

## ГЕОДЕЗИЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ВЛАШТУВАННЯ ПОКРІВЛІ НСК “ОЛІМПІЙСЬКИЙ”

С. Войтенко, Р. Шульц

Київський національний університет будівництва і архітектури

**Ключові слова:** НСК “Олімпійський”, геодезичне забезпечення.

### Постановка проблеми

Під час будівництва значних споруд особливу увагу приділяють забезпеченню проектної геометрії споруди. В таких умовах геодезичне забезпечення будівництва є особливо відповідальним етапом робіт. Реконструкція НСК “Олімпійський” передбачає зведення покрівлі у вигляді мембрани на вантах, яка буде триматись на 80 металевих колонах. Згідно з вимогами проектувальника для об’єктів такого класу передбачено три стадії геодезичного забезпечення та контролю: геодезичні роботи під час будівництва; контрольні геодезичні вимірювання та незалежні контрольні геодезичні вимірювання. Забезпечення всіх стадій геодезичних робіт вимагає розроблення проекту виконання геодезичних робіт (ПВГР). Для кожної відповідальної споруди ПВГР є унікальним і містить нові технічні рішення.

### Аналіз останніх досліджень та публікацій, які стосуються цієї проблеми

ПВГР є відповідальним етапом. Для його розроблення сформовано загальні підходи та вимоги, які наведені в [1–4]. Як зазначено вище, для кожної споруди такий проект є унікальним і в кожному окремому випадку містить нові підходи та розробки. При геодезичному забезпеченні значних споруд необхідно враховувати відомий досвід багатьох вчених, наприклад [5; 6]. Особливу увагу треба приділяти використанню нових сучасних технологій, як це рекомендується в роботах [7; 8].

### Постановка завдання

Метою роботи є розроблення практичних рекомендацій з геодезичного забезпечення влаштування покрівлі НСК “Олімпійський”.

### Виклад основного матеріалу дослідження

Влаштування покрівлі НСК “Олімпійський” є окремим етапом реконструкції всього комплексу загалом. Згідно з проектом реконструкція комплексу повинна завершитись в 2011 році.

Проект геодезичного забезпечення влаштування покрівлі НСК “Олімпійський” розроблено відповідно до вимог генерального проектувальника – німецької фірми GMP. Під час

будівельних робіт кожний субпідрядник відповідно до контракту із встановлення покрівлі повинен передати фактичну геометрію споруди. Ця операція повинна здійснюватись, як мінімум: після завершення робіт на бетонній конструкції; після монтажу будівельних конструкцій; після попереднього натягу тросових конструкцій; після встановлення мембрани; після завершення фасадних робіт.



Рис. 1. Проект реконструкції НСК “Олімпійський”

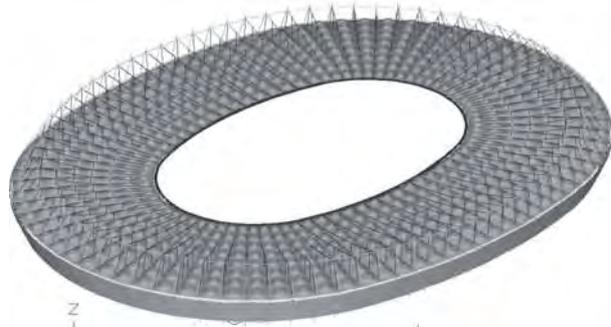


Рис. 2. 3D-модель НСК “Олімпійський”

Мінімальні вимоги проектувальника до геодезичних робіт на місці:

1. Під час монтажних робіт по стиснутому кільцю і фасадних колонах вся конструкція повинна пройти дослідження після закінчення робіт на кожній третині об’єкта.

2. Після завершення збирання сталевих конструкцій на стиснутому кільці дослідження всіх отворів під штифт для тросових з’єднань.

3. Під час попереднього натягу конструкцій покрівлі повинні бути виконані чотири геодезичні дослідження тросових конструкцій.

4. Після завершення збирання тросових конструкцій – вимірювання всіх точок для тросових з'єднань.

5. Після закінчення збирання мембрани.

6. Після завершення робіт щодо конструкції покрівлі – повне дослідження покрівлі.

Генеральним проектувальником сформовано основні вимоги до встановлення елементів покрівлі, які наведені в таблиці.

Конструктивні елементи, до яких висунуті вимоги з таблиці, показано на рис. 3. Найвідповідальнішими елементами є вузлові точки кожної колони, які розташовані в основі колони, в її середній та верхній частинах. Від точності встановлення в проектне положення цих точок залежить якість збирання мембрани покрівлі, яка буде триматись на тросах фіксованої довжини.

