

С.П.Войтенко,

д-р техн. наук, професор,

завідувач кафедри інженерної геодезії

Київський національний університет будівництва і архітектур, м. Київ

КОМПЛЕКСНИЙ АНАЛІЗ ДОСЛІДЖЕННЯ ДЕФОРМАЦІЙ ІНЖЕНЕРНИХ СПОРУД

Анотація. Сучасні методи математичного оброблення результатів вимірів підвищують рівень інформативності геодезичних спостережень за деформаціями інженерних споруд.

В статті наведено методик сучасних методів оброблення результатів вимірювання деформацій споруд, що підвищують надійність отримання якісних параметрів деформацій і дають можливість розробити надійні конструктивні рішення для їх усунення.

Ключові слова: деформація, функція, довірчий інтервал.

Вступ. При виявленні ознак деформацій споруди важливо визначити їх якісні та кількісні параметри, отримати прогнозний характер розвитку деформацій.

Запропонований теоретико-ймовірнісний аналіз деформацій споруди дозволяє значно підвищити інформаційну складову результатів вимірів.

Дослідження деформацій інженерних споруд виконують як в період зведення, так і при їх експлуатації при наявності ознак деформацій.

Для визначення величини деформацій та для їх прогнозування виконують точні геодезичні спостереження за їх розвитком

Аналіз досліджень і публікацій. Багато вчених присвятили свої праці дослідженню деформацій протягом XX та XXI століть. Серед них Г.К. Ботан, П.І. Брайт, М.Г. Відусь, В.С. Старовсьов, Д.М. Міхелев, В.І. Рунов, А.І. Голубцов, Г.П. Левчук, В.Е. Новак, А.Ф. Стороженко та інші.

Досліджені питання проектування геодезичних мереж, конструкції геодезичних знаків опорних мереж та деформаційних знаків, розроблені і удосконалюють методи геодезичних спостережень за деформаціями споруд.

Найбільш важливим показником деформаційного процесу є визначення числових характеристик прогнозної моделі деформації споруди як в процесі виконання спостережень, так і на кінцевому етапі досліджень є отримання достовірної інформації про параметри деформацій та їх розвиток при подальшій експлуатації споруди.

Традиційно поблизу споруди закладають один або більше кушів (по три репера) глибинних реперів, від яких геометричним або тригонометричним нівелюванням визначають позначки закріплених на споруді деформаційних знаків.

Проф. М.Г. Відусь та проф. В.С. Старовсьов дослідили питання визначення необхідної і достатньої точності вимірів, швидкості деформацій, періодичності спостережень, надійності отриманих прогнозних параметрів.

Постановка задачі. Комплексні дослідження деформацій споруд дозволяє отримати широкий спектр існуючих та прогнозних характеристик їх

стану, що дозволить розробити надійні конструктивні рішення для усунення їх в процесі експлуатації споруди.

За результатами вимірювання позначок k -марок в $1, 2, \dots, n$ циклах отримують матрицю:

$$\begin{pmatrix} H_1^0 & H_2^0 & \dots & H_k^0 \\ H_1^1 & H_2^1 & \dots & H_k^1 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ H_1^n & H_2^n & \dots & H_k^n \end{pmatrix}$$

Де H_i^0 – висоти або координати марки нульового циклу;

H_i^j – висоти або координати марки в j -му

$$\text{циклі } \left(i = \overrightarrow{1, k} \right), \left(j = \overrightarrow{1, n} \right)$$

По мірі нарощування циклів вимірювань будемо отримувати зростаючу матрицю.

При математичному обробленні вимірювань будемо отримувати поступово нарощувану матрицю деформації марок

$$\begin{pmatrix} h_{11} & h_{12} & \dots & h_{1k} \\ h_{21} & h_{22} & \dots & h_{2k} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ h_{n1} & h_{n2} & \dots & h_{nk} \end{pmatrix} \begin{matrix} \bar{h}_1; & m_1^2; & d_{21} \\ \bar{h}_2; & m_2^2; & d_{32} \\ \dots & \dots & \dots \\ \bar{h}_n; & m_n^2; & d_{n,n-1} \end{matrix}$$

$$\text{де } h_{ij} = H_i^0 - H_i^j$$

Обчислюють:

1) середнє арифметичне деформацій споруди по k -маркам в кожному циклі

$$\bar{h}_i = \sum_{j=1}^k h_{ij} / k$$

2) мірою точності деформаційного процесу в кожному циклі вимірювань будуть дисперсії

$$m_j^2 = \sum_{i=1}^k \frac{v_{ij}^2}{k-1}$$

$$\text{де } v_{ij} = h_{ij} - \bar{h}_i$$

3) послідовні різниці деформацій між сусідніми марками в кожному циклі вимірювань

$$d_{ij} = \bar{h}_{i+1,j} - h_{ij}, \quad \left(i = \overrightarrow{1, k} \right) \quad \left(j = \overrightarrow{1, n} \right)$$

