

УДК 528.48

к.т.н., доцент Дем'яненко Р.А., Ковальов М.В.,
Київський національний університет будівництва та архітектури

АНАЛІЗ ТОЧНОСТІ ВИКОНАННЯ ГЕОДЕЗИЧНИХ РОЗМІЧУВАЛЬНИХ РОБІТ ПРИ БУДІВНИЦТВІ БУДІВЕЛЬ І СПОРУД

Виконано розрахунок точності проведення геодезичних робіт на різних етапах будівництва згідно методик, запроваджених організаціями на виробництві, та класичних методів. Здійснено порівняльний аналіз точності цих методів.

Ключові слова: точність геодезичних робіт, аналіз точності, модельний приклад, методи побудови геодезичних мереж

Постановка проблеми. Сучасні технології будівництва висотних споруд обумовлюють необхідність дотримання надзвичайно високої точності при здійсненні всіх етапів виконання геодезичних робіт при їх спорудженні. Нормативним документом, який регламентує точність виконання геодезичних робіт в будівництві, є ДБН В.1.3.-2:2010 Геодезичні роботи у будівництві. При практичному виконанні геодезичних робіт деякі геодезичні служби, звертаючи увагу на високу точність сучасних геодезичних приладів і технологій проведення геодезичних вимірювань, досить часто дозволяють собі застосування не лише класичних методів проведення геодезичних робіт, а й альтернативних їм шляхів розв'язання геодезичних завдань. У даній статті пропонується дослідити точність різних методів виконання геодезичних робіт при зведенні висотних споруд та провести аналіз на їх відповідність прийнятим нормативам

Постановка завдання. Основним завданням даної роботи є визначення точності та проведення її оцінки для різних методів виконання геодезичних робіт при будівництві будівель та споруд, які застосовуються геодезистами на виробництві. Розрахунок точності виконується на окремому прикладі, характеристики якого взяті у відповідності з нормативними документами, що застосовуються при спорудженні будівель.

Виклад основного матеріалу дослідження з повним обґрунтуванням отриманих наукових результатів. Одним із основних регламентуючих документів, що на будівництві встановлює величини допустимих відхилень конструкцій є СНиП III-1.8-75 «Нормы организации, производства и приемки работ» металлические конструкции». Наведемо нормативні дані, що характеризують допустимі відхилення, згідно табл. 12 п. 2. 20 «Приемка работ»:

Наименование отклонения	Допускаемое отклонение
Колонны и опоры	
1. Отклонение отметки опорной поверхности колонн и опор, устанавливаемых в соответствии:	
с п.1.103“а”	±1,5 мм
с п.1.103 “б” и 1.103 “в”	±5 мм
2. Смещение осей колонн и опор относительно разбивочных осей (в нижнем сечении)	±5 мм
3 Отклонение оси колонны и опоры от вертикали в верхнем сечении при высоте, м:	
до 15	15 мм
более 15	0,001 высоты колонны или опоры, но не более 35 мм
4. Стрела прогиба (кривизна):	
Колонны	$\frac{1}{1000}$ высоты колонны, но не более 15 мм
Опоры	$\frac{1}{1000}$ длины элемента между точками закрепления, но не более 15 мм
5. Наибольший односторонний зазор между фрезерованными поверхностями в стыках колонн	$\frac{1}{1000}$ поперечного размера ветви колонны в стыке
Фермы, ригели, пролетные строения транспортерных галерей и прогоны	
6. Отклонения отметок опорных узлов; ферм и ригелей	± 20 мм
пролетных строений транспортерных галерей	± 15 мм
7. Стрела прогиба (кривизна) между точками закрепления участков сжатого пояса из плоскости фермы, ригеля или балки	$\frac{1}{1000}$ величины закрепленного участка, но не более 15 мм
8. Отклонения расстояний между осями ферм по верхнему поясу	± 15 мм
9. Отклонения расстояний между прогонами и между балками для установки опор транспортера	± 5 мм

Зазначимо прийнятї залежності між полем допуску, граничним відхиленням (δ) та середньою квадратичною похибкою (m). При встановленій довірчій ймовірності $P = 0,9973$ отримаємо:

