

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Київський національний університет будівництва і архітектури

**АВТОМАТИЗОВАНІ ВИМІРЮВАЛЬНІ СИСТЕМИ
У БУДІВНИЦТВІ**

Методичні вказівки
до виконання розрахунково-графічної роботи
для здобувачів другого (магістерського рівня) вищої освіти
спеціальності 174 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані
технології та робототехніка»

Київ 2025

УДК 31.264

A18

Укладачі: А. В. Заприво́да, канд. техн. наук, доцент,

С. В. Іносов, канд. техн. наук, доцент,

В. Ю. Луценко, канд. техн. наук, доцент

Рецензент Г. М. Голенков, канд. техн. наук, доцент

Відповідальний за випуск А. В. Заприво́да, канд. техн. наук,
доцент

*Затверджено на засіданні кафедри автоматизації
технологічних процесів, протокол № 8 від 18 березня 2025 року.*

В авторській редакції.

Автоматизовані вимірювальні системи у будівництві [Електронний ресурс]: методичні вказівки до виконання розрахунково-графічної роботи /уклад.: Заприво́да А.В., Іносов С.В., Луценко В.Ю. – Київ: КНУБА, 2025. – 20 с.

Розглянуто особливості будови автоматизованих вимірювальних системи в будівництві, проведено аналіз їх функцій та принципів проектування. Запропонована тематика розрахунково-графічних робіт, в рамках якої пропонується створити проект вимірювальної системи для вирішення задач промислової автоматизації в будівельній галузі.

Призначено для студентів спеціальності 174 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка».

© КНУБА, 2025

ЗМІСТ

Загальні положення.....	4
1. Автоматизовані системи моніторингу будівель і споруд	5
1.1. Локальні критерії виявлення пошкоджень.....	9
1.2. Глобальні критерії виявлення пошкоджень	100
2. Правила оформлення розрахунково-пояснювальної записки.....	166
3. Перелік завдань на розрахунково-графічну роботу.	17
Список літератури	19

ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ

Сучасний етап розвитку будівельної галузі характеризується стрімким впровадженням новітніх технологій, які дозволяють підвищити точність, ефективність та якість виконання будівельних процесів. Одним із ключових напрямків у цьому контексті є використання автоматизованих вимірювальних систем (АВС), які відіграють важливу роль у забезпеченні високої точності вимірювань, оптимізації виробничих процесів та зниженні витрат на будівництво. Автоматизовані вимірювальні системи стали невід'ємною частиною сучасних будівельних технологій, що дозволяють інженерам та будівельникам отримувати достовірні дані в реальному часі, швидко реагувати на зміни в умовах будівництва та приймати обґрунтовані рішення.

Основною метою автоматизованих вимірювальних систем у будівництві є забезпечення високої точності вимірювань, моніторинг стану будівельних конструкцій та контроль якості виконання робіт. Ці системи дозволяють інтегрувати дані з різних джерел, таких як геодезичні прилади, датчики, лазерні сканери та інші вимірювальні інструменти, у єдину інформаційну систему. Завдяки цьому інженери можуть отримувати комплексну картину стану будівельного об'єкта, аналізувати динаміку змін та прогнозувати можливі ризики.

1. Автоматизовані системи моніторингу будівель і споруд

Зростаюча стурбованість станом існуючих структур мотивувала численні дослідження щодо виявлення пошкоджень з використанням різних методів неруйнівного оцінювання, які дозволяють зменшити кількість дострокових, позапланових, не прогнозованих, або навіть катастрофічних завершень життєвих циклів споруд, за рахунок вчасного виявлення прихованих дефектів конструкції і відповідного ремонту.

Традиційно одним з основних засобів моніторингу стану конструкцій є епізодичний візуальний огляд з виявленням видимих дефектів: тріщин, відшарувань, корозії, а також геометричних спотворень. Проблема в тому, що в конструкції можуть бути приховані дефекти, які не помітні при спостереженні. Тому інспектору допомагають численні переносні технічні засоби, в тому числі автоматизовані, що використовують методи неруйнівного контролю. Але така перевірка трудомістка, витратна і небезпечна. Крім того, виявляються, в основному, тільки локальні дефекти. Але інспектори значно перевищують існуючі комп'ютерні системи за рівнем досвіду, інтелекту і мобільності, що є великою перевагою, і обійтися без них поки що неможливо.

Останнім часом, поряд з епізодичними випробуваннями переносними технічними засобами стала застосовуватися безперервна діагностика технічного стану конструкцій, з використанням спеціально розроблених, вбудованих в споруду, автоматизованих систем моніторингу. За кордоном їх називають системами моніторингу здоров'я конструкцій «Structural Health Monitoring – SHM». Це відносно новий і перспективний інженерний напрямок.