### Вимоги до точності встановлення елементів покрівлі

$\delta$ , мм	Параметр
±5	У 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	У плані для кожної вузлової точки нижнього стиснутого кільця
±5	По висоті для кожної прилеглої вузлової точки нижнього стиснутого кільця
±10	По висоті для кожної вузлової точки нижнього стиснутого кільця
±20	У плані для вузлової точки верхнього стиснутого кільця та вузлових точок капітелі колони
±5	По висоті для кожної прилеглої вузлової точки верхнього стиснутого кільця та вузлових точок капітелі колони
±10	По висоті для вузлової точки верхнього стиснутого кільця та вузлових точок капітелі колони
±30	У плані для кожної стандартної вузлової точки розтягнутого кільця
±5	У 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.

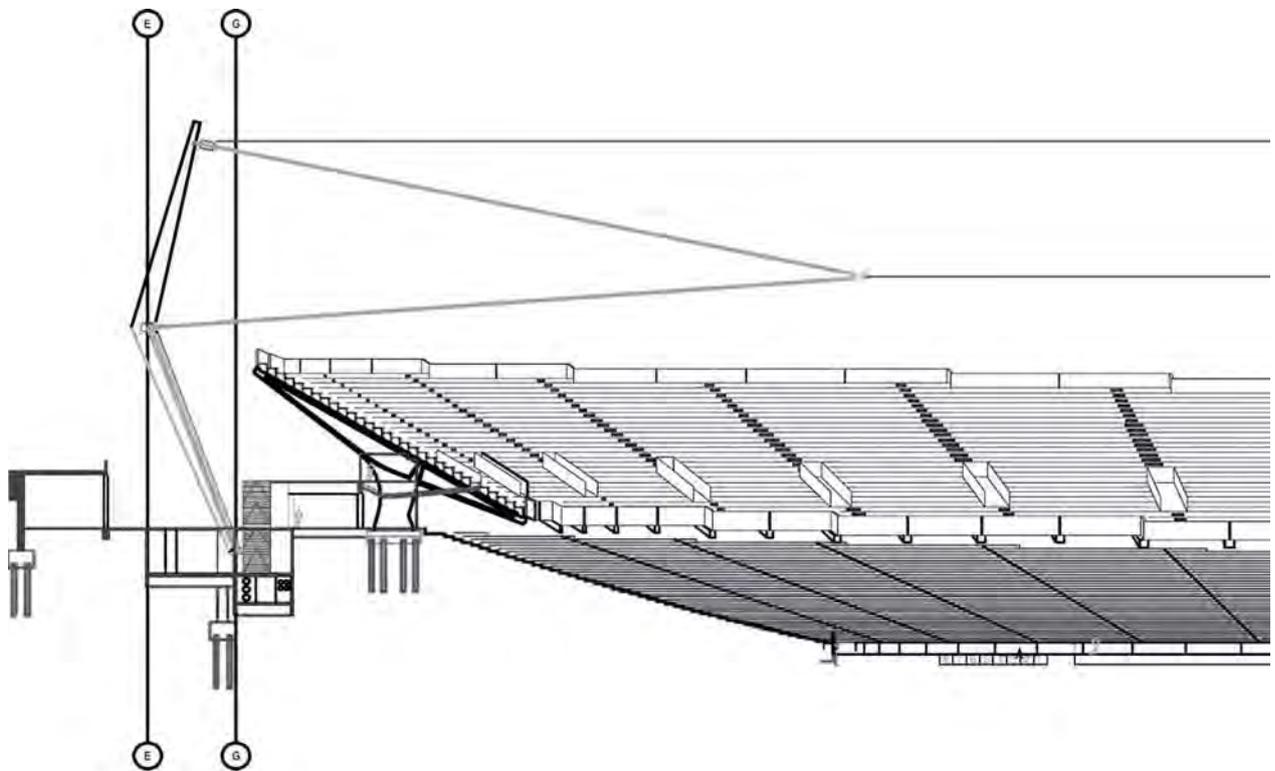


Рис. 3. Вертикальний переріз покрівлі НСК "Олімпійський"

Головною умовою забезпечення поставлених вимог є використання методу оптичного трикоординатного вимірювання, який повинен функціонувати на місці. Дослідження повинен виконувати кваліфікований інженер-геодезист, який діє за розробленою інструкцією. Вимірювання не повинні спотворюватись впливом нерівномірного розподілу температур, тобто їх рекомендується виконувати вночі. Для забезпечення всіх стадій геодезичних робіт кафедра інженерної геодезії КНУБА придбала систему моніторингу Leica GeoMos з найточнішим електронним тахеометром в Україні.



Рис. 4. Система Leica GeoMos

Кутові вимірювання	
Точність	0.5"
Лінійні вимірювання на відбивач	
Відстань стандартний GPR1 круговий 360 плівка 60×60	3500 м 1500 м 250 м
Точність/Час вимірювання на відбивач стандартний режим Точність/Час вимірювання на плівку	0,6 мм+1 ppm/7s 1 мм+1 ppm/2.4s 1 мм+1 ppm/7s
Лінійні вимірювання без відбивача	
Відстань точність/час вимірювання Розмір плями на 30 м/50 м	1000 м 2 мм+2 ppm/3s 7 мм·10 мм/8 мм·20 мм

Система Leica GeoMos дає змогу під'єднати до системи моніторингу такі типи сенсорів: GPS-приймачі систем GPS 500, GPS1200, GMX900; цифрові нівеліри Leica DNA і Leica

Sprinter; давачі нахилу Nivel 210, Nivel 220; метеорологічні сенсори (наприклад, температурні або барометричні); геотехнічні сенсори. Використання цих сенсорів особливо важливе в умовах будівництва, оскільки дає змогу врахувати вплив температурних деформацій та деформації конструкцій від власної ваги.