- поле допуску $\Delta = 6 m$ (1)

- граничне відхилення $\delta = \Delta/2 = 3 m$ (2)

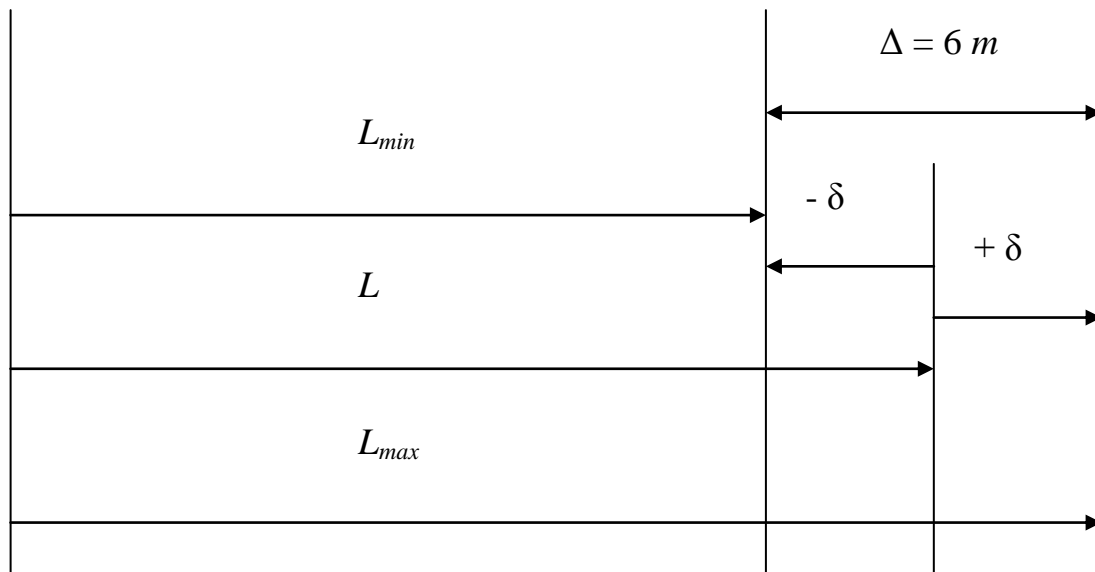


Рис. 1. Графічне зображення допуску.

Згідно п. 2 табл. 12 допустиме зміщення осей колон і опор відносно розмічувальних осей (в нижньому перерізі) повинно бути не більше ± 5 мм. Тобто граничне відхилення дорівнює $\delta = \pm 5$ мм, при цьому величина поля допуску $\Delta = 10$ мм.

Основними етапами виконання геодезичних робіт на будівництві є:

1. Побудова зовнішньої геодезичної мережі
2. Побудова внутрішньої геодезичної мережі
3. Геодезичні розмічувальні роботи в процесі будівництва
4. Виконавче знімання зведених конструкцій

Відповідно до ДБН В.1.3-2:2010 «Система забезпечення точності геометричних параметрів у будівництві «Геометричні роботи в будівництві» п. 5.9 табл. 2 встановлюються допустимі значення СКП побудови зовнішньої та внутрішньої геодезичної мережі будівлі та розмічувальних робіт.

Будівля, яка споруджується, відповідно до п. 5.9 табл. 2 відноситься до I класу точності:

Характеристика будівель, споруд, будівельних конструкцій	Середні квадратичні похибки побудови зовнішньої і внутрішньої геодезичних розмічувальних мереж будинку (споруди) й інших розмічувальних робіт, не більше				
	лінійні вимірювання	кутові вимірювання	Нівелювання на станції на вихідному та монтажному горизонтах, мм	передача позначок на монтажний горизонт відносно вихідного, мм	передача точок, осей по вертикалі, мм
Металеві конструкції з фрезерованими контактними поверхнями; збірні залізобетонні конструкції, які монтуються методом само-фіксації у вузлах; будівлі та споруди висотою понад 100 м або із прогонами від 30 м до 36 м	1 мм для L до 15 м, $\frac{L}{15000}$ для L понад 15 м	5"	1	$2 + 10 \times H$	$1 + 2 \times H$
Будинки вище ніж 15 поверхів; будівлі та споруди висотою від 73,5 м до 100 м або із прогонами від 18 до 30 м	2 мм для L до 20 м, $\frac{L}{10000}$ для L понад 20 м	10"	2	$4 + 15 \times H$	$2 + 3 \times H$
Будинки до 15 поверхів; будівлі та споруди висотою до 73,5 м або із прогонами від 6 м до 18 м	3 мм для L до 15 м, $\frac{L}{5000}$ для L понад 15 м	15"	3	$6 + 20 \times H$	$3 + 5 \times H$
Будинки до 5 поверхів; будівлі та споруди висотою до 15 м	4 мм для L до 20 м, $\frac{L}{5000}$ для L понад 20 м	30"	5	$10 + 50 \times H$	$5 + 10 \times H$