Автоматизована система моніторингу нагадує нервову систему людини. Система моніторингу складається з мережі датчиків для збору інформації (аналог нервової системи) і аналізуючого центру обробки інформації і прийняття рішень (аналог мозку).

Автоматизовані системи моніторингу здійснюють функцію контролю за фізичними параметрами конструкцій будівель і споруд, на які вони встановлені, в режимі реального часу. Отримані дані постійно порівнюються з заданими межами. У разі виявлення критичних відхилень від норми, відбувається оповіщення чергових диспетчерських служб (при необхідності). Це дозволяє забезпечити безпечну експлуатацію будівель і споруд за рахунок своєчасного виявлення та ремонту дефектних зон; заощадити на капітальному ремонті і відновленні конструкцій.

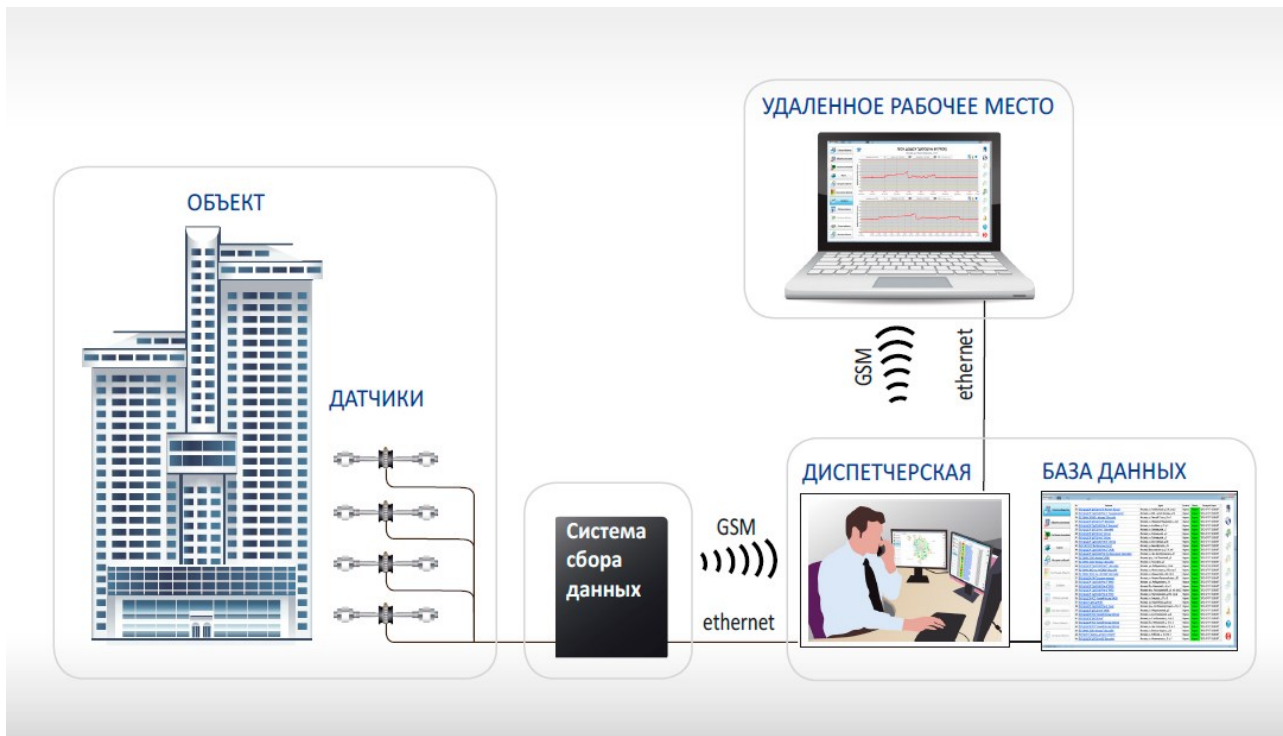


Рис. 1 Структурна схема типової системи моніторингу будівель (споруд)

Типова система моніторингу включає набір датчиків різного призначення (тензометри, акселерометри, інклінометри, датчики переміщення, температури, деформації і т.п.) в критичних точках споруди, пристрої збору даних з датчиків (реєстратори), сервери для обробки і зберігання даних, набір програм, які призначені для управління процесом збору даних, їх зберігання в базі даних, обробки даних з використанням спеціальних процедур і алгоритмів.

