

Моніторинг технічного стану несучих конструкцій будівель і споруджень

В статті описано проведення досліджень за допомогою методики оцінки напружено-деформованого стану (НДС) несучих конструкцій будівель і споруд, схильних до впливу нерівномірних деформацій основи в ході моніторингу їх технічного стану з використанням сучасних інформаційних технологій отримання і обробки даних, до складу якого входять вибіркоче обстеження технічного стану конструкцій, геодезичні просторових деформацій споруди, чисельний аналіз методом кінцевих елементів (МКЕ) зміни НДС несучих конструкцій.

технічний стан, споруда, моніторинг, метод кінцевих елементів, геодезичні, тахеометр, контроль деформація

Для сучасного етапу розвитку в Україні характерне розширення будівельного виробництва і проведення масштабного будівництва в крупних містах – мегаполісах, насамперед, в м.Києві, Одесі, Харкові, що постійним зростанням складності об'єктів, які зводяться, і умов, в яких здійснюється їх будівництво. Це неминуче породжує нові завдання, пов'язані із забезпеченням безпеки життєдіяльності в умовах мегаполісу, що визначається, по-перше, надійністю самих споруд що будуються, і, по-друге, впливом будівництва, що проводиться, на вже існуючу інфраструктуру.

Сучасні тенденції в будівництві, а саме – збільшення поверховості будівель, ущільнення міської забудови, обмеженість будівельних майданчиків, освоєння підземного простору, насичення інженерними комунікаціями, незмінно приводять до виникнення і подальшого збільшення негативної техногенної дії будівництва, що проводиться, на вже побудовані об'єкти, розташовані в прилеглих зонах.

Як показує досвід [1,2], однієї з основних проблем експлуатації будівель і споруд в крупних містах є можливість їх пошкодження в результаті нерівномірних деформацій ґрунтової основи, спровокованих різними природно-техногенними причинами. У зв'язку з цим особливого значення набуває проблема контролю технічного стану несучих конструкцій з метою попередження виникнення аварійних ситуацій і обґрунтованість вибору комплексу інженерних заходів щодо їх недопущення. При цьому очевидно, що контроль технічного стану несучих конструкцій будівель і споруд повинен носити систематичний характер і дозволяти здійснювати оцінку змін, що відбуваються, на основі кількісних критеріїв, тобто базуватися на процедурах виявлення відповідності фактичній міцності, жорсткості і стійкості конструктивних елементів нормативним вимогам.

В цілому актуальність досліджень визначається практичною необхідністю створення обґрунтованої методики об'єктивної оцінки технічного стану несучих конструкцій будівельних об'єктів, що зовнішні деформаційні дії, яка дозволила б з високою достовірністю прогнозувати і появу і розвитку аварійних ситуацій.

Метою даної роботи з'явилася розробка ефективної методики оцінки напружено-деформованого стану (НДС) несучих конструкцій будівель і споруд, схильних до впливу нерівномірних деформацій підстави, в ході моніторингу їх технічного стану з використанням сучасних інформаційних технологій отримання і обробки даних.

моніторингу, до складу якого входять вибіркове обстеження технічного стану конструкцій, геодезичні просторових деформацій споруди, чисельний аналіз методом кінцевих елементів (МКЕ) зміни НДС несучих конструкцій.

Об'єктом дослідження був процес впливу нерівномірних деформацій основ будівель і споруд, розташованих в зоні з складними інженерно-геологічними умовами, на технічний стан їх несучих конструкцій.

Встановлено [3], що будівельний об'єкт є багатокомпонентною системою взаємодіючих конструктивних елементів, працездатністю і технічним станом кожного з яких визначає міцність, стійкість і експлуатаційну безпеку споруди в цілому в ході його життєвого циклу. Накопичений досвід будівництва і експлуатації різних об'єктів свідчить про те, що зміна умов нормального функціонування компонентів системи «фундамент-споруда», закладених на стадії проектування, може бути викликане найрізноманітнішими причинами, основними з яких є нерівномірні деформації ґрунтової основи. Як наслідок дані негативні дії пошкодження фундаментних і надфундаментних конструкцій і призводять до зниження або втрати їх несучої здатності в ході експлуатації об'єктів. Причинами нерівномірних деформацій основи можуть бути ущільнення ґрунтів при техногенних діях, карстово-суффузійні процеси, збільшення зовнішнього навантаження на основу, різкі зміни гідрогеологічних умов території, зміна об'єму ґрунтів при хімічних і фізичних діях і так далі

Існуючі нормативно-технічні документи визначають гранично допустимі величини додаткових деформацій підстав і споруд (вертикальних осідань і крену) для обмеженої кількості типів конструктивних схем будівельних об'єктів. В більшості випадків нерівномірні деформації основи носять складний просторовий характер і викликають в, просторові деформації всього об'єкту. Для отримання повної і об'єктивної картини їх впливу на технічний стан конструкцій споруд необхідно використовувати додаткові чисельні критерії оцінки напружено-деформованого стану (НДС) конструкцій. На сьогоднішній день єдиною рекомендованою нормативними документами методики, що дозволяє проводити подібні оцінки, не існує.

