B.D. Bachyshyn

JUSTIFICATION OF ACCURACY OF GEODETIC SUPPORT OF BUILDING STRUCTURES BASED ON AN ANALYSIS OF THEIR WORK AS ELASTIC BODIES: STATUS AND PROSPECTS

The current state and prospects of methods of calculation accuracy of geodetic work in the construction and operation of engineering objects based on an analysis of the stress-strain state of the structures. Powered generalized formula depending accuracy of geodetic works on the parameters of building structures. Was studied in detail the share of each factor in the overall level of accuracy of geodetic support Were identified those that have the greatest impact: reliability index Gauss, load and their variations, the error of determination of concrete strength. Random deviations of the strength of steel is lower, but their impact on the overall error is significant in designs that are bending and stretching The geometrical dimensions are determined accurately, their variations are small, and the indexes by which they are considered in the general formula are small, that's why the share of these parameters in the general level of error geodesy is negligible. Requires the development of methods for calculating precision geodetic work, in which will be considered not only the strength but also the stability of the structure. Would be effective comprehensive application of both methods.

***Keywords**: geodetic support, the stress-strain state, load, Gauss reliability index.*

Надійшла до редакції 12.02.2014.

УДК 528.48

Р.А. Дем'яненко, *канд. техн. наук, доцент кафедри інженерної геодезії*
Київський національний університет будівництва і архітектури

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ВИЗНАЧЕННЯ КООРДИНАТ ПУНКТІВ ПРОСТОРОВОЇ ГЕОДЕЗИЧНОЇ МЕРЕЖІ З ВИКОРИСТАННЯМ ДАНИХ ІНКЛІНОМЕТРИЧНИХ І СУПУТНИКОВИХ СПОСТЕРЕЖЕНЬ ПІД ЧАС БУДІВНИЦТВА ВИСОТНИХ БУДІВЕЛЬ

Під час будівництва висотних споруд на них діють зовнішні навантаження (вітрові, температурне та ін.), що викликає вертикальне коливання будівель. Найзначніші проблеми виникають з дотриманням вертикальності об'єктів. Традиційні способи оптичної вертикалі виявляються неефективними. Компанією «Leica Geosystems» запропоновано використання супутникових радіонавігаційних систем у поєднанні з інклінометрами (датчиками вертикалі) для геодезичного забезпечення спорудження хмарочоса Burj Khalifa. У статті наведено математичну модель визначення кординат пунктів ПГМ під час будівництва висотних споруд із застосуванням супутникових радіонавігаційних систем та інклінометрів.

***Ключові слова:** просторова геодезична мережа, висотне будівництво, інклінометри, супутникові радіонавігаційні системи.*

© Р.А. Дем'яненко, 2014

Вступ. Проблема геодезичного забезпечення висотного будівництва є досить новою, оскільки до недавнього часу висота споруд була незначною і їх розглядали лише як статичний об'єкт. У міру збільшення висотності об'єкти почали поводити себе в динаміці, тому використання традиційних способів (оптичної чи лазерної вертикалі) стало неможливим.

Аналіз досліджень і публікацій. Питання геодезичного забезпечення висотного будівництва в сучасних умовах висвітлено в декількох публікаціях.

У статті [1] представлено технологію геодезичного забезпечення будівництва найвищої усвіті будівлі Burj Khalifa але при цьому жодного слова не сказано про математичну модель та обробку даних інклінометричних та супутникових вимірювань.

Проблема була детально розглянута в дисертації [2] на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук автором Ю.В. Медведським. Автором запропоновано використання фільтра Калмана для визначення координат динамічного об'єкта, однак представлено опис лише математичної моделі фільтра Калмана, який відфільтровує випадкові похибки (шуми) супутникових спостережень динамічної системи.

Постановка завдання. Сучасні умови розвитку мегаполісів потребують раціонального використання міських територій. Одним з найбільш перспективних варіантів є будівництво модерних висотних будівель, які в поєднані з класичною архітектурою визначають зовнішній вигляд сучасного міста.