Використання спеціально розроблених для даної споруди вбудованих автоматизованих систем є сучасним рівнем автоматизації моніторингу унікальних і висотних будівель; великопрольотних об'єктів (мости, споруди); протяжних об'єктів (тунелі, нафто-і газопроводи); потенційно небезпечних об'єктів (атомні електростанції, гідроелектростанції, промислові комплекси), стратегічних об'єктів (військова і авіакосмічна інфраструктура). Зарубіжний досвід використання таких систем показує, що їх вартість може досягати 1 - 3% від вартості об'єкта.

Однак, для рядових, масових споруд сучасним рівнем ще довго буде залишатися відносно дешевий епізодичний плановий моніторинг, здійснюваний інспекторами, методами візуального та неруйнівного контролю, з використанням переносних технічних засобів, в тому числі автоматизованих. Даний метод контролю не розглядається як

альтернативний, а є основним і обов'язковим елементом загальнодоступної системи моніторингу. Цей напрямок також інтенсивно розвивається.

Величезні потоки вхідної інформації в системах моніторингу потребують складної алгоритмічної обробки для ідентифікації поточного стану конструкції (що поки є лише частково вирішеною проблемою). Результатом цієї процедури повинна бути періодично оновлена інформація про здатність конструкції продовжувати виконання своїх функцій з урахуванням неминучого старіння і деградації (але надійність цієї інформації не гарантована). На підставі отриманого результату повинні прийматися оперативні рішення щодо ремонту або зміцнення конструкції для продовження безпечної експлуатації. А як виконати зміцнення, якщо це не передбачено проектом? Проектувати і будувати заново? Так як вартість моніторингу дешевше, ніж економічні наслідки несподіваних аварій, вважається, що масове впровадження систем моніторингу споруд і конструкцій повинне внести істотний внесок в зміцнення економіки нашої країни. Так виглядає ідея моніторингу в ідеалі. Але на практиці не все так просто.

Моніторинг технічного стану споруд є на сьогоднішній день вже досить поширеним інженерним заходом, але його зміст трактується і реалізується по-різному. Поки ще не повністю вирішеними системними проблемами моніторингу на сучасному етапі є:

1. Відсутність єдиного підходу до питання: «що необхідно вимірювати?» (Вибір складу інструментальних засобів і методики проведення вимірювань);

2. Відсутність єдиного підходу до питання: «як трактувати результати вимірювання?» (Методика трактування одержуваної в процесі моніторингу інформації для прогнозування розвитку аварійної ситуації).

3. Неможливість гарантованого, точного прогнозу подальшої поведінки споруди.

4. Відсутність єдиного підходу до питання, як виправляти виявлені дефекти, якщо вони дійсно суттєві і очевидні. В проектах ніколи не передбачаються запасні варіанти на такі випадки.

Поки що, для кожного конкретного випадку, прийняття рішення про склад інструментальних засобів і методикою проведення моніторингу технічного стану споруди вимагає індивідуального, нестандартного підходу. Розробка універсальної методики автоматизованого моніторингу технічного стану широкого спектру будівель і споруд на сьогоднішній день

далека від завершення і є комплексною науково-технічним завданням, що охоплює різні наукові і методичні аспекти.

Від стаціонарних будівельних систем моніторингу зараз, за замовчуванням, очікуються нереально високі можливості по довговічності, надійності і достовірності інформації. Справа в тому, що будівельні об'єкти розраховані на тривалий термін експлуатації, вимірюваний десятками і навіть сотнями років, а події, що призводять до критичних ситуацій, можуть тривати секунди і мають дуже малу ймовірність, що вимірюється тисячними частками відсотка. Саме на гарантовану ідентифікацію цих часток відсотка повинна бути націлена система безперервного моніторингу. В іншому випадку вона втрачає сенс. Але саме гарантій система моніторингу не дає, як не парадоксально. Взагалі, сама ідея контролювати більш надійну систему (будівлю) з допомогою менш надійної викликає деякі сумніви і питання. Наприклад, через двадцять років споруда ще буде вважатись новою, а інформаційна система безнадійно застаріє навіть морально. Як проводити її модернізацію? Що робити з датчиками і кабелями, залитими бетоном? Поки що розрахункові терміни експлуатації споруд значно більші, ніж реальні терміни експлуатації відповідних систем моніторингу, і досвід щодо надійності останніх ще не накопичено. Для дійсно надійних споруд (наприклад, єгипетських пірамід) системи моніторингу - це безглузде марнотратство. Якщо ж ми закладаємо ще на стадії проектування будівлі вбудовану стаціонарну систему моніторингу, чи не є це признанням, що в проекті споруди прийняті інноваційні, унікальні, неперевірені рішення, які ще треба перевіряти на практиці, що робить дану споруду експериментальною, ризикованою, ненадійною ще в проекті? А ненадійним спорудам, як показує досвід, моніторинг допомагає мало. Чи не прикриває ідея моніторингу просто погіршення якості проектування, будівництва і експлуатації? Відоме мудре висловлення спеціаліста в галузі управління і прогнозування в складних динамічних системах д.т.н., проф. А. А. Мусаєва: "Автоматизація - це спроба спростити життя шляхом його ускладнення". Чи не ускладнимо ми собі життя без нагальної потреби масовим впровадженням систем моніторингу і переведенням всіх споруд в статус експериментальних і ризикованих? Всі ці питання поки що залишаються дискусійними.

