,001 | 0,0005 | 0,0009 | -0,0017 | -0,003 | -0,0003 | -0,0046 |
| Y | -0,0013 | -0,0013 | 0,0006 | -0,0003 | -0,0019 | 0,0007 | -0,0035 |

Максимальне відхилення в координатах дорівнює 1.9 мм. Важливо визначити величину зміни положення пункту при якій її величина не впливатиме на точність подальших робіт Допустимо величину зміщення розраховують:

$$d_{X,Y}^2 \leq 0.11m_{X,Y}^2. \quad (3)$$

Якщо величина $d_{X,Y}$ не перевищує величини відповідно до виразу (3), то вона не впливатиме на подальшу точність контрольних вимірювань.

За отриманою різницею координат визначають допустиме відхилення яке вказує на можливу зміну положення пункту. Якщо отримані різниці координат перевищують величин:

$$\delta X \leq t\sqrt{2}d_X; \quad \delta Y \leq t\sqrt{2}d_Y, \quad (4)$$

то пункти є стабільними. В нашому випадку, якщо вважати, що середня довжина сторони в мережі 230 м то за виразом (2) матимемо планову точність мережі $\pm 1,5$ мм. Згідно з формулою (3) допустиме планове відхилення $d_{X,Y}$ буде дорівнювати $\pm 0,5$ мм. Отже використовуючи вирази (4), t для контрольних вимірів приймемо рівним 2,5, допустимі відхилення в координатах, які вказують про відсутність зміни положення пункту будуть $\pm 1,2$ мм. Отже в чотирьох випадках виникає підозра можливої зміни положення пункту. Проведемо більш детальний аналіз результатів спостережень.

В таблиці 8 в кінці утворено суми різниць, які дають підстави стверджувати можливу наявність систематичних похибок в результатах вимірювань. Оскільки кути в обох циклах вимірювались з однаковою точністю то проаналізуємо результати лінійних вимірювань. Отримані в двох циклах результати лінійних вимірювань при умові відсутності систематичних похибок можна представити як подвійні вимірювання. Утворимо з кожної пари виміряних ліній подвійні різниці d_i та виконаємо обробку ряду подвійних різниць.

Оскільки в двох циклах вимірювання ліній виконувались з різною точністю, то вагу подвійної різниці обчислимо враховуючи точність вимірювання відстані m_s за відомою формулою [7;8]:

$$P_{d_i} = P_{d_1} P_{d_2} / (P_{d_1} + P_{d_2}) \quad (5)$$

Величину можливої систематичної похибки обчислимо, як:

$$\theta = [pd] / [p] = -0,0021 \text{ мм} \quad (6)$$

Значимість систематичної похибки розраховують:

$$\left| [p_{d_i} d] \right| \leq \frac{2.5 \left| [p_{d_i} d] \right|}{\sqrt{[p_{d_i}]}} \quad (7)$$

$$0,029 \geq 0,022$$

Оскільки гіпотеза про наявність систематичних похибок у результатах спостережень підтвердилась виправимо відстані виміряні в першому циклі на величину систематичної похибки та виконаємо повторне зрівнювання.

Табл. 9. Різниці координат пунктів II стадії між першим та другим циклами після ведення поправки за систематичну похибку вимірювання відстані

| | Різниці, мм | | | | | | Сума |
|---|-------------|---------|--------|---------|---------|--------|---------|
| X | -0,001 | 0,0002 | 0,0018 | -0,0007 | -0,003 | 0,0007 | -0,002 |
| Y | -0,0012 | -0,0009 | 0,0002 | 0,0005 | -0,0009 | 0,0002 | -0,0021 |

Аналізуючи дані таблиці 9 бачимо, що відбувся суттєвий перерозподіл різниць між двома циклами спостережень. Після введення поправки за систематичну похибку лише в одному місці залишається підозра на виникнення зміщення точки. На кафедрі інженерної геодезії КНУБА ведуться спеціальні розробки методики визначення планової та висотної стабільності геодезичної мережі. Лише застосувавши таку методику можна з впевненістю стверджувати про можливу зміну положення геодезичного пункту.