Ріст обсягів будівництва, що характеризується висотністю, складністю будівельних конструкцій та інженерного устаткування, створення цілого ряду спеціальних споруд, постійне підвищення вимог до точності з'єднання вузлів конструкцій, дія статичних та динамічних навантажень на висотні будівлі та інженерні споруди під час будівництва зумовлюють збільшення обсягу та точності інженерно-геодезичних робіт. При цьому роль інженерно-геодезичного забезпечення будівництва висотних будівель та споруд набуває особливого значення та виходить на одну з ключових позицій в системі якості будівництва.

Будівельні та монтажні роботи на сучасних висотних спорудах ведуться одночасно, цілодобово та в будь-яку пору року. Звичайно їх проводять на багатьох ділянках, що потребує використання геодезичною службою сучасних технологій та приладів для оперативності у виконанні вимірювань та забезпеченні процесу будівництва. Задачі геодезичних вимірювань на сучасних висотних спорудах настільки різноманітні за точністю та методичним особливостям, що нерідко для встановлення кожного типу елементів потрібно розробляти окрему програму і методику виконання робіт, використовувати прилади різних типівта програмне забезпечення для одночасної оперативної обробки даних вимірювань.

Складність інженерно-геодезичного забезпечення викликана насамперед тим, що споруди такої висоти є динамічними. Вплив сили вітру та інших зовнішніх сил спричиняє коливання (відхилення) споруди від вертикалі. Ці відхилення є функціями часу, тому в процесі будівництва висотних об'єктів дотримання вертикальності набуває великого значення. Відхилення від вертикальності може бути наслідком періодичних коливань споруди або внаслідок похибок відхилення від проекту.

Традиційні методи (метод оптичної вертикалі, метод нахиленого проектування) не здатні забезпечити проектну геометрію висотних споруд.

Основна частина. Компанією «Leica Geosystems» під час будівництва найвищого на сьогодні хмарочоса Burj Khalifa (рис. 1) в ОАЕ запропоновано технологію з використанням GPS приймачів, електронних тахеометрів, високоточних двохосьових інклінометрів для визначення відхилення від вертикалі і спеціалізованого програмного забезпечення [1]. В комплексі ці прилади разом з програмним забезпеченням в умовах динамічних навантажень дають змогу з високою точністю дотримувати проектних геометричних параметрів висотних будівель та споруд в процесі їх зведення.

Завданням геодезичної служби під час забезпечення будівництва висотних споруд є дотримання проектних геометричних розмірів та характеристик. Під дією зовнішніх сил споруда може коливатись в просторі, але при цьому не мати відхилень від «умовної вертикальної осі» у точках $1' - 5'$ (рис. 2), які можуть бути спричинені похибками геодезичних та монтажних робіт.

Термін «умовна вертикальна вісь» означає вертикальна вісь споруди відхиляється внаслідок дії зовнішніх сил, а коли такої дії немає, то вонаповертається у проектне положення – точки 1-5 (рис. 2), при цьому повинна виконуватись умова вертикальності:

$$x_{n'} - x_n = 0;$$

$$y_{n'} - y_n = 0,$$

де $x_{n'}$ та $y_{n'}$ – координати точок «умовної вертикальної» осі (динамічна модель);

x_n та y_n – проектні координати точок вертикальної осі (статична модель).

Згідно з технологією запропонованою компанією «Leica Geosystems», поярусно з кроком по висоті $h_{n'}$ були встановлені двохосьові інклінометри для визначення відхилень від вертикалі. Позначимо відхилення на кожному ярусі як $v_{n'}^x$, $v_{n'}^y$ в горизонтальній координатній площині *XY*.