1.1. Локальні критерії виявлення пошкоджень

Методи локального виявлення пошкоджень - це візуальний огляд або локалізовані експериментальні неруйнуючі методи. Всі локальні методи вимагають, щоб очікувана зона пошкодження була відома і доступна для дослідження. Ці методи можуть виявляти пошкодження на поверхні або поблизу поверхні конструкції в обмеженій зоні. Всі вищенаведені приклади датчиків реалізують саме локальні вимірювання в певних точках споруди. Основною діагностичною ознакою при локальному вимірюванні (наприклад, напруженого стану матеріалу) є перевищення допустимого рівня якоюсь фізичною величиною (наприклад, напружений стан матеріалу).

Спочатку методики локального неруйнівного контролю були впроваджені в цивільному будівництві протягом 1940-х років. Для металів і металевих сплавів локальні проблеми, що виникають, як правило, викликані тріщинами. Отже, не дивно, що методи неруйнівного контролю, розроблені для металів, призначені для виявлення тріщин.

На відміну від металів, бетон - це композитний матеріал, що виробляється з різних інгредієнтів. Він містить з самого початку велику кількість дефектів, у вигляді порожнин, розшарувань, тощо, а також є матеріалом, механічні властивості якого не є строго відтворюваними, навіть за найкращих умов. Крім того, у процесі експлуатації бетону з'являються і розвиваються різні деградації, що призводить до втрати конструктивного потенціалу цього матеріалу. Більшість методів дефектоскопії бетону (визначення твердості по відскоку бойка, по силі витягування анкера, і т.п.) базувалися на вимірюванні поверхневої твердості бетону.

З поступовим старінням конструкцій потреби інженерів розвивалися до пошуку засобів, що дозволяють виявляти приховані локальні дефекти. Цей запит послужив початком появи багатьох методів дослідження в будівельній галузі приблизно з 1970-х років. Доступні локалізовані експериментальні методи, що використовуються, включають в себе ультразвукові методи, методи електромагнітного поля, рентгенівські методи, методи вихрових струмів, методи теплового поля. тощо. Розглянемо їх більш детально пізніше.

Локальні неруйнівні методи мають деякі обмеження, такі як:

(1) результати з однієї (локальної) зони структури не обов'язково репрезентують стан інших областей

(2) необхідно проводити вимірювання у дуже великій кількості точок, щоб мати хоч частково адекватне уявлення про глобальний стан конструкції.

Методи неруйнівних методів локального контролю, які зазвичай використовуються для локалізованої оцінки великих конструкцій, не працюють, якщо вони використовуються для повної оцінки глобальної функціональності споруди.

Уявлення, ніби для діагностики стану споруди достатньо контролювати напружений стан матеріалу несучих конструкцій в деяких незалежних локальних точках, є некоректним. Концепція діагностики конструкції тільки на локальному рівні аналогічна спробі аналізу здоров'я живого організму тільки на клітинному рівні. Проблема в тому, що сильно навантажені елементи (концентратори напружень) дуже нечисленні, заздалегідь невідомі (їх ніхто не закладає в проект спеціально), малі за розмірами і зазвичай приховані. При спробі реалізації системи моніторингу тільки на локальному рівні можна отримати систему збору величезної кількості непотрібної інформації, що вводить в оману при прийнятті відповідальних рішень. Фатальна тріщина може почати розвиватися в точці, де немає датчиків, і привести до катастрофи, незважаючи на оптимістичний прогноз дорогої системи моніторингу.

1.2. Глобальні критерії виявлення пошкоджень

Діагностичні можливості системи покращаться, якщо доповнити її використанням інтегральних (глобальних) критеріїв, що визначають поведінку всієї конструкції, як єдиного цілого.