Згідно з розробленим ПВГР було запроєктовано тристадійну інженерно-геодезичну мережу. Проект мережі наведено на рис. 5.

Для визначення необхідної точності побудови кожної стадії геодезичної мережі виконано попередній розрахунок точності побудови кожної стадії мережі. За результатами розрахунку встановлено, що для найвідповідальніших елементів планова та висотна точність мережі I стадії повинна бути в межах  $m = 1 - 1,5$  мм, для II стадії  $m = 1,5 - 2$  мм. Оскільки головні елементи покрівлі будуть встановлюватись від пунктів геодезичної мережі або методом вільної станції з контрольними вимірюваннями, то планову та висотну похибки основи можна прийняти такими, що дорівнюють  $\pm 2$  мм.

Розрахунок точності встановлення кожної колони та балок верхнього і нижнього стиснутих кілець між ними виконано методом розмірних ланцюгів. Розмірний ланцюг для двох колон та балки нижнього стиснутого кільця наведено на рис. 6. Наведений розмірний ланцюг містить основні похибки, що спотворюють проектну геометрію споруди. На положення кожної окремої колони впливає похибка встановлення закладної колони  $\delta_{ЗАК}$ :

$$\delta_{ЗАК} = \sqrt{\delta_{ОСН}^2 + \delta_{РОЗМ}^2 + \delta_{МОН}^2}, \quad (1)$$

де  $\delta_{ОСН}$  – похибка геодезичної основи;  $\delta_{РОЗМ}$  – похибка розмічувальних робіт;  $\delta_{МОН}$  – похибка монтажних робіт. Якщо прийняти апріорні значення похибок, то отримаємо:  $\delta_{ЗАК} = \sqrt{2^2 + 2^2 + 1^2} = 3$  мм. Похибка взаємного положення закладних  $\delta_L = \sqrt{2\delta_{ЗАК}^2} = 4,5$  мм. Згідно з вимогами проектувальника  $\delta_L = \pm 5$  мм, тобто точність геодезичних робіт задовольняє висунуті вимоги.

Для похибки встановлення нижнього стиснутого кільця матимемо:

$$\delta_l = \sqrt{\delta_L^2 + 2\delta_{ВЕРТ}^2 + 2\delta_{МОН}^2 + \delta_{ВИГТ}^2 + \delta_{ТЕМП}^2}, \quad (2)$$

де  $\delta_L$  – похибка взаємного положення закладних;  $\delta_{ВЕРТ}$  – похибка встановлення колони по вертикалі;  $\delta_{МОН}$  – похибка монтажних робіт;  $\delta_{ВИГТ}$  –

похибка виготовлення балок нижнього кільця;  
 $\delta_{ТЕМП}$  – похибка температурних деформацій.  
 Якщо прийняти апріорні значення похибок, то отримаємо:  $\delta_i = \sqrt{5^2 + 2 \cdot 1^2 + 2 \cdot 1^2 + 2^2 + 1^2} \approx 6$  мм.  
 Згідно з вимогами проектувальника  $\delta_i = \pm 21$  мм, тобто точність геодезичних робіт цілком задовольняє поставлені вимоги. Важливо зазначити,

що дуже значний вплив на якість монтажних робіт будуть чинити температурні деформації. У виконаному розрахунку були прийняті досить оптимістичні значення похибок виготовлення елементів, монтажу та температурних деформацій, тому фактична точність виведення точок в проектне положення буде нижчою, але в межах необхідної точності виконання робіт.

