

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Київський національний університет будівництва і архітектури

АВТОМАТИЗОВАНІ ВИМІРЮВАЛЬНІ СИСТЕМИ У БУДІВНИЦТВІ

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

Київ 2025

УДК 31.264

A50

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 в будівництві:

A50 [Електронний ресурс] : методичні вказівки до виконання практичних
занять / уклад. : А. В. Заприво́да, С. В. Іносов, В. Ю. Луценко. – Київ:
КНУБА, 2025. – 32 с.

Містить узагальнення теоретичних і практичних основ
проектування та розробки автоматизованих вимірювальних систем в
будівництві. Особливу увагу приділено питанням застосування як
окремих сенсорів так і використання спеціалізованих вимірювальних
систем для вирішення задач моніторингу будівельних конструкцій та
споруд.

Призначено для здобувачів другого (магістерського рівня)
вищої освіти спеціальності 174 «Автоматизація, комп'ютерно-
інтегровані технології та робототехніка»

© КНУБА, 2025

ЗМІСТ

ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ.....	4
Практичне заняття 1. Акустична емісія	6
Практичне заняття 2. Застосування GNSS приймача для супутникового геодезичного моніторингу.....	8
Практичне заняття 3. Автоматизовані портативні прилади для моніторингу споруд	10
Практичне заняття 4. Ультразвукова дефектоскопія.....	11
Практичне заняття 5. Томограф ультразвуковий низькочастотний A1040 MIRA.....	13
Практичне заняття 6. Лазерні сканери і тахеометри	15
Практичне заняття 7. Радіолокаційне сканування	19
Практичне заняття 8. Георадіолокація	21
Практичне заняття 8. Моніторинг корозії арматури залізобетону	22
Практичне заняття 9. Тепловізійний контроль будівель.....	28
Список літератури	31

ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ

Сучасний етап розвитку будівельної галузі характеризується стрімким впровадженням інноваційних технологій, які спрямовані на підвищення точності, ефективності та якості виконання будівельних процесів. Одним із ключових елементів цього процесу є використання автоматизованих вимірювальних систем (АВС), які дозволяють здійснювати моніторинг, контроль та управління будівельними об'єктами з високою точністю та мінімальними витратами часу та ресурсів.

Практичні заняття з дисципліни "Автоматизовані вимірювальні системи в будівництві" мають на меті ознайомити студентів з основними принципами функціонування таких систем, їх компонентами, методами інтеграції у будівельні процеси та практичними аспектами їх застосування.

Автоматизовані вимірювальні системи стали невід'ємною частиною сучасного будівництва, оскільки вони забезпечують високу точність вимірювань, оперативний збір даних та їх аналіз, що є критично важливим для прийняття обґрунтованих рішень на всіх етапах будівельного процесу. Вони використовуються для вимірювання геометричних параметрів конструкцій, моніторингу деформацій, контролю якості матеріалів, а також для забезпечення безпеки та надійності будівельних об'єктів. Практичні заняття дозволяють студентам отримати навички роботи з сучасними вимірювальними приладами, такими як лазерні сканери, електронні тахеометри, GPS-приймачі, датчики деформацій та інші інструменти, які входять до складу АВС.

Однією з головних цілей практичних занять є формування у студентів розуміння того, як автоматизовані вимірювальні системи можуть бути інтегровані у будівельні процеси для підвищення їх ефективності. Студенти отримують навички розробляти алгоритми збору та обробки даних, аналізувати отриману інформацію та використовувати її для оптимізації будівельних робіт.

Важливим елементом практичних занять є використання сучасних інформаційних технологій, таких як геоінформаційні системи (ГІС), BIM-технології (Building Information Modeling) та інші інструменти, які дозволяють інтегрувати дані з автоматизованих вимірювальних систем у цифрові моделі будівельних об'єктів. Це дозволяє створювати комплексні моделі, які враховують як геометричні параметри, так і фізико-механічні

характеристики об'єктів, що є важливим для їх подальшого експлуатаційного моніторингу.

Таким чином, практичні заняття з дисципліни "Автоматизовані вимірювальні системи в будівництві" є важливим етапом підготовки сучасних фахівців, які зможуть ефективно використовувати передові технології для підвищення якості та ефективності будівельних процесів. Вони сприяють розвитку у студентів критичного мислення, здатності до самостійного вирішення складних задач та готовності до постійного вдосконалення своїх знань у умовах стрімкого розвитку технологій.

Практичне заняття 1. Акустична емісія

Акустична емісія - випромінювання ультразвукових хвиль, що виникає в процесі пластичної деформації твердих матеріалів (наприклад, бетону), при розвитку в них дефектів, наприклад, тріщин (конструкція «тріщить» під навантаженням). Джерелом акустичного сигналу є сам матеріал, а не зовнішній збудник, тобто метод є пасивним (а не активним, як більшість інших методів неруйнівного контролю).