Враховуючи вищезазначені обмеження локалізованих експериментальних методів виявлення пошкоджень, альтернативним підходом є той, що використовує глобальні показники. При цьому інколи вдається обмежитись сигналами з декількох локальних датчиків, але з урахуванням їх перехресних взаємодій.

На даний момент основними методами глобального виявлення дефектів, які можуть бути застосовані до складних конструкцій в цілому, є аналіз зміни динамічних чи статичних реакцій конструкцій на зовнішні впливи. Ці методи реалізуються відносно просто, збирання і обробка даних легко автоматизуються.

Динаміку будь-якої конструкції можна представити як суму декількох колективних поведінок всіх елементів конструкції. Ці колективні поведінки

дуже прості. Вони являють собою синусоїдальні коливання різних частот, які називаються власними формами (або модами) коливань конструкції. Для прикладу розглянемо власні коливання балки (рис.).

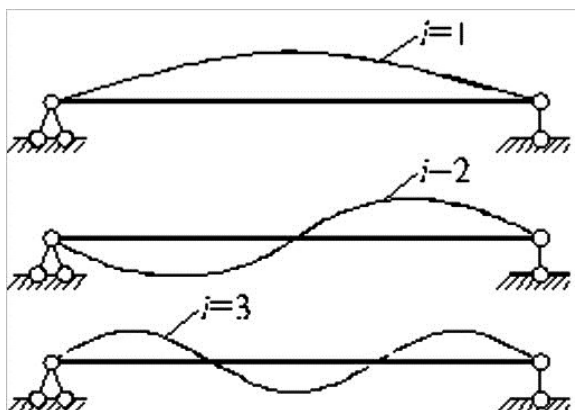


Рис. 2. Власні форми (моди) поперечних коливань балки

Криві лінії на малюнку показують форму зігнутої осі балки при максимальному відхиленні коливань і називаються власними формами (модами) коливань. Найнижчу частоту має перша власна форма коливань ($i = 1$). Друга власна форма ($i = 2$) має більш високу частоту коливань. Третя власна форма ($i = 3$) має ще більш високу частоту коливань і так далі. При ударі по конструкції в довільній точці збуджуються всі власні форми коливань, і результуючий рух балки являє собою просто суму повільно затухаючих синусоїдальних коливань декількох основних власних частот. Наприклад, при ударі по дзвону в ньому збуджуються власні коливання на дуже багатьох частотах, які в сумі дають чарівний тембр звуку. На цьому ж прикладі можна дуже наглядно продемонструвати ідею технічної діагностики динамічними методами. Якщо дзвін тріснутий, його тембр звуку настільки погіршується, що це помітить навіть непрофесіонал. З іншого боку, контрольні вимірювання пружності і міцності металу навіть в сотні локальних точках дзвону нічим не допоможуть нам діагностувати пошкодження.

З різних глобальних методів технічної діагностики споруд, запропонованих на сьогоднішній день, моніторинг на основі вібрацій (коливань) привертає найбільшу увагу. Основна передумова вібраційного моніторингу полягає в тому, що зміни конструктивних характеристик будь-яких елементів конструкції, вплинуть на глобальні коливальні характеристики всієї конструкції. Будь-яке зменшення пружності конструктивних елементів призведе до зменшення власних частот, зміни власних форм коливань. Процеси тріщиноутворення, розшарування тощо,

призведуть до збільшення втрат енергії під час пружних деформацій. У результаті, резонансні властивості конструкції погіршаться, затухання власних коливань збільшиться.

Виникає питання, як збудити коливання власних форм в досліджуваній конструкції з метою їх аналізу? При випробуванні споруд для цього використовуються спеціальні машини вібраційного або ударного збудження. Вібраційний збудник (наприклад, електродвигун з дебалансами) дозволяє розгойдати конструкцію в резонансному режимі на власних частотах (по черзі). Ударний збудник (наприклад, мікровибух) дозволяє збудити власні затухаючі коливання на всіх частотах відразу. Це окремий інженерний напрямок, який називається «Випробування споруд і конструкцій». Він виходить за межі нашого курсу, бо ми вивчаємо моніторинг в умовах звичайної експлуатації. Мається на увазі, що ніхто не дозволить нам евакуювати людей з будівлі і піддавати її вібраційним або ударним збудженням. Єдиний шлях, який залишається нам, - аналізувати частотний спектр природних випадкових вібрацій споруди, викликаних природними зовнішніми причинами, наприклад, рухом транспорту, поривами вітру, сейсмічними впливами і т. п.