З причини того, що деформаційні дії на конструкції споруд в результаті зміни стану і властивостей основи носять в основному тривалий характер, на сьогоднішній день найбільш ефективним способом прогнозування і попередження аварійних ситуацій є моніторинг їх технічного стану, що проводиться в періодичному режимі.

Використання моніторингу для оцінки технічного стану конструкцій широкого класу споруд різного призначення стало необхідною процедурою порівняно недавно. З цієї причини методи проведення моніторингу будівельних об'єктів і трактування отриманих в його ході результатів, а також нормативна база що регламентує їх на сьогоднішній день недостатньо пропрацьована. Це визначає необхідність розробки ефективної методики для оцінки технічного стану несучих конструкцій спорудна основі даних періодичного моніторингу.

Базовою складовою розробленої методики є інженерне обстеження технічного стану конструкцій об'єкту, здійснюване фахівцями. В ході інженерного обстеження об'єктивно виявляються зміни, що відбуваються, за рахунок візуального і інструментального контролю, що далеко не завжди вдається здійснити за допомогою автоматизованих методів моніторингу. У повному інженерне обстеження проводиться на підготовчому етапі моніторингу і у вибіркового на проміжних етапах.

Нормативний технічний стан конструкцій споруд в значній мірі визначається незмінністю і стабільністю їх геометричних параметрів (просторове положення, прольоти, прогинання, переміщення). Контроль деформацій споруд традиційно здійснюється шляхом визначення розвитку в основному вертикальних осідань по контуру об'єкту в рівні основи за допомогою геометричної нівеляції. При цьому очевидно, що тільки вертикальних осідань в рівні основи не відображає реальної картини просторової деформації всього об'єкту і зміни НДС його конструкцій. Помилки можуть бути особливо

великі при значних габаритах і великій поверховості споруд коли неможливий доступ до необхідної кількості для геометричної нівеляції в потрібному об'ємі.

Таким чином, при нерівномірних деформаціях основи основними параметрами, які повинні контролюватися в ході моніторингу, є просторові деформації споруди - взаємні переміщення масиву його характерних в декількох рівнях по висоті і периметру об'єкту, які він в деформаційної дії з боку основи. Найбільш ефективним способом вирішення даної проблеми є просторово-координатний моніторинг положення характерних точок об'єкту за допомогою сучасної геодезичної апаратури, яка на сьогоднішній день здатна забезпечити необхідну точність і швидкість вимірів

За результатами моніторингу, відповідно до вимоги СП 13-102-2003, окрім візуально-нормативній оцінки технічного стану конструкцій, повинен проводитися чисельний аналіз їх НДС на підставі перевірочних розрахунків з уточненими даними, отриманими при обстеженні споруди. На сьогоднішній день проектування і розрахунок будівельних конструкцій, як правило, здійснюється чисельними методами на ЕОМ за допомогою спеціалізованих обчислювальних комплексів, алгоритми яких в переважній більшості засновані на методі кінцевих елементів (МКЕ). Дана технологія є зараз основним інженерним інструментом автоматизованого математичного аналізу НДС будівельних конструкцій від будь-якого виду зовнішніх дій, включаючи нерівномірні деформації підстав.

Представлена методика геодезичних просторових деформацій об'єктів моніторингу з використанням ПК-моделей дозволяє використовувати її в умовах щільної міської забудови.

Визначення просторових переміщень масиву характерних точок об'єкту, замаркированих деформаційними марками в декількох рівнях по висоті і периметру споруди, здійснюється шляхом їх просторово-координатній (ПК) зйомки за допомогою електронних тахеометрів (рис. 1).