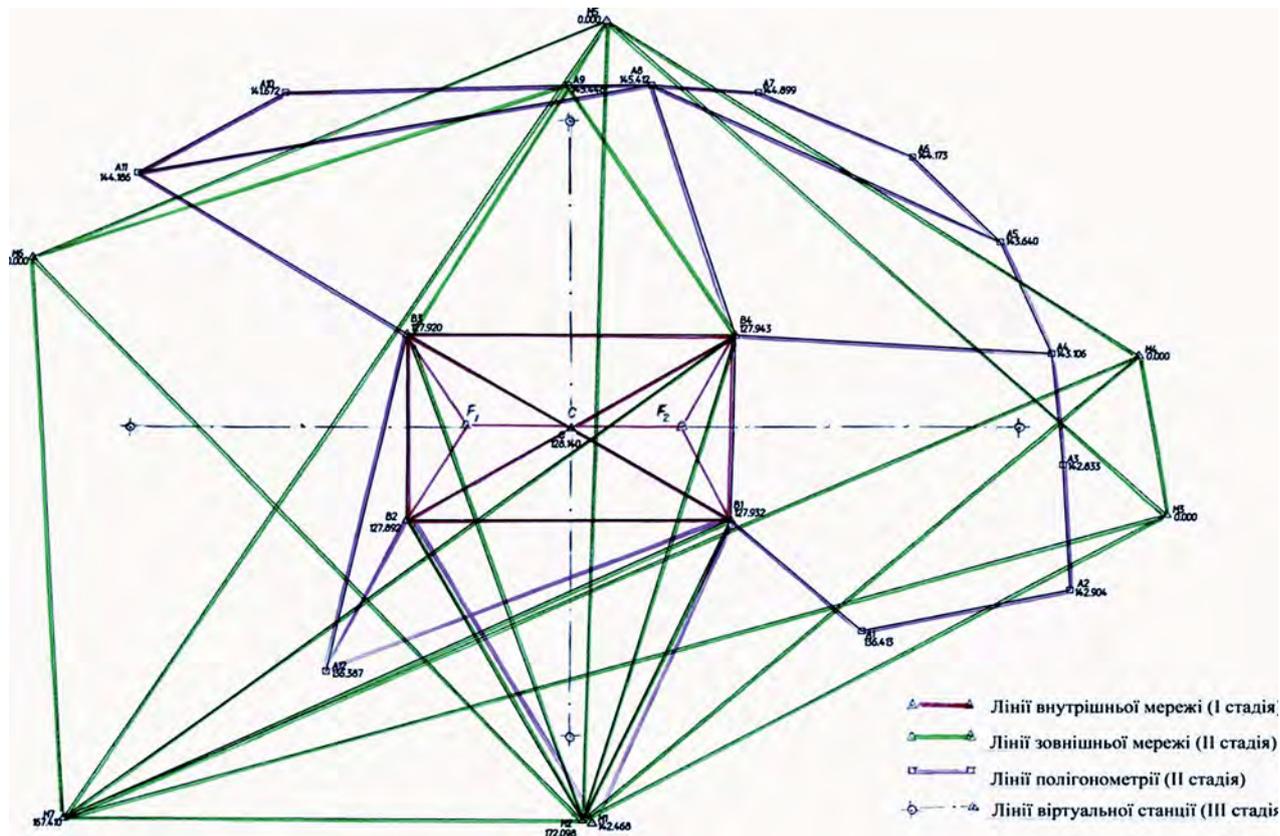


Рис. 5. Геодезична мережа НСК "Олімпійський"

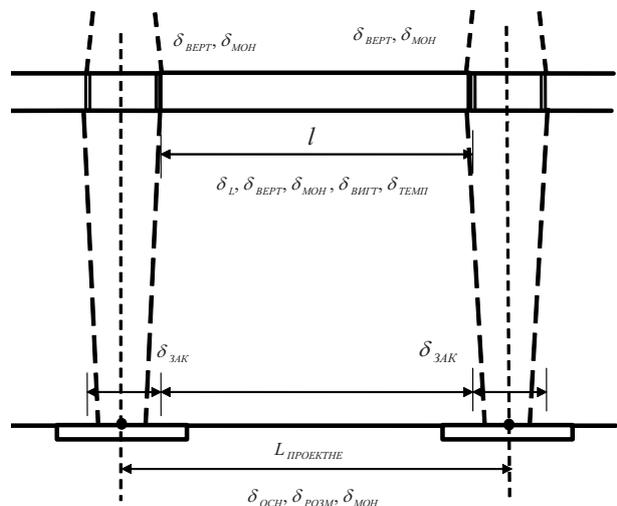


Рис. 6. Розмірний ланцюг для двох колон покрівлі



Рис. 7. Визначення положення закладної ЗД-1 методом вільної станції з контролем

Будівельні роботи з монтажу покрівлі розпочалися із встановлення закладних деталей під колони. Встановлення закладної деталі ЗД-1 є важливим та дуже відповідальним етапом спорудження покрівлі НСК “Олімпійський”. Точність положення закладної буде впливати на всю подальшу геометрію споруди. Проектом організації будівництва передбачено встановлення закладної ЗД-1 в проектне положення за допомогою кондуктора КД-1. Технологічно процес встановлення закладної деталі можна розділити на два окремі технологічні процеси: монтаж кондуктора КД для встановлення закладної ЗД-1 і встановлення закладної ЗД-1 в проектне положення за допомогою кондуктора.

Контроль відхилення кондуктора від проектного положення після виконання бетонування виконують методом вільної станції. Спостереження методом вільної станції виконують мінімум від трьох пунктів геодезичної основи або тимчасових пунктів, закріплених на підірних стінках. Після завершення встановлення кондуктора на нього виносять вісь колони та встановлюють закладну ЗД-1. Контроль встановлення закладної в проектне положення виконують методом вільної станції (рис. 7). Для контролю здійснюють взаємні спостереження між вільними станціями.