4) для кожного циклу обчислюють дисперсії подвійних різниць

$$m_{d_j}^2 = \frac{[d_j^2]}{2(k-1)}$$

5) за критерієм Аббе визначають статистику

$$\delta_j = \frac{m_{d_j}^2}{m_j^2}; \quad \left(j = \overrightarrow{1, n} \right).$$

Гіпотеза про наявність деформації споруди в цілому або окремих її частин визначається критичною областю

$$\delta_j > \delta_q$$

Параметр δ_q визначають за табл. [3] за рівнем значущості $q = 1 - p$ і кількістю вимірів по деформаційним маркам k .

Висновок: 1. Якщо $\delta_j < \delta_q$, то деформації несуттєві.

2. Якщо $\delta_j > \delta_q$ масмо фактор деформаційних процесів споруди.

Деформацію окремих частин споруди можна контролювати по величині послідовних різниць d_{ij} між суміжними циклами

$$d_{ij} = h_{j+1,i} - h_{ji}$$

Для прикладу $d_{11} = h_{21} - h_{11}$, ..., $d_{1k} = h_{2k} - h_{1k}$, ..., $d_{k,n-1} = h_{nk} - h_{k-1,k}$.

Якщо марка отримала значення деформації між суміжними циклами величину $d_{ij} > \Delta_{гр}$, то будемо мати фактор деформації конструкції споруди в районі i -ої марки.

Граничну похибку нівелювання марок $\Delta_{ад}$ можна визначити вимогами інструкції [4].

Середня квадратична похибка вимірювань не повинна перевищувати:

1) для особливо відповідальних споруд на скальній основі

$$m_{h_1} = \pm 1 \text{ мм};$$

2) для споруд зведених на ґрунтовій основі

$$m_{h_2} = \pm 2 \text{ мм};$$

3) на насипних, просядкових ґрунтах

$$m_{h_3} = \pm 5 \text{ мм}.$$

При заданій довірчій ймовірності P за таблицями функцій Лапласа визначасмо параметр t : $P_1 = 0,99$ $t_1 = 3$, при $P_2 = 0,95$ $t_2 = 2,5$ і при $P_3 = 0,90$ $t_3 = 2$.

Граничні похибки $\Delta_{ад}$ послідовних різниць d_{ij} між суміжними циклами відповідно будуть дорівнювати

$$\Delta_{1гр} = t_1 m_{h_1} = 3 \cdot 1 = 3 \text{ мм};$$

$$\Delta_{2гр} = t_2 m_{h_2} = 2,5 \cdot 2 = 5 \text{ мм};$$

$$\Delta_{3гр} = t_3 m_{h_3} = 5 \cdot 2 = 10 \text{ мм}.$$

Висновок:

1) Якщо d_{ij} поступово зменшується, то почався процес стабілізації;

2) Якщо $d_{ij} \leq \Delta_{ад}$, то деформації стабілізувались і для контролю можна виконати ще один – два цикли вимірювань;

3) Якщо $d_{ij} > \Delta_{ад}$, то деформації знаходяться в процесі розвитку;

4) Якщо в певному циклі вимірювань виявлено, що різниці d_{ij} деяких марок більші за $\Delta_{ад}$ ($d_{ij} > \Delta_{ад}$), то відбуваються нерівномірні деформації окремих конструкцій споруд.

Використавши математичні сподівання $\bar{M}(t_i) = \bar{h}_i$ деформаційного процесу споруди h_1, h_2, \dots, h по кожному циклу спостережень можна побудувати графік (рис.1).

За видом графіка можна попередньо визначити математичну модель процесу деформацій: прямолінійну, квадратичну, періодичну, логарифмічну, степеневу та інші види математичних функцій.

Якщо вид функції важко визначити за графіком або він значно відрізняється від перерахованих функцій, то доцільно виконати параболічну апроксимацію [3] за методом Чебишева за функцією $y = K_1 + K_2 x + K_3 x^2 + \dots + K_n x^{n-1}$