Виникає інше питання – з якого датчика записувати осцилограму коливань? В принципі, це не суттєво. Можна записувати вібрації конструкції (акселерометром). Можна записувати напруження якогось елемента конструкції (тензодатчиком). Розташування датчика довільне, але важливо не вибрати місце, де якась основна власна форма коливань має вузол (амплітуда коливань нульова). Краще записувати і аналізувати показання багатьох датчиків в різних місцях, тоді можна виявити форму власних коливань (як співвідношення амплітуд коливань з різних датчиків).

Типовий вид амплітуди-частотного спектра природних випадкових коливань споруди наведено на рис. . Його можна обчислити, застосувавши алгоритм перетворення Фур'є до осцилограми коливань споруди, записаної в реальному часі (з будь-якого датчика).

Для амплітудо-частотного спектра випадкових коливань (вібрацій) конструкції характерна наявність резонансних піків (інша частина графіка несуттєва). Відповідні частоти f_1 , f_2 , f_3 ... і будуть власними частотами конструкції. Зменшення деяких власних частот є важливою діагностичною ознакою, що вказує на ослаблення якихось внутрішніх пружних зв'язків в конструкції.

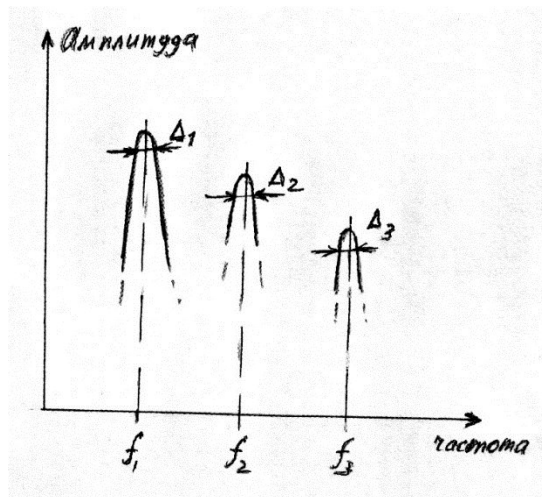


Рис. 3. Типовий вид амплітуди-частотного спектра природних випадкових коливань споруди

Збільшення коефіцієнта демпфування за деякими власними формами є другою важливою діагностичною ознакою, що вказує на збільшення втрат енергії при пружних деформаціях через утворення тріщин, розшарування і т.п. Коефіцієнт демпфування D_i для i -ї власної форми можна обчислити як відношення ширини резонансного піка до власної частоти.

$$D_i = \frac{\Delta_i}{f_i}.$$

Ширину резонансного піка Δ_i , як правило, вимірюють на рівні 0.71 від висоти піка.

Зміна форми власних коливань (тобто співвідношень амплітуд, що реєструються різними датчиками), теоретично, дозволяє діагностувати місце в конструкції, де знаходиться дефект.

Важливою діагностичною ознакою є також відхилення власних частот і коефіцієнтів демпфування від теоретичних (розрахункових) значень. Це може свідчити, наприклад, про помилки або дефекти монтажу (відсутність якихось зварних швів, незатягнуті болти, тощо).

Ще одним глобальним методом виявлення пошкоджень є аналіз реакції на статичне навантаження. Одним з наслідків розвитку пошкодження є зниження локальної пружності, що в свою чергу призводить до змін статичних реакцій всієї конструкції.

Виникає питання, як прикласти пробне статичне навантаження до досліджуваної конструкції з метою її аналізу? При випробуванні споруд це нетривіальна задача. Але, як відмічалось вище, в межах нашого курсу залишається тільки одна практична можливість - аналізувати статичну реакцію споруди на природні зовнішні статичні навантаження, наприклад,

на вагу самої конструкції. Так, знаменита Пізанська вежа (рис.) нахилилася за рахунок нерівномірного просідання фундаменту під дією ваги споруди.