Точками, за якими виконують спостереження, є чотири кути закладної, спостереження за якими ведуть з двох вільних станцій, з обов’язковим подвійним наведенням на кожну точку. Фактичне положення центра закладної визначають як середнє значення з чотирьох спостережень.

$$X_{008'} = \frac{\sum_{i=1}^4 X_i}{4} ;$$

$$Y_{008'} = \frac{\sum_{i=1}^4 Y_i}{4} ;$$

$$Z_{008'} = \frac{\sum_{i=1}^4 Z_i}{4}$$

За фактичними та проектними координатами розраховують елементи редукції (рис. 8). Розраховують вектор редукції  $\Delta R$  та дирекційний кут розвороту закладної  $\alpha_{\Delta R}$ .

$$\Delta R = \sqrt{(X_{008'} - X_{008})^2 + (Y_{008'} - Y_{008})^2} . \quad (4)$$

$$\alpha_{\Delta R} = \arctg \frac{(Y_{008'} - Y_{008})}{(X_{008'} - X_{008})} . \quad (5)$$

Для встановлення закладної за допомогою кондуктора необхідно обчислити елементи переміщення для кондуктора в двох взаємно

популярних напрямках: вздовж осі  $\Delta L$  і поперек осі  $\Delta P$ . Для обчислення переміщень знайдемо кут між проектною віссю та вектором редукції.

$$\Delta\beta = \alpha_{\Delta R} - \alpha_{OCI} . \quad (6)$$

За цим кутом визначають шукані зміщення:

$$\Delta L = \Delta R \cos \Delta\beta, \quad \Delta P = \Delta R \sin \Delta\beta . \quad (7)$$

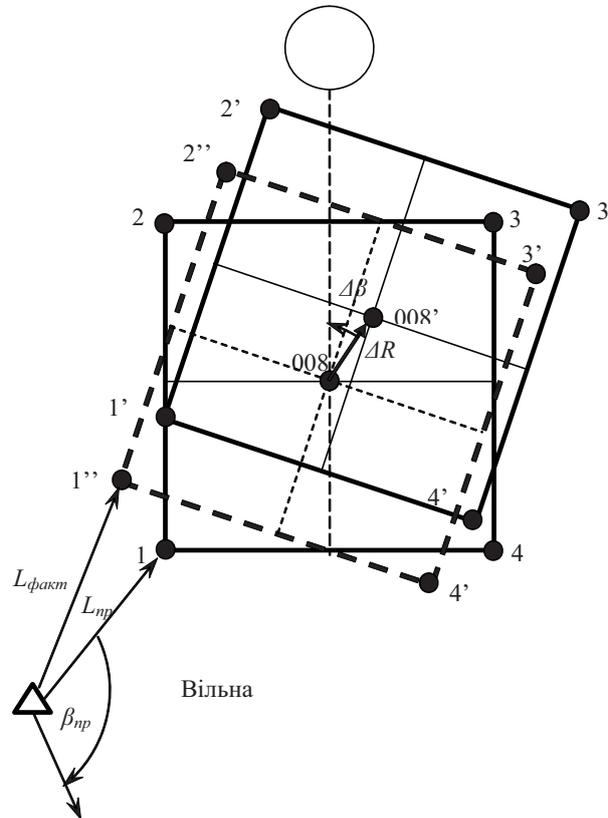


Рис. 8. Елементи редукції закладної

Після введення переміщень  $\Delta L$  і  $\Delta P$  закладна деталь перейде з положення 1'2'3'4' у положення 1''2''3''4'', а точка 008' займе проектне положення 008. Остаточно необхідно розвернути закладну на кут  $\Delta\theta$ . Оскільки

$$\left. \begin{aligned} \alpha_{1'2'} &= \alpha_{1'2''} \\ \alpha_{12} &= \alpha_{OCI} \end{aligned} \right\} \Rightarrow \Delta\theta = \alpha_{12} - \alpha_{1'2'} . \quad (8)$$

Встановивши на вільній станції проектне значення кута  $\beta_{пр}$ , виконують поворот закладної на кут  $\Delta\theta$  й одночасно вимірюють електронним тахеометром відстань  $L_{факт}$  в режимі слідкування. Після того, як  $L_{факт}$  суміститься з  $L_{пр}$ , у межах точності вимірювання у режимі слідкування переходять в звичайний, точний режим спостережень, методом послідовних наближень остаточно виводять точку 1'' в проектне положення. З вільної станції перевіряють проектне положення інших точок, фактичне положення яких наносять на виконавче креслення. Контроль висотного поло-

ження закладної зручно виконати з вільної станції методом тригонометричного нівелювання. Для отримання надійних результатів встановлюють відбивач на поверхню закладної в місцях розташування контрольних точок 1, 2, 3, 4.

Наступним кроком після встановлення закладної є монтаж колон покрівлі. Для контролю монтажу фасадної та нахиленої колон використовують пункти внутрішньої геодезичної мережі В1 – В4, зовнішньої геодезичної мережі М1 – М6, пункти підхідної полігонометрії А1 – А11 та метод вільної станції.