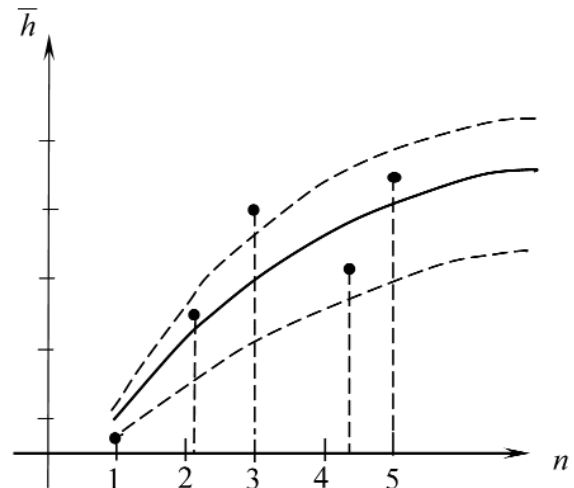


Рис. 1 Графік деформації споруди

При стабільному комплексі умов можна обчислити загальну дисперсію вектора h за формулою

$$m^2 = \sum_{j=1}^n \frac{(n-1)m_j^2}{N-n}$$

де n – число циклів вимірювань; N – число всіх вимірів.

Довірчий інтервал обчислюють за формулою

$$P(\bar{h}_i - tm \leq \bar{h}_i + tm) = P$$

де \bar{h}_i – середнє значення деформації в j -му циклі; P – задана довірна ймовірність визначення деформації споруд; t – статистика, що визначається за табл.(дод.3) [3] в залежності від P та кількості марок k .

Висновки:

1. Якщо результати не виходять за межі довірчого інтервалу, то відбувається рівномірний процес розвитку або стабілізації деформацій споруди.

2. Якщо деякі марки виходять за межі довірчого інтервалу, то відбуваються нерівномірні деформації.

Література

1. Брайт П.И. Геодезические методы измерения деформаций оснований сооружений / П.И. Брайт. - М.: Наука, 1965 - 298 с.
2. Геодезические измерения при изучении деформаций крупных инженерных сооружений: текст / Д.Ш. Михелев, И.В. Рунов, А.И. Голубцов. - Москва: Недра, 1977. - 151 с.
3. Математичне оброблення геодезичних вимірів: підручник / С.П. Войтенко, Р.В. Шульц, О.Й. Кузьмич, Ю.В. Кравченко; за ред. С.П. Войтенка. - К.: Знання, 2015. - 654 с.
4. Руководство по наблюдениям за деформациями фундаментов зданий и сооружений [Текст] / Науч.-исслед. ин-т оснований и подземных сооружений Госстроя СССР. Гос. Проектный ин-т "Фундаментпроект" Минмонтажспецстроя СССР. - М.: Стройиздат, 1967. - 93 с.

References

1. Bright P.I. (1965) Geodesic methods for measuring the deformations of the foundations of structures [Geodezicheskie metody izmereniya deformatsiy osnovaniy sooruzheniy]. Moscow: Nauka [in Russia].
2. Mikhelev D.Sh., Runov I.V., & Golubtsov A.I. (1977). Geodezicheskie izmereniya pri izuchenii deformatsiy krupnykh inzhenernykh sooruzheniy [Geodetic measurements in the study of deformations of large engineering structures] [Text] - Moscow: Nedra [in Russia].
3. Voitenko S., Schultz R., Kuzmich O., & Kravchenko Y.(2015). Matematichne obroblyennya geodezichnih vimiriv [Mathematical processing of geodetic measurements] S. P. Voitenko (Ed.). - K.: Znannia, [in Ukraine].
4. Guidance on monitoring deformations of foundations of buildings and structures (1967) [Rukovodstvo po nablyudeniym za deformatsiyami fundamentov zdaniy i sooruzheniy] / Science Institute base and underground facilities of Gosstroy USSR. Gos. Project Institute "Fundamentproekt" of the Ministry of Construction of the USSR. - Moscow: Stroizdat. [in Russia].

С.П.Войтенко

КОМПЛЕКСНЫЙ АНАЛИЗ ИССЛЕДОВАНИЯ ДЕФОРМАЦИЙ ИНЖЕНЕРНЫХ СООРУЖЕНИЙ

Аннотация. В статье приводится методика математической обработки результатов геодезических наблюдений за деформациями инженерных сооружений. Использован современный метод обработки измерений, который позволяет повысить качество и надежность прогнозных характеристик деформаций сооружений, что будет способствовать по разработке надежных конструктивных решений по усилению конструкций, а в конечном итоге повысит надежность и долговечность их эксплуатации.

Ключевые слова: деформация, функция, доверительный интервал

S.P.Vojtenko

CUSTOMER AGAINST LONG-TERM RELEASE INSTALLATION

Abstract. The article presents the methods of mathematical processing of the results of geodetic observations of deformations of engineering structures. A modern method of processing measurements has been used, which allows improving the quality and reliability of the predicted characteristics of structures deformations, which will contribute to the development of reliable structural solutions for strengthening structures, and ultimately increase the reliability and durability of their operation.

Keywords: deformation, function, confidence interval