Акустична емісія має «вибуховий», імпульсний характер; тривалість імпульсів може становити 10^{-8} - 10^{-4} с. Імпульси йдуть один за іншим, потоком. Час виникнення імпульсу і його амплітуда - випадкові. Частотний спектр акустичних імпульсів досить широкий - він простягається від області чутних частот до сотень МГц.

За обсягом контролю метод можна віднести до глобальних. Шляхом установки декількох датчиків локально, можна виконувати контроль всього об'єкта, з визначенням місць виникнення і розвитку дефектів. Це дозволяє використовувати даний метод для контролю недоступних поверхонь і об'ємів. Стаціонарна установка датчиків дозволяє здійснювати безперервний моніторинг об'єкту під час його нормального функціонування.

Основний принцип діагностики полягає в пасивному зборі інформації з багатьох ультразвукових датчиків, і її обробці для подальшої діагностики стану конструкції. Діагностичними ознаками є інтенсивність «тріску» (за кількістю імпульсів в одиницю часу і їх амплітуді) і місце розташування його джерела. Місцезнаходження джерела можна обчислити, знаючи різницю в часі приходу імпульсу до різних датчиків (метод локації).

Метод ультразвукової емісії забезпечує виявлення і реєстрацію тільки дефектів, що розвиваються, а значить, дійсно небезпечних, і оцінює їх не за розмірами, а за ступенем небезпеки, що є перевагою методу. При цьому можливість відстеження глобального технічного стану об'єкта в режимі реального часу, в принципі, дозволяє прогнозувати аварійне руйнування контрольованого об'єкта і забезпечити своєчасну евакуацію людей. Справа в тому, що руйнуванню залізобетонної конструкції, як правило, передують період розвитку дефекту, супроводжуваний інтенсивним утворенням тріщин.

Саме цей процес можна виявити методом акустичної емісії, що є унікальним перевагою методу.

Основним недоліком методу є складність розшифровки результатів контролю, обумовлена тим, що на хвильовий процес акустичної емісії накладаються паразитні акустичні шуми багаторазово відбитих хвиль, шумів від роботи машин і т.п. У міру вдосконалення алгоритмів цифрової обробки цей недолік поступово долається.

В якості приймачів коливань в більшості випадків використовуються п'єзокерамічні перетворювачі. Основним елементом датчика є п'єзоелектричний кристал, що перетворює механічну деформацію в електричний сигнал. Кристал поміщається в спеціальний корпус з денцем і роз'ємом (рис.). Кристал збуджується акустичними хвилями, що потрапляють на денце, і перетворює їх в електричні сигнали. Корпус за звичай заповнюється в'язкою рідиною (маслом) для демпфірування власних коливань кристала і придушення резонансних коливань.

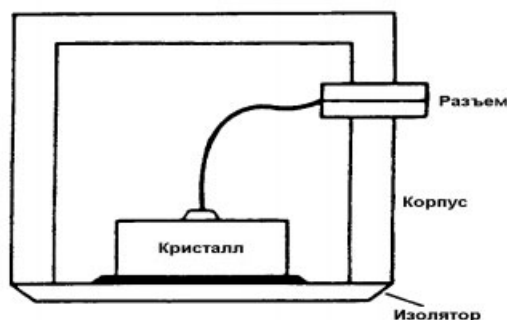


Рис. 1. Типова конструкція датчика ультразвукової емісії

На форму сигналу на виході датчика одночасно впливають багато факторів: наявність багаторазових віддзеркалень звукових хвиль, резонансні властивості самого датчика (резонансна частота кристала має порядок 150 кГц). Осцилограма електричного сигналу має мало спільного з вихідним імпульсом, породженим утворенням тріщини.

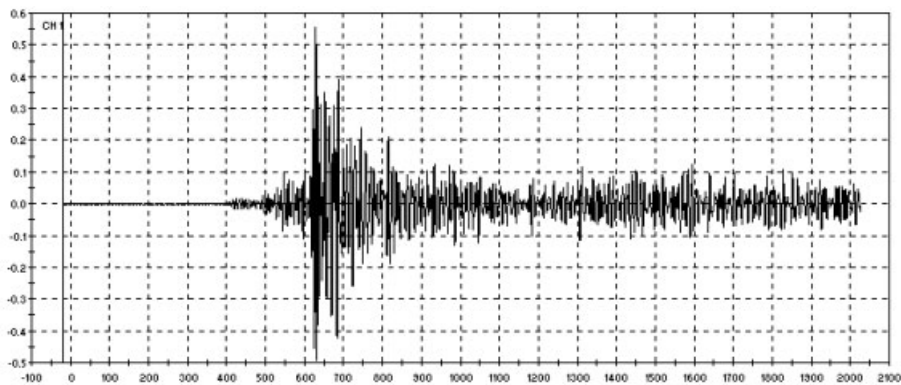


Рис. 2. Типова осцилограма електричного сигналу на виході датчика

Датчик встановлюється на об'єкт контролю за допомогою спеціальних бандажів, магнітних або інших кріплень, при цьому поверхня зіткнення з денцем змащується рідким мастилом. Електричний сигнал надходить на розташований поблизу передпідсилювач, посилюється і на кінцевому етапі реєстрації подається на основну вимірювальну апаратуру.