Головною умовою правильного виконання контрольних вимірів є маркування контрольних точок. Оскільки положення колон повністю визначається положенням точок системи 100 і

200, то обов'язковим є їх маркування. Для виконання маркування будівельна організація, що виконує монтаж колон, використовує самоклеїть марки фірми Sokkia. Розмір марки 5×5 сантиметрів. Маркування виконують із зовнішнього і внутрішнього боків колони, по осі колони в місцях, що вказані в ПВГР. Із зовнішнього та внутрішнього боку закріплюють по чотири марки. Загалом на колоні встановлюють вісім марок, по одній в нижній та центральній частинах колони і дві у верхній. Безпосередньо виконати спостереження точок системи 100 і 200 неможливо, тому маркують точки на поверхні колони. Місця маркування точок повинні бути ретельно відшліфовані на заводі виробником.

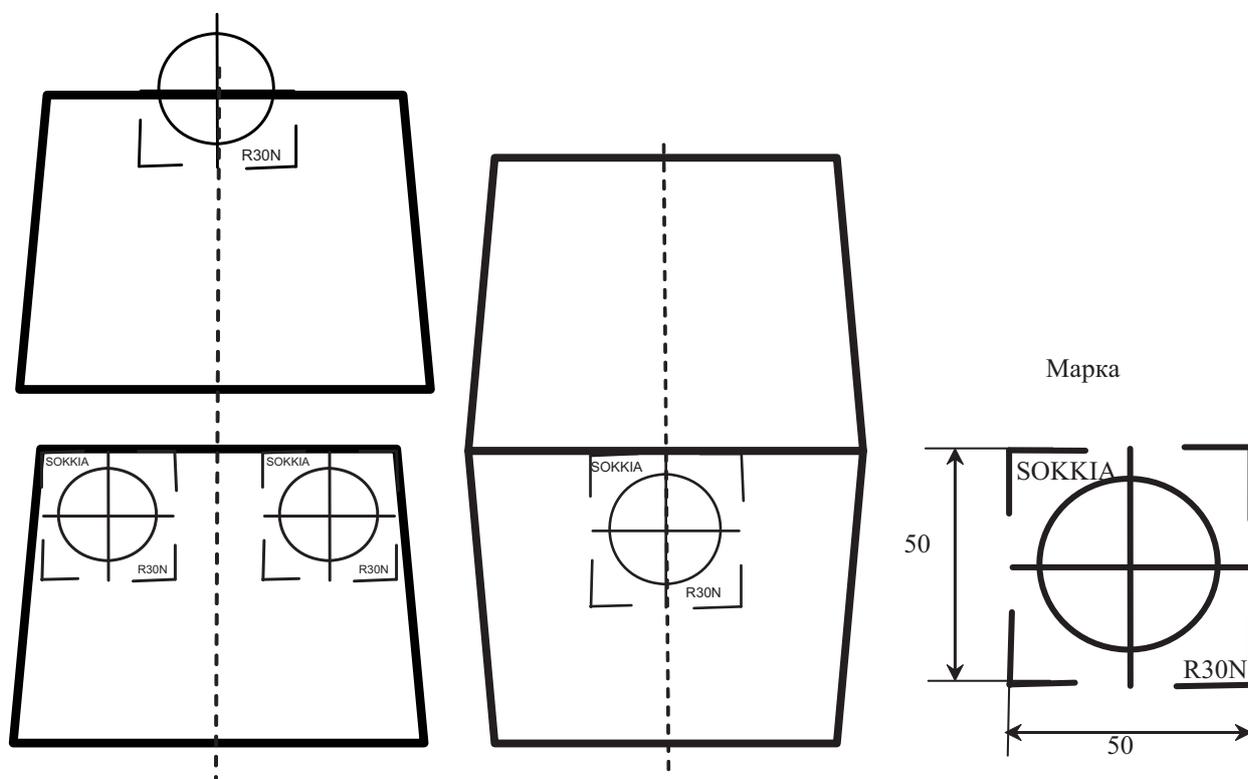


Рис. 9. Маркування верху і середини колони

Встановлення колони ведуть в дві стадії. На першій стадії в проектне положення виводять точку 100, середини колони. Для цього геодезичні спостереження ведуть із зовнішньої сторони стадіону (рис. 10).

Організація, що виконує будівельно-монтажні роботи, до початку монтажу виконує винесення осей покрівлі на нижньому та верхньому ярусі стадіону. Для виведення у проектне положення точки 100 використовують вісь, винесену на нижній ярус. Безпосередньо перед

початком монтажу електронний тахеометр встановлюють на продовженні створу. Після встановлення тахеометра на продовженні створу виконують контрольне визначення координат точки стояння методом зворотної лінійно-кутової засічки, виконуючи візування мінімум на три пункти зовнішньої або внутрішньої геодезичної мережі. Визначивши координати точки стояння, виконують виведення точки 100 у проектне положення. Для цього виконують вимірювання кута відхилення колони в напрямку,

перпендикулярному до осі, і вимірювання відстані відхилення точки 100 від проекту вздовж осі (рис. 11). В результаті спостережень вводять поправки за різницю температур.