Примітка 1. Величини середніх квадратичних похибок (колонки 2-4) призначаються залежно від наявності однієї з характеристик, що зазначені в колонці 1; при наявності двох і

більше характерних величин середніх квадратичних похибок призначаються за тією характеристикою, якій відповідає вища точність.

Примітка 2. Точність геодезичних побудов при будівництві висотних, експериментальних, унікальних і складних об'єктів і монтажі фундаментів технологічного устаткування треба визначати розрахунками на основі спеціальних технічних умов і з урахуванням особливих вимог до допусків, що передбачаються проектом.

Примітка 3. H – різниця позначок двох будь-яких монтажних горизонтів виражена в сотнях метрів ($100 \text{ м} = 1$)

Для умовного модельного прикладу виконаємо наступний розрахунок. При відстані між крайніми осями будівлі 24000 мм допустиме значення СКП розмічування основних осей будівлі буде складати:

$$m_{\hat{a}} = \sqrt{\left(\frac{m_{\beta} \cdot S}{\rho}\right)^2 + m_S^2} = \sqrt{\left(\frac{5'' \cdot 24000}{206265}\right)^2 + \left(\frac{24000}{15000}\right)^2} = 1,7 \approx 2 \text{ мм.} \quad (3)$$

Тобто, побудову вихідної геодезичної мережі, відповідно до вимог I класу точності, необхідно виконувати з середньою квадратичною похибкою не більше 2 мм. При цьому граничне відхилення $\delta = 3 m = 6,0$ мм, а поле допуску $\Delta = 6 m = 12$ мм, де m – середня квадратична похибка (СКП).

Для побудови зовнішньої геодезичної мережі можуть бути використані різні методи побудови (триангуляція, трилатерація, полігонометрія, засічки, супутникові методи) та прилади, які здатні забезпечити нормативну точність для даного класу точності споруди. Відповідно до п.5.2 ДБН В.1.3.-2:2010 геодезичну розмічувальну мережу треба закріплювати центрами геодезичних пунктів з прив'язкою до пунктів опорної геодезичної мережі, які визначають положення будівлі (споруди) на місцевості та забезпечують виконання подальших побудов та вимірів у процесі будівництва з найменшими витратами і потрібною точністю.

Досить часто на виробництві при спорудженні будівлі геодезисти використовують координатний метод побудови геодезичної мережі. При цьому носіями системи координат є наклеєні на сусідні будівлі плівкові відбивачі, що закоординовані методом «полярних координат». При виконанні окремих етапів геодезичних робіт різними геодезичними службами предметом передачі геодезичної інформації є, як правило, закріплені в натурі точки з відповідним каталогом координат. Відомість вирівнювання та точність створеної мережі при цьому відсутня. Як наслідок, методи та точність створення вихідної геодезичної мережі залишаються невідомими, що вже є порушенням п.5.2 ДБН В.1.3.-2:2010.

При виконанні розрахунків точності виконання геодезичних робіт використовуються наступні параметри точності сучасних геодезичних

приладів: точність вимірювання кутів електронним тахеометром $m_\beta = 5''$, точність вимірювання ліній в режимі на плівковий відбивач $m_S = (3 + 3 \cdot S_{km})$ мм.