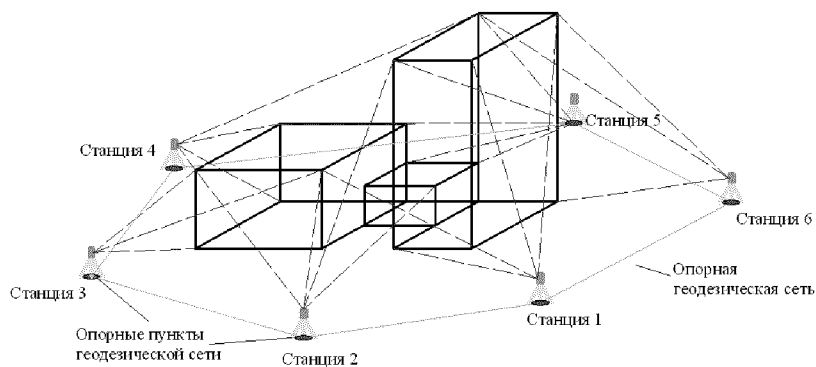


Рисунок 1– ПК- зйомка об'єкту моніторингу

По різниці значень просторових координат (x_i, y_i, z_i) , відповідних фактичному планово-висотному положенню крапок в різних циклах моніторингу, обчислюються як вертикальні, так і горизонтальні переміщення споруди (1,2). З метою систематизації масиву крапок в рамках даної роботи вводиться поняття просторово-координатній моделі (ПК-моделі) контролю деформацій споруди (рис. 2). Характерні точки споруди є так звані контрольовані вузли ПК-моделі.

$$\Delta X_i^j = x_i^0 - x_i^j; \quad \Delta Y_i^j = y_i^0 - y_i^j; \quad \Delta Z_i^j = z_i^0 - z_i^j; \quad \Delta XY_i^j = \sqrt{(\Delta X_i^j)^2 + (\Delta Y_i^j)^2}; \quad (1)$$

$$\varphi_i^j = \arctg \frac{\Delta X_i^j}{\Delta Y_i^j}; \gamma_{i \rightarrow i-1}^j = \arctg \frac{\Delta XY_i^j}{z_i^j - z_{i-1}^j}. \quad (2)$$

Залежно від розміру споруди і його конструктивної схеми ПК-модель може формуватися тільки по зовнішньому контуру об'єкту, тобто складатися із зовнішніх контрольованих вузлів, фіксованих на фасадах. У випадках значних габаритів або при складній конструктивній схемі об'єкту для підвищення точності вимірів і можливості додаткового контролю деформацій ПК-модель повинна містити контрольовані вузли усередині об'єкту (рис. 2).

Формування ПК-моделі здійснюється по проектній документації або за результатами обстеження споруди в залежності його від габаритів, конфігурації в плані, поверховості, розташування несучих конструкцій, фундаментів і так далі, з можливості доступу до об'єкту для проведення геодезичної зйомки. У випадку, контрольовані вузли ПК-моделі вибірково розташовуються в основних вузлах каркаса, в місцях перетину несучих подовжніх і поперечних стін, в зонах розміщення деформаційних швів, в місцях сполучення окремих споруди і так далі. При цьому формуються вертикальні створи і горизонтальні рівні, в кількості не менш 3-х вузлів в кожному з них. З кількістю контрольованих вузлів встановлюється на підставі критеріїв достовірності для об'єктивного виявлення картини просторових деформацій об'єкту. Основна проблема проведення ПК-зйомки в обмежених умовах щільної міської забудови полягає в обмеженнях, що накладаються можливостям стандартних плоских світлоповертаючих марок по зворотному поверненню світлового потоку лазерного далекоміра-тахеометра при критичних кутах падіння світла менш 30°-35° до катафотної шаруючої марки, чого втрачається можливість проведення точних.

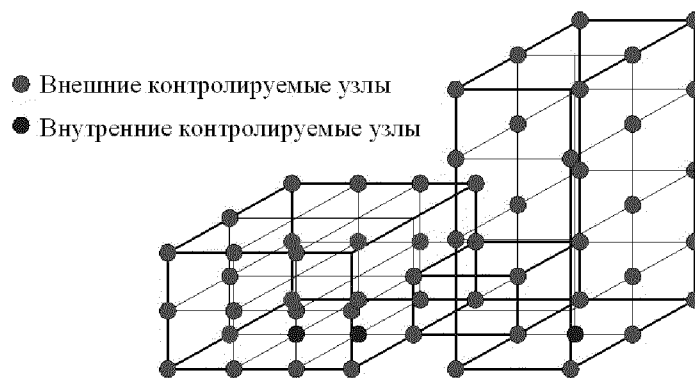


Рисунок 2 – ПК-модель контролю деформацій

Дані обмеження в рамках роботи в результаті створення спеціалізованої технології ПК-зйомки в умовах обмеженого доступу до об'єкту моніторингу. У її основі лежить використання спеціально розроблених сферичних світлоповертаючих марок, координат, що дозволяють проводити стійкі, при будь-яких кутах візування із заданою точністю у великому діапазоні відстаней. Сферична світлоповертаюча марка (рис.3) є сферою радіусом 20мм, обклеєна світлоповертаючої (катафотною) тканиною. При наведенні на такі марки з будь-якої точки стояння тахеометра автоматично забезпечується нормальне падіння світла до сферичної поверхні в точці наведення і проходження його продовження через центр сфери, що виключає ефект косоного візування і дозволяє спостерігати розташовані на фасаді будівлі марки з будь-якого напрямку без зниження точності наведення (рис.4). Константа (відстань до центру сфери), що виникає при цьому, визначається експериментально для використовуваного електронного тахеометра.