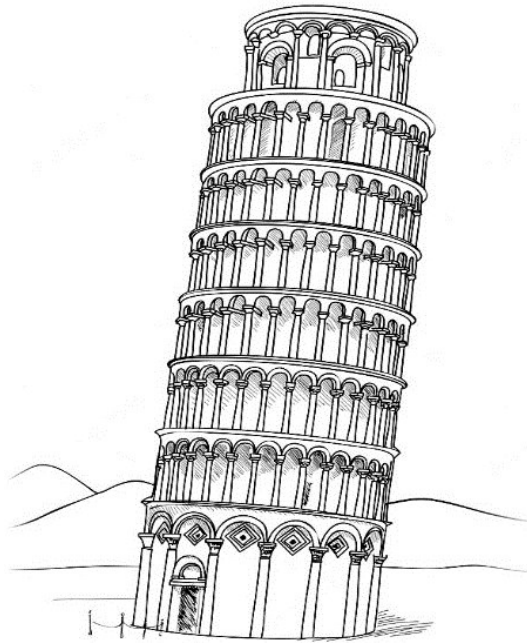


Рис. 4. Пізанська вежа

Діагностичною ознакою може бути зміна статичної реакції з часом. Нахил Пізанської вежі з часом зростав, що є дуже поганою діагностичною ознакою. Саме тому були прийняті заходи по укріпленню її фундаменту. Моніторити подібний дефект можна дуже легко з допомогою інкліноміру (датчик нахилу). Рис. ілюструє, що використання ланцюжка інкліномірів на різних рівнях споруди дозволяє, крім того, моніторити викривлення вертикальної осі споруди. Важливою діагностичною ознакою може бути відхилення статичної реакції споруди від теоретичної (розрахункової) моделі. Так, викривлення осі споруди може свідчити про якісь монтажні дефекти чи помилки.

Може здатися, що прогрес науки і техніки виключає можливість повторення помилки з Пізанською вежею, але це не так. На рис. показана Вежа Тисячоліття висотою 58 поверхів, найвища і найпрестижніша залізобетонна споруда в Сан-Франциско. Вона отримала назву «Падаюча вежа Сан-Франциско».



Рис. 5. Вимірювання нахилу і викривлення споруди ланцюжком інклинометрів



Рис. 6. «Падаюча вежа Сан-Франциско»

В 2016 році незалежна інспекція виявила, що споруда просіла на 16 дюймів і нахилилась на 2 дюйми з моменту введення в експлуатацію в 2008 році. В 2018, за два роки, споруда просіла ще на один дюйм і *нахилилась ще на 12 дюймів!* Це швидше, ніж у Пізанської вежі, і темп нахилу прискорюється. Внаслідок швидкого просідання виникла підозра, що фасад будівлі відокремлюється від основної частини, що робить її вразливою до землетрусів. (Сан-Франциско розташовано в сейсмо-небезпечній зоні). В стінах споруди з'явилися тріщини. Спостерігається несподіване руйнування скла у вікнах верхніх поверхів. Уламки скла падають на тротуар.



Рис. 7. Тріщини в стінах з встановленими датчиками їх розширення

Резиденти схвильовані з приводу своїх статків. Коли споруда була введена в експлуатацію, апартаменти коштували від \$1.6 до \$10 мільйонів. Зараз ціна впала в середньому на \$320 тисяч. Це викликало низку судових позовів від асоціації власників. Хоча ведеться пасивний моніторинг споруди, він ніяк не може вплинути на її подальшу долю. Залишається тільки сподіватися на краще. Це, на жаль, відноситься майже до всіх діючих систем моніторингу хмарочосів.

2. Правила оформлення розрахунково-пояснювальної записки

Розрахунково-графічна робота друкується на аркушах формату А4 і повинна відповідати за своїм змістом і оформленням усім вимогам до оформлення документації та звітів у сфері науки та техніки – ДСТУ 3008-95.

У розрахунково-графічній роботі слід застосовувати стандартизовані одиниці фізичних величин, їх найменування і позначення.

Абзаци в тексті починають з відступом, рівним 15-17мм. Рекомендовані параметри при використанні текстового редактора

WORD:

- шрифт Times New Roman;
- кегель - 14;
- абзацний відступ 1,25см;
- міжрядковий інтервал - 1,5.

Ілюстрації (креслення, рисунки, графіки, схеми, діаграми, фотознімки) слід розміщувати безпосередньо після тексту, де вони

згадуються вперше або на наступній сторінці. На всі ілюстрації мають бути посилання у пояснювальній записці.

Розрахунково-графічна робота допускається до захисту, якщо вона не містить помилок принципового характеру і робота задовольняє перерахованим вимогам з оформлення.

Якщо розрахунково-графічну роботу повернено на доопрацювання, то усі виправлення мають бути зроблені студентом в тій же розрахунково-пояснювальній записці після зауважень рецензента.

Після отримання допуску до захисту роботи, треба вивчити усі зауваження рецензента і виправити помилки, виконавши необхідні записи на чистих (чи вклеєних) аркушах.

3. Перелік завдань на розрахунково-графічну роботу

Розрахунково-графічна робота повинна містити в собі:

- 1) технічне завдання, де повинні бути надані чисельні значення усіх параметрів та коефіцієнтів, використуваних при проектуванні приладу для вимірювання відповідного технологічного параметру;
- 2) аналіз сучасних методів вимірювання заданого технологічного параметру, їхні переваги та недоліки;
- 3) вибір методу вимірювання заданого технологічного параметру;
- 4) розробка і опис структурної схеми приладу для вимірювання заданого технологічного параметру;
- 5) розробка електричної схеми цього приладу, вибір елементної бази і її обґрунтування;
- 6) розрахунок блоків, які входять до цієї електричної схеми;
- 7) оцінка похибки вимірювання технологічного параметру спроектованим пристроєм;
- 8) список використаної літератури.