У випадку застосування полярного методу при побудові геодезичної мережі точність положення точки розраховується за формулою:

$$m_a = \sqrt{\left(\frac{m_\beta \cdot S}{\rho}\right)^2 + m_S^2 + m_\delta^2} = \sqrt{\left(\frac{5'' \cdot 50000}{206265}\right)^2 + 3^2 + 1^2} = 3,4 \text{ мм}, \quad (4)$$

де $\frac{m_\beta \cdot S}{\rho}$ – поперечний зсув точки внаслідок похибки вимірювання кутів m_β ;

m_S – повздовжній зсув точки внаслідок похибки вимірювання ліній m_S ;

m_δ – редуція.

Тобто, точність побудови мережі при допуску $m_a = 2$ мм (згідно з виразом (3)) методом полярних координат складає 3-4 мм, що не задовольняє допуску згідно ДБН В.1.3.-2:2010.

Для виконання розмічувальних робіт (встановлення конструкцій) використовується методика, яка складається з двох етапів:

1. Установка електронного тахеометру в зручній точці для подальшого встановлення (визначення) положення конструкцій. Методом лінійно-кутової засічки виконується визначення координат точки стояння з середньою квадратичною похибкою (СКП):

$$m_c = \sqrt{m_a^2 + m_\zeta^2 + m_\delta^2} = \sqrt{4^2 + 3^2 + 1^2} = 5,1 \text{ мм}. \quad (5)$$

2. Знімання (винесення в натуру) конструкцій методом полярних координат з СКП (при $S = 50\text{ м}$, $m_\beta = 5''$, $m_S = 3\text{ мм}$, $m_a = 5,1\text{ мм}$, $m_\delta = 1\text{ мм}$):

$$m_k = \sqrt{\left(\frac{m_\beta \cdot S}{\rho}\right)^2 + m_S^2 + m_a^2 + m_\delta^2} = 6,1 \text{ мм}. \quad (6)$$

Тобто, етап 1 можна ототожнити з етапом згущення вихідної геодезичної мережі. При цьому, згідно ДБН В.1.3.-2:2010, згущення повинно виконуватись з точністю, отриманою у виразі (3), тобто не гірше 2 мм. Тому СКП згущення вихідної мережі згідно з виразом (5) $m_c = 5,1$ мм значно більше, ніж допускається ($m_a = 2$ мм).

На етапі 2 з точки С ($m_c = 5,1$ мм) методом полярних координат виконується визначення координат конструкцій ($m_k = 6,1$ мм) відносно пунктів вихідної мережі.

За формулою (2) можемо знайти допустиме значення СКП визначення положення конструкцій відносно розмічувальної осі. При граничному відхиленні $\delta = \pm 5$ мм, допустиме значення СКП визначається за формулою:

$$m_k = \delta/3 = 1,7 \approx 2,0 \text{ мм} \quad (7)$$

Виходячи з вищенаведених розрахунків, можна зробити висновок про те, що дана методика виконання розмічувальних робіт не задовольняє точності, регламентованої ДБН В.1.3-2:2010.

Класичний метод створення геодезичної мережі при забезпеченні будівництва передбачає наступну послідовність виконання робіт:

- 1) Побудову внутрішньої геодезичної мережі (Базисна фігура БФ).
- 2) Подальшу послідовну передачу осей на монтажний горизонт методом вертикального проектування та згущення геодезичної мережі.
- 3) Виконання розмічувальних робіт.

Виконаємо розрахунок точності кожного з етапів:

Етап 1. Точність побудови базисної фігури (БФ). Якщо при побудові базисної фігури виконати зрівнювання результатів вимірювань, то можна обчислити елементи редукції до пунктів БФ, при цьому СКП положення пунктів $m_{\Delta\delta} = 0$ мм.

Етап 2. Точність передачі пунктів БФ на монтажний горизонт методом оптичної вертикалі (PZL):

$$m_{\Delta\Delta\delta\delta} = 0,27 + 0,0141H \quad , \quad (8)$$

де H – висота передачі пунктів БФ по вертикалі.