Під час дії зовнішніх сил на споруду (відхилення від вертикалі) координати точок «умовної вертикальної осі» визначають за такимиими формулами:

Рис. 1. Найвища будівля світу Burj Khalifa (ОАЕ)

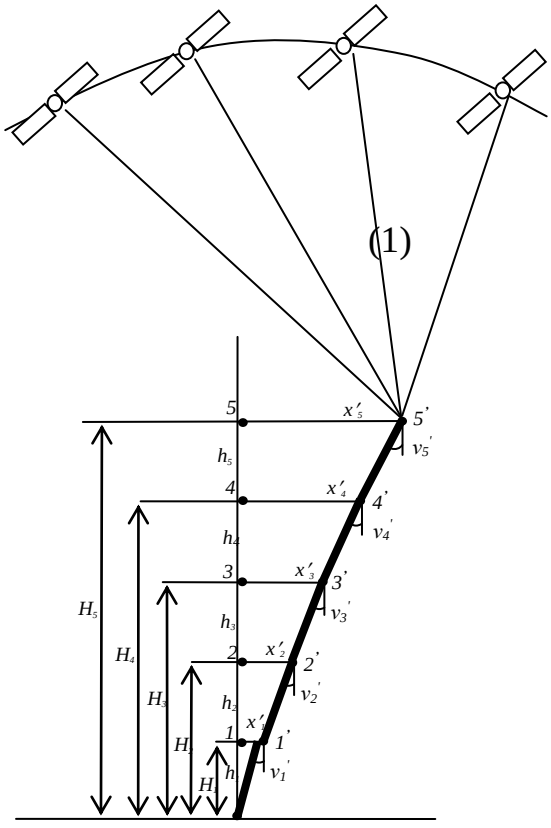

Рис. 2. Модель відхилення будівлі від вертикалі

$$x_{n'} = x_{n'-1} + h_{n'} \cdot tg\nu_{n'}^{x};$$
$$y_{n'} = y_{n'-1} + h_{n'} \cdot tg\nu_{n'}^{y}. \quad (2)$$

Однак ця модель враховує лише відхилення споруди від вертикалі внаслідок дії зовнішніх сил, але відхилення від вертикалі додатково може бути спричинене похибками геодезичних розмічувальних робіт, виготовлення конструкцій та монтажних робіт.

Для побудови ПГМ (просторової геодезичної мережі) та визначення координат опорних точок на монтажному горизонті були використані GNSS-спостереження на базовій станції та на монтажному горизонті (рис. 3, 4).

Вважатимемо, що $\widehat{x}_{n'}$ та $\widehat{y}_{n'}$ – координати точок на монтажному горизонті, отримані в результаті GNSS-спостережень.

Отже, за відсутності відхилень від вертикалі внаслідок впливу зовнішніх сил на споруду координати опорних точок, отримані з GNSS, були б незмінні.

Рис. 3. Базова станція вихідної геодезичної мережі будівлі

Рис. 4. Приймачі на монтажному горизонті з призмами 360°

Правильність координат точок ПГМ та відсутність похибок другої групи на монтажному ярусі, навіть за відхилення «умовної вертикальної осі» від вертикалі, є умовою рівності координат, визначених за даними інклінометрів та супутникових спостережень, що визначається рівнянням:

$$x_{n'} - \hat{x}_{n'} = 0; \qquad (3)$$
$$y_{n'} - \hat{y}_{n'} = 0.$$

При цьому, якщо прибрати дію зовнішніх сил на споруду, значення відхилення від вертикалі дорівнюватиме нулю, а отже «умовна вертикальна вісь» будівлі збігатиметься з проектною вертикальною віссю. Недотримання умови (3) свідчитиме про наявність похибок другої групи.

Висновок. У дослідженні розглянуто та запропоновано математичну модель опрацювання даних інклінометричних та супутникових спостережень для інженерно-геодезичного забезпечення будівництва висотних споруд в умовах дії зовнішніх сил, що спричиняють коливання споруди у вертикальній площині.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. *Дем'яненко Р.А.* Сучасний стан інженерно-геодезичного забезпечення будівництва висотних споруд / Р.А. Дем'яненко// Нові технології в будівництві. Науково-техн. журнал 2011. – Вип.22. – С. 86-89.