Після виведення точки 100 у проектне положення електронний тахеометр встановлюють на верхньому ярусі всередині створу осі колони. Після встановлення тахеометра в створ виконують контрольне визначення координат точки стояння методом зворотної лінійно-кутової засічки, виконуючи візування мінімум на три пункти зовнішньої або внутрішньої геодезичних мереж.

Визначивши координати точки стояння, виконують виведення точки 200 в проектне положення. Для цього здійснюють вимірювання кута відхилення колони у напрямку, перпендикулярному до осі, і вимірювання відстані відхилення точки 200 від проекту вздовж осі (рис. 12). В результаті спостережень вводять поправки за різницю температур.

ПВГР передбачено три стадії контролю виконання робіт. Контрольні вимірювання здійснюють з двох вільних станцій з додатковим контролем незмінності положення вільних станцій під час контрольних спостережень. Сутність додаткового контролю полягає у виконанні повторної прив'язки до пунктів геодезичної мережі (рис. 13). За отриманою різницею координат визначають можливу деформацію верхнього ярусу. Одержані різниці координат не повинні перевищувати величин:

$$\delta X \leq t\sqrt{2}m_x; \delta Y \leq t\sqrt{2}m_y; \delta Z \leq t\sqrt{2}m_z \quad (9)$$

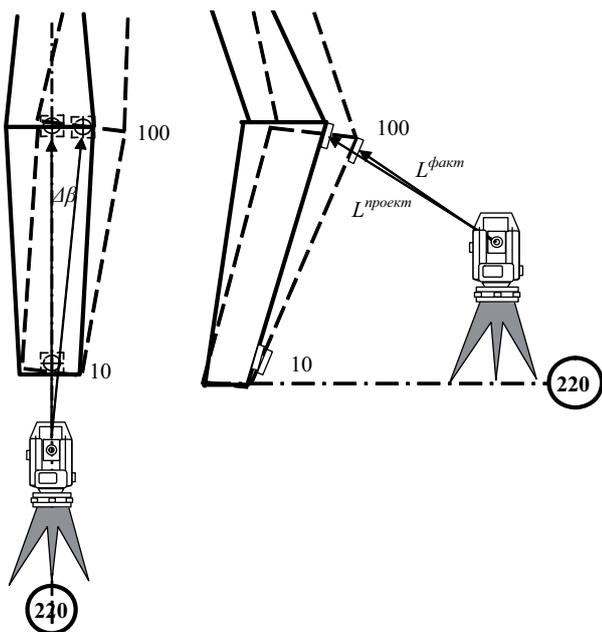


Рис. 11. Встановлення точки 100 середини колони у проектне положення

При контролі тільки верхньої частини колони контрольні вимірювання виконують безпосередньо з точок, через які проходять відповідні вісі колон. Для прикладу, такою точкою можуть бути фокуси  $F_1$  і  $F_2$ . Спостереження виконують, порівнюючи проектні кути та похилі відстані. Для цього складають відповідну таблицю. Такий спосіб є зручним, оскільки використання проектних та фактичних відстаней не вимагає винесення вільної станції.

Нині НСК "Олімпійський" встановлено більше ніж 40 закладних деталей. В січні 2010 року планується початок монтажу першої колони. ПВГР розроблено до стадії завершення монтажу верхнього стиснутого кільця. Для геодезичного забезпечення спорудження мембранної покрівлі передбачено окремий проект організації будівництва і відповідно окремий ПВГР.

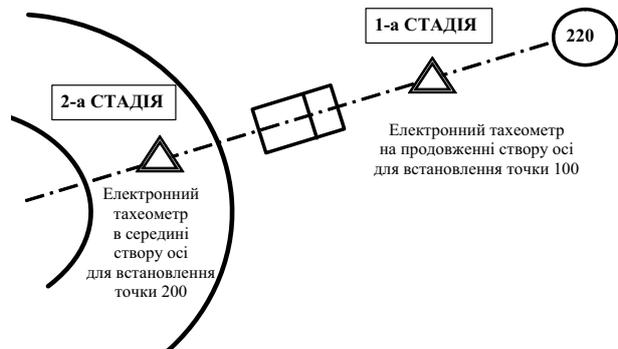


Рис. 10. Стадії монтажу колон

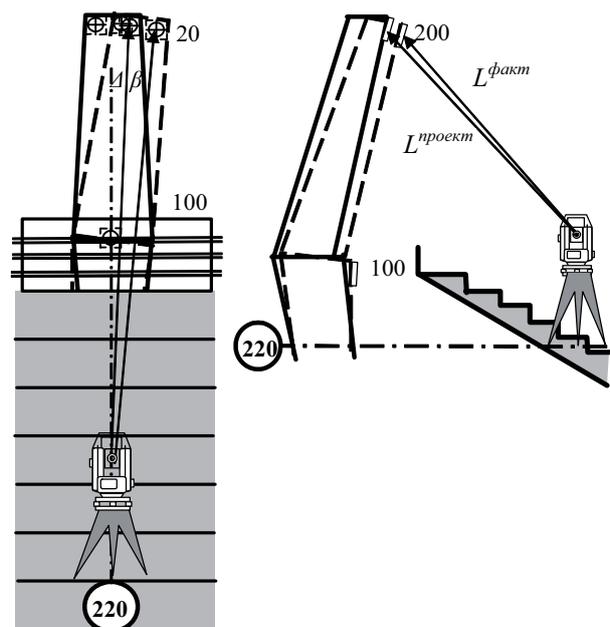


Рис. 12. Встановлення точки 200 верху колони у проектне положення з верхнього ярусу стадіону