Якщо прийняти $H = 30$ м (до 10 поверхів), то:

$$m_{\Delta\Delta\delta\delta} = 0,27 + 0,0141H = 0,7 \text{ мм.}$$

Точність згущення мережі методом полярних координат. Вибравши зручне для виконання вимірювань місце (необхідно намагатись виконувати вимірювання на конструкції так, щоб візирний промінь падав по нормалі до конструкції), встановлюємо штатив з призмою-відбивачем та координуємо зазначену точку з точки просторової геодезичної мережі (ПГМ), яку ми винесли на монтажний горизонт методом вертикального проектування з пункту БФ. СКП відносно пункту ПГМ при цьому складе:

$$m_a = \sqrt{\left(\frac{m_\beta \cdot S}{\rho}\right)^2 + m_S^2 + m_\delta^2} = \sqrt{\left(\frac{5'' \cdot 15000}{206265}\right)^2 + 2^2 + 0,5^2} = 2,0 \text{ мм.} \quad (9)$$

Тобто, похибка згущення мережі m_a знаходиться в допуску відповідно до виразу (3).

Етап 3. Точність установки (визначення) точки на конструкції методом «полярних координат» за умови вимірювання відстані на призму-відбивач:

$$m_k = \sqrt{\left(\frac{m_\beta \cdot S}{\rho}\right)^2 + m_S^2} = \sqrt{\left(\frac{5'' \cdot 15000}{206265}\right)^2 + 2^2} = 2,0 \text{ мм.} \quad (10)$$

Отже, точність згущення ПГМ складає $m_a = 2,0$ мм, точність визначення координат точок конструкції складає $m_k = 2,0$ мм, що відповідає ДБН В.1.3-2:2010 «Геодезичні роботи у будівництві» та СНиП III-1.8-75 «Нормы организации, производства и приемки работ» металические конструкции».

Висновки з цього дослідження і перспективи подальших розвідок в цьому напрямку. В даній роботі виконано аналіз точності виконання геодезичних робіт при будівництві будівлі I класу точності.

Аналізуючи результати попереднього розрахунку точності методів, які використовуються на будівництві, видно, що точність визначення координат точок конструкцій відносно пунктів вихідної мережі складає 6,1 мм. Точність взаємного положення точок (відстань між суміжними точками) при цьому складає близько 9 мм. Розрахунок точності показав недоцільність їх застосування в даних умовах виконання робіт у зв'язку з точністю, яка не задовільняє нормативні вимоги.

Також наведено розрахунок точності класичних методів виконання геодезичного забезпечення будівництва будівель. За даних умов ці методи дозволяють з вищою точністю, яка задовільняє нормативи, виконати інженерно-геодезичне забезпечення будівництва будівель.

Дану роботу слід сприймати лише як аналіз точності методів інженерно-геодезичного забезпечення будівництва будівель та споруд. Тому, як керівний матеріал для геодезичних служб, які забезпечують будівництво будівель віднесених до IV та V категорії складності, відповідно до п.4.8 ДБН В.1.3.-2:2010 «Геодезичні роботи у будівництві» необхідно додатково розробляти Проект виконання геодезичних робіт (ПВГР).

Список літератури

1. ДБН В.1.3 - 07:2010. Система забезпечення точності геометричних параметрів у будівництві. Геодезичні роботи у будівництві. К., Мінрегіонбуд, 2010.
2. Войтенко С.П. Інженерна геодезія: підручник / С.П. Войтенко. – К.: Знання, 2009. – 557 с.
3. Баран П.И. Геодезические работы при монтаже и эксплуатации оборудования. М Недра 1990, 234 с.
4. Геодезические разбивочные работы. М., Недра 1973, 216 с. Н.Г. Видуев, П.И. Баран, С.П. Войтенко и др.
5. Войтенко С.П. Принципы расчета точности геодезических работ при монтаже элементов строительных конструкций и технологического оборудования / Сб. «Геодезическое обеспечение строительства, монтажа и эксплуатации инженерных сооружений» - М.: ЦНИИГАиК, 1988. - С. 61-65.

Аннотация

В статье выполнен расчет точности определения положения точек на разных этапах строительства и осуществлен анализ точности методик выполнения геодезических работ, проводимых организациями на производстве

Annotation

The calculation of accuracy of position-finding points is executed the article on the different stages of building and the analysis of accuracy of methods of implementation of geodesic works, conducted organizations on a production is carried out.