Рис. 3. Датчик акустичної емісії BC-601 з передпідсилювачем ZET 7140-E

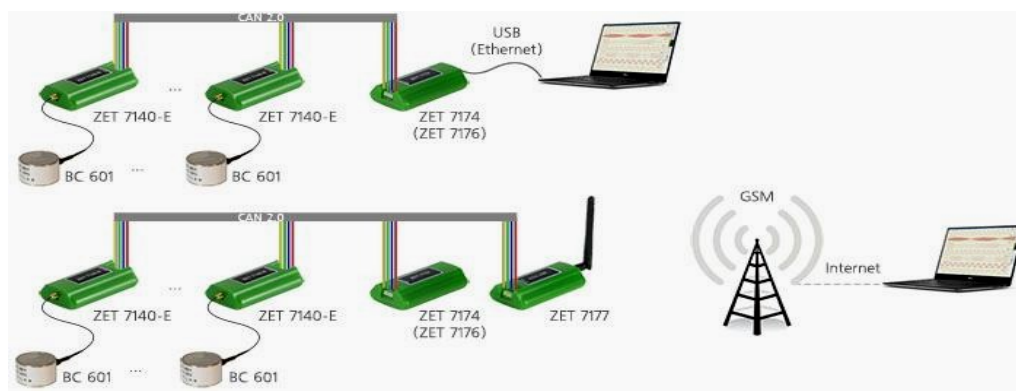


Рис. 4. Організація локальної мережі (дротовий та бездротовий варіанти) для збору інформації з датчиків акустичної емісії

Практичне заняття 2. Застосування GNSS приймача для супутникового геодезичного моніторингу

GNSS (Global Navigation Satellite System) приймачі, що використовують супутникові системи зв'язку GPS, GLONASS, Galileo або BeiDou, застосовуються в безлічі додатків, в тому числі для моніторингу споруд і конструкцій.

Як приклад розглянуто обладнання фірми Leica. Швейцарська фірма Лейка є одним зі світових лідерів в області апаратних і програмних засобів моніторингу.

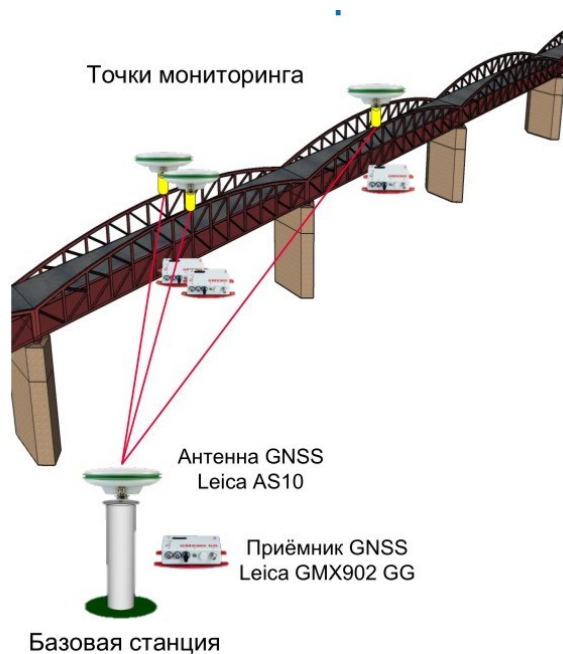


Рис. 5. Типове рішення супутникового геодезичного моніторингу

Завдання, які вирішуються: визначення зсувів в певних точках споруди відносно нерухомої базової станції в режимі реального часу з частотою вибірки до 20 Гц.

Склад обладнання:

- Базова опорна станція (приймач + антена): 1 комплект. Можливе використання найближчої базової станції зі складу опорної геодезичної мережі. Відстань до точок моніторингу має бути не більше 2-3 км.
- Точка моніторингу (приймач + антена): кілька комплектів
- Програмне забезпечення для обробки і управління

Можливі місця установки точок моніторингу: в точках конструкції з найбільшими переміщеннями (від 1 см і більше). Типові місця установки: в середині прольотної будови мостового переходу.

Точність вимірювання:

- У режимі реального часу: до 5 мм в плані / 10 мм по висоті
- У режимі постобробки: до 3 мм в плані / 6 мм по висоті

Типовой комплект GNSS приёмника

Комплект оборудования приёмника
Приёмник Leica GMX902 GG
Антенна Leica AS10
Антенный кабель Leica GEV119 10 м
Кабель передачи данных Leica GEV160
Блок питания 12 В резервированный
Преобразователь интерфейсов