2. *Медведський Ю.В.* Технологія і методика геодезичного забезпечення будівництва висотних споруд засобами GNSS-технологій: дис. кандидата техн. наук: 05.24.01 / Ю.В. Медведський. – К.: КНУБА, 2013. – 138 с.

3. *Zeiner Agnes* Rising Highwith GPS Network [Електронний ресурс] / Agnes Zeiner// Reporter. – Вип. 56. – Режим доступу: http://www.leica-geosystems.com/media/new/product_solution/Reporter_56_en_BurjDubai.pdf. – Заголовок з екрана.

REFERENCES

1. Demianenko, R.A. (2011). Suchasnyi stan inzhenerno-geodesychnoho zabezpechennia budivnytstva vysotnykh sporud [Thecurrent state of geodetic providing of construction of high-rise buildings] . *Novi tekhnolohii v budivnytstvi - New technologies in construction, 22,* 86-89.[in Ukrainian].

2. Medvedskyi, Yu.V. (2013). Tekhnolohiia i metodyka geodezychnoho zabezpechennia budivnytstva vysotnykh sporud zasobamy GNSS-tekhnolohii [The technology and methodology of geodetic ensure construction of high-rise buildings by GNSS-technology]. *Candidate's thesis*. Kyiv: KNUBA [in Ukrainian].

3. Agnes Zeiner. Rising Highwith GPS Network [Rising Highwith GPS Network]. *Zhurnal Reporter- Journal Reporter,* 56. Retrieved from http://www.leica-geosystems.com/media/new/product_solution/Reporter_56_en_BurjDubai.pdf [in Ukrainian].

Р.А. Демьяненко

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КООРДИНАТ ПУНКТОВ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ГЕОДЕЗИЧЕСКОЙ СЕТИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДАННЫХ ИНКЛИНОМЕТРИЧЕСКИХ И СПУТНИКОВЫХ НАБЛЮДЕНИЙ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВО ВЫСОТНЫХ ЗДАНИЙ

При строительстве высотных сооружений на них действуют внешние нагрузки (ветровые, температурные и др.), что вызывает отклонения сооружения по вертикали. Самые значительные проблемы возникают с обеспечением вертикальности обьектов. Традиционные способы оптической вертикали оказываются неэффективными. Компанией "Leica Geosystems" предложено использование спутниковых радионавигационных систем в сочетании с инклинометрами (датчиками вертикали) для геодезического обеспечения сооружения небоскреба Burj Khalifa. В статье приведена математическая модель определения координат пунктов ПГМ во время строительства высотных сооружений с применением спутниковых радионавигационных систем и инклинометров.

Ключевые слова: *пространственная геодезическая сеть, высотное строительство, инклинометры, спутниковые радионавигационные системы.*

R.A. Demyanenko

MATHEMATICAL MODEL OF POSITIONING STATION OF SPACE GEODETICAL NETWORK USING DATA FROM INCLINOMETRIC AND SATTELITES OBSERVATIONS IN THE CONSTRUCTION OF HIGH-RISE BUILDINGS

At a height rise building the external forces (wind, change of temperatures and other) operate on building, that causes oscillation of building from vertical axe. Most problems arise up during building, at providing of building verticality. The traditional methods of optical vertical line become powerless. A company Leica Geosystems is offer to use GNSS in combination with inclinometers (the vertical line sensors) for the geodesic providing of building to the sky-scraper of Burj Khalifa. In this article the mathematical model of determination points coordinates of Spatial Geodetic Network is resulted during building of height rise building swith application of the GNSS and inclinometers. A complex combination of GPS antenna/receivers, Total Stations, Continuously Operating GPS Reference Stations Leica GRX1200 Pro plus Leica GPS Spider and Leica GeoOffice Software, together with Leica Nivel220 dualaxis precise clinometers, accurately determines and analyzes displacement of the tower alignment from the vertical axis.

Keywords: *spatial geodesic network, height risebuilding, inclinometers, GNSS.*

Надійшла до редакції 20.12.2013