Висновки

Виконані дослідження дозволяють зробити ряд важливих висновків.

1. За рівнем точності створена геодезична мережа є унікальною, оскільки при середній довжині сторін в 230 м і максимальній довжині 380 метрів в міських умовах досягнуто планової точності в найгіршому місці $m_p = 2,2$ мм.

2. Створена за відповідною методикою та з дотриманням відповідної технології інженерно-геодезична мережа є високоточною і дозволяє окрім безпосереднього її використання в процесі будівництва, контролювати точносні параметри геодезичних приладів.

3. За результатами двох циклів спостережень підтверджено стабільність пунктів мережі.

Головні зусилля зосереджені на проведенні третього циклу спостережень з використанням найточнішого в Україні електронного тахеометра Leica TM30 (Швейцарія) з СКП вимірювання кутів 0,5"; СКП вимірювання ліній 0,6мм + 1мм/км. Проектом також передбачено виконання дослідження можливостей глобальних супутникових навігаційних систем для створення високоточних інженерно-геодезичних мереж.

Бібліографічний список

1. Прикладная геодезия. Основные методы и принципы инженерно-геодезических работ / [В.Е. Новак, В.Г. Конусов] ; под ред. проф. Г.П. Левчука. - М.: Недра, 1981. - 402 с.
2. Практикум по прикладной геодезии / под редакцией Н.Н. Лебедева. - М.: Недра, 1977.
3. Черников В.Ф., Гладкий В.И. Инженерно-геодезические изыскания для реконструкции промышленных сооружений / В.Ф. Черников, В.И. Гладкий. - М.: Недра, 1988. - 160 с.

4. Даниленко Т.С. Организация и производство геодезических работ при крупном строительстве / Т.С. Даниленко. - М.: Недра, 1975. - 320 с.
5. Геодезические работы в строительстве: СНиП 3.01.03-84. Госстрой СССР. - М.: ЦИТЛ Госстроя СССР, 1985.
6. Пособие по производству геодезических работ в строительстве (к СНиП 3.01.03-84). Госстрой СССР. - М., ЦИТЛ Госстроя СССР, 1985.
7. Большаков В.Д. Практикум по теории математической обработки геодезических измерений / В.Д. Большаков, Ю.И. Маркузе. - М.: Недра, 1984. - 352 с.
8. Большаков В.Д. Практикум по теории математической обработки геодезических измерений / В.Д. Большаков, Ю.И. Маркузе. М.: Недра, 1984. - 352 с.
9. МГСети. Маркшейдерско-геодезические сети и съемки программа уравнивания маркшейдерских и геодезических планово-высотных, линейно-угловых сетей. Руководство пользователя. - Донецк, 2006.

Надійшла до редколегії 03.10.2009

С.П. ВОЙТЕНКО, Р.В. ШУЛЬЦ, О.О. КУЧЕРЕНКО, С.А. ШВЕНЬОВ

**СОЗДАНИЕ СПЕЦИАЛЬНЫХ ПЛАНОВЫХ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ СЕТЕЙ
ЗНАЧИТЕЛЬНЫХ СООРУЖЕНИЙ НА ПРИМЕРЕ РЕКОНСТРУКЦИИ НСК
«ОЛИМПИЙСЬКИЙ»**

Приведена методика создания и исследования специальных плановых инженерно-геодезических сетей значительных сооружений на примере реконструкции НСК «Олимпийский».

S. VOYTENKO, R. SHULTS, O. KUCHERENKO, S. SHVENEV

**CREATION OF SPECIAL PLAN ENGINEER-GEODETIC NETWORKS OF LARGE
BUILDINGS ON EXAMPLE OF NSK "OLYMPYISKYI" RECONSTRUCTION**

The methods of creating and studying the special plan engineer-geodetic networks of large buildings on the example of NSK "Olympyiskyi" reconstruction are provided.

© С.П. Войтенко, Р.В. Шульц, О.О. Кучеренко, С.А. Швеньов, 2010