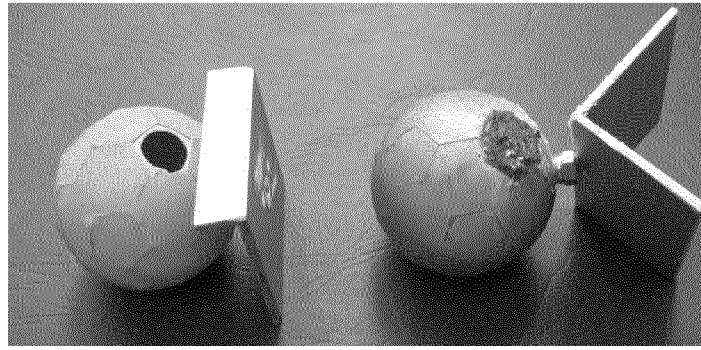
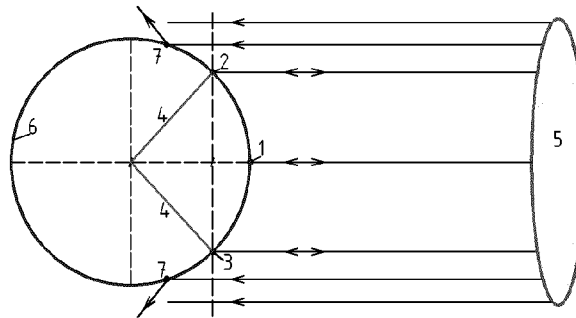


Рисунок 3 – Сферичні світлоповертаючі марки

Використання сферичних марок при ПК-зйомці в умовах щільної міської забудови дозволяє отримати більш повну картину просторових деформацій споруди за рахунок збільшення кількості зовнішніх вузлів ПК-моделі, що розташовані у верхніх контролюємих рівнях об'єкту, у зрівнянні з використанням стандартних плоских марок.

Необхідна точність просторових деформацій ПК-моделі обумовлена технічним завданням на виробництво робіт, нормативними документами (ГОСТ 24846-81) на підставі вибору класу точності або спеціальними розрахунками.



1 – точка наведення; 2,3 – точка мінімуму світлоповертання катафотної сферичної поверхні; 4 – константа світлоповертаючій сферичній марці; 5 – об'єктив світлодалньогоміра; 6 – сфера світлоповертаючим катафотним покриттям; 7 – точка критичного кута падіння для катафотної сферичної поверхні

Рисунок 4 – Характер віддзеркалення сферичної світлоповертаючій марці

Точність вимірів просторових координат електронними тахеометрами відповідає технічним характеристикам приладів і, в спільному випадку, характеризується середньоквадратичною погрішністю (СКП- m) вимірів горизонтальних кутів $m\theta$, відстаней mD і кутів нахилу m .

$$m_{xy} = \sqrt{\frac{m_{\beta}^2 \cdot D^2}{\rho^2} + m_D^2}; m_z = \sqrt{\text{ctg}^2 \theta \cdot m_D^2 + \frac{D^2 \cdot m_{\theta}^2}{\sin^2 \theta \cdot \rho^2}}, \quad (3)$$

де m_{xy}, m_z - СКП виміру координат;

D - вимірювана відстань.

Для проведення вимірів деформацій по I класу точності применялися прилади, для яких $m_{\theta} = 1''42'' \pm m_D = (0,641\text{мм} + 14210 \cdot 6D)$. Точність найбільш поширених тахеометрів, вживаних для проведення вимірів деформацій відповідно до II і нижче класами точності вимірів, характеризується $m_{\theta} = 3''46'' \pm m_D = (243\text{мм} + 14310 \cdot 6D)$.

Побудова ПК-моделі контролю деформацій об'єкту моніторингу проводиться за допомогою спеціального розробленого програмного забезпечення, що виконує автоматизований переклад геодезичної інформації в електронне креслення і входить до

складу інформаційно-виміривального комплексу (ІВК), за допомогою якого здійснюється прискорений збір і обробка даних геодезичних вимірів. Технічна частка ІВК базується на використанні тахеометрів фірми Sokkia. Програмна частка комплексу базується на системі попередньої обробки геодезичної інформації ProLink фірми Sokkia і системі побудови електронних креслень Autocad фірми Autodesk. Підготовка додаткової інформації для аналізу зв'язків точок вимірів при створенні ПК-моделі споруди у форматі так званої матриці ребер проводиться в пакеті Microsoft Excel. Потім дані передаються в графічну систему AUTOCAD шляхом завантаження програмного файлу KARKAS, що є описом на мові AUTOLISP послідовності операцій по автоматизованій побудові ПК-моделі. При необхідності ПК-модель може служити основою для формування розрахункової моделі споруди, шляхом перетворення плоских і просторових зображень з DXF файлів в МКЕ-модель.

Висновки. Проведений в роботі аналіз виявив недостатню опрацьованість існуючих методик обліку впливу нерівномірних деформацій ґрунтової основи на технічний стан несучих конструкцій споруд і відсутність достатньої нормативної бази в області моніторингу будівельних об'єктів, що забезпечує запобігання виникненню аварійних ситуацій.

Запропонована оцінка впливу нерівномірних деформацій підстав на технічний стан несучих конструкцій споруд, включає процедури інженерного обстеження технічного стану конструкцій, моніторинг просторових переміщень масиву характерних точок споруди з використанням просторово-координатній (ПК) геодезичної зйомки, а також МКЕ-аналіз зміни напружено-деформованого стану (НДС) конструкцій на базі зареєстрованих в ході моніторингу переміщень.

Чисельна оцінка впливу деформацій основи на НДС несучих конструкцій споруди проводиться за допомогою МКЕ-аналізу реєстрованих в ході моніторингу переміщень споруди, для чого введено поняття базової МКЕ-моделі, сформованої на підставі проектної документації і результатів первинного інженерного обстеження, і поточної МКЕ-моделі, що актуалізується за результатами вибіркового обстеження і геодезичних вимірів на етапах моніторингу.

Для проведення геодезичних вимірів в умовах щільної міської забудови розроблена технологія ПК-зйомки при обмеженому доступі до об'єкту моніторингу, в основі якої лежить використання сферичних світлоповертаючих марок, що дозволяють здійснювати стійкі виміри при будь-яких кутах візування, що розширює можливості ПК-зйомки і знижує її трудомісткість в порівнянні з традиційною технологією, заснованою на використанні стандартних плоских марок. Розроблена методика оцінки НДС несучих конструкцій дозволяє обґрунтовано призначати гранично допустимі величини зсувів і відповідних ним параметрів просторових переміщень контрольованих вузлів для конкретної споруди шляхом моделювання можливих варіантів деформаційних дій, а також уточнювати величини гранично допустимих деформацій підстав для приведених в нормативних документах типів конструктивних схем споруд

Список літератури

1. Шерешевский И.В. Конструирование промышленных зданий и сооружений. -М.: «Архитектура-С», 2005.-168.
2. Трепененков Р.И. Альбом чертежей конструкций и деталей промышленных зданий. -М.: Стройиздат, 1980.-284 с.
3. Коргин А.В. Мониторинг изменения напряженно-деформированного состояния строительных конструкций зданий и сооружений на основе МКЭ-анализа пространственно-координатных моделей/ А.В. Коргин, М.А. Коргина, И.И. Ранов, Д.А. Поляков // Вестн. Моск. гос. строит. ун-та. – 2007. – №4. – С.83-87.

А.Мажейка

Мониторинг технического состояния несущих конструкций зданий и сооружений

В статье описано проведение исследований с помощью методики оценки напряженно-деформированного состояния несущих конструкций и сооружений, склонных к влиянию неравномерных деформаций основания в процессе мониторинга их технического состояния с использованием современных информационных технологий получения и обработки данных, в состав которого входят избирательное наблюдение технического состояния конструкции, геодезические исследования объемных деформаций сооружения, численный анализ изменения НДС несущих конструкций методом конечных элементов (МКЭ).

A. Mazheika

Monitoring of the technical state of bearings constructions of buildings and

In the article, conducting of researches is described by the method of estimation tensely-deformed the states of bearings constructions and buildings, feel like influencing uneven deformations grounds in the process of monitoring of their technical state with the use of modern information technologies of receipt and treatment of information, in the complement of which electoral supervision of the technical of construction, geodesic researches of volume deformations , numerical analysis of change ETD bearings the constructions method of enters elements (MEE).

Одержано 15.06.10