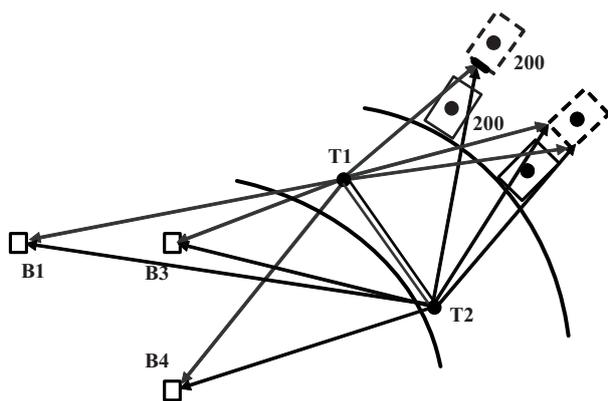


Рис. 13. Контроль положення колон методом вільної станції

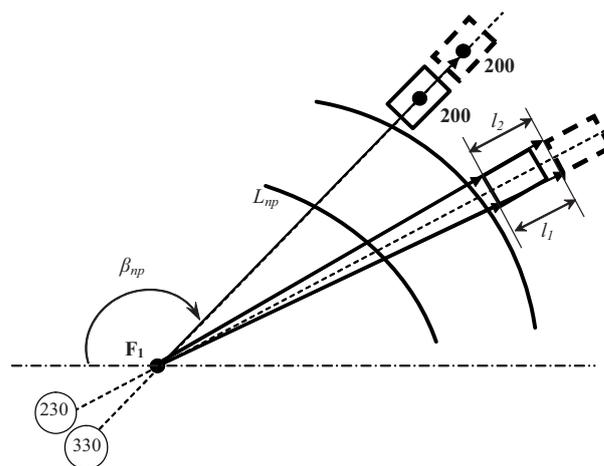


Рис. 14. Контроль верхньої частини колони з фокусу стадіону

### Висновки

Наведені теоретичні та практичні розробки, отримані авторами під час розроблення проекту геодезичного забезпечення влаштування покрівлі НСК “Олімпійський”. В подальших роботах буде викладено результати, одержані авторами при дослідженні впливу температурних деформацій споруди на результати геодезичних спостережень.

### Література

1. Прикладная геодезия. Основные методы и принципы инженерно-геодезических работ / Г.П. Левчук, В.Е. Новак, В.Г. Конусов; Под ред. проф. Г.П. Левчука. – М.: Недра, 1981. – 402 с.
2. Практикум по прикладной геодезии / Под ред. Н.Н. Лебедева. – М.: Недра, 1977.
3. СНиП 3.01.03-84 “Геодезические работы в строительстве”. Госстрой СССР. – М.: ЦИТЛ Госстроя СССР, 1985.
4. Пособие по производству геодезических работ в строительстве (к СНиП 3.01.03-84) Госстрой СССР. – М., ЦИТЛ Госстроя СССР 1985 г.
5. Черников В.Ф., Гладкий В.И. Инженерно-геодезические изыскания для реконструкции промышленных сооружений. – М.: Недра, 1988. – 160 с.
6. Даниленко Т.С. Организация и производство геодезических работ при крупном строительстве. – М.: Недра, 1975. – 320 с.

7. Жуков Б.Н., Карпик А.П. Геодезический контроль инженерных объектов промышленных предприятий и гражданских комплексов. – Новосибирск: СГГА, 2006. – 118 с.

8. Ворошилов А.П. Спутниковые системы и электронные тахеометры в обеспечении строительных работ. Учебное пособие. – Челябинск: АКСВЕЛЛ, 2007. – 163 с.

### Геодезичне забезпечення влаштування покрівлі НСК “Олімпійський”

С. Войтенко, Р. Шульц

Подано практичні рекомендації з геодезичного забезпечення влаштування покрівлі НСК “Олімпійський”.

### Геодезическое обеспечение сооружения покрытия НСК “Олимпийский”

С. Войтенко, Р. Шульц

Приведены практические рекомендации по геодезическому обеспечению сооружения покрытия НСК “Олимпийский”.

### The geodetic supporting of roof building of NSK “Olimpiyski”

S. Voytenko, R. Schultz

The practice recommendation about geodetic supporting of roof building of NSK “Olimpiyski” in work is offered.