Варіанти завдання до розрахунково-графічних робіт

1. Вимірювання температури з використанням електричних термометрів опору.
2. Вимірювання температури з використанням термоелектричних термометрів.

3. Вимірювання температури з використанням ультразвукових термометрів.
4. Вимірювання переміщення з використанням реостатних перетворювачів.
5. Вимірювання переміщення з використанням індуктивних перетворювачів.
6. Вимірювання переміщення з використанням трансформаторних перетворювачів.
7. Вимірювання переміщення з використанням ємнісних перетворювачів.
8. Вимірювання переміщення з використанням магнітострикційних перетворювачів.
9. Вимірювання рівнів рідин.
10. Вимірювання тиску.
11. Вимірювання механічних сил за допомогою тензодатчиків;
12. Вимірювання інтервалу часу методом послідовної лічби, де $T_x = 100 \text{ мксек}$, $N < 1/1000$.
13. Вимірювання інтервалу часу методом електронного ноніусу, де $T_x = 10 \text{ мксек}$, $N < 1/1000$.
14. Вимірювання інтервалу часу методом затриманих збігів, де $T_x = 5 \text{ мксек}$, $N < 1/1000$.
15. Вимірювання частоти методом послідовної лічби.
16. Вимірювання частоти з використанням методу затриманих збігів.
17. Вимірювання напруги з проміжним перетворенням його в інтервал часу.
18. Перетворення напруги у цифровий код.
19. Перетворення інтервалу часу у цифровий код, де $T_x = 1 \text{ мксек}$, $N < 1/1000$.
20. Перетворення інтервалу часу у цифровий код, де $T_x = 0,5 \text{ мксек}$, $N < 1/1000$.
21. Перетворення фази у цифровий код.
22. Вимірювання деформації поверхні конструкції.
23. Вимірювання швидкості переміщення.
24. Вимірювання параметрів обертового руху.
25. Вимірювання витрат рідких та газоподібних речовин за перепадом тиску.
26. Вимірювання витрат з використанням турбіни.
27. Вимірювання теплових витрат.

Список літератури

1. *Шикалов В.С.* Технологічні вимірювання: навч. посібник / Шикалов В.С. – К.:Кондор, 2007. – 168с.
2. *Шевчук В.П.* Цифрові вимірювальні системи в інженерній практиці: навч. посібник / В.П. Шевчук, Р.М. Ковальський. – Харків : Харківський національний університет будівництва та архітектури, 2022. – 204с.
3. *Ткачук В.М.* Автоматизація вимірювань у будівельній механіці: навч. посібник / В.М. Ткачук, О.В. Гончарук. – Київ: Вид-во "Київський університет", 2018.
4. *Мельник П.І.* Автоматизовані системи моніторингу будівельних конструкцій: підручник / П.І. Мельник, В.О. Захарченко. – Київ.: Наукова думка, 2019.
5. *Бойко В.В.* Метрологія та вимірювальна техніка в будівництві: навч. посібник / В.В. Бойко, О.М. Ткаченко – Київ: .Техніка.", 2017.
6. *Ковальчук О.І.* Цифрові технології в будівництві: від ВІМ до автоматизованих вимірювань / А.В. Марченко, О.І. Ковальчук. – Харків: Факт, 2019.

Навчально-методичне видання

АВТОМАТИЗОВАНІ ВИМІРЮВАЛЬНІ СИСТЕМИ У БУДІВНИЦТВІ

Методичні вказівки
до виконання розрахунково-графічної роботи
для здобувачів другого (магістерського рівня) вищої освіти
спеціальності 174 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані
технології та робототехніка»

Укладачі: **Запривода Андрій Віталійович,**
Іносов Сергій Вікторович,
Луценко Вадим Юрійович,

Комп'ютерне верстання *А. П. Селівестрової*

Ум. друк. арк. 1,16. Обл.-вид. арк. 1,25.
Електронний документ. Вид № 60/V-25.

Виконавець і виготовлювач

Київський національний університет будівництва і архітектури
Проспект Повітряних Сил, 31, Київ, Україна, 03037

Свідоцтво про внесення до Державного реєстру суб'єктів
видавничої справи ДК № 808 від 13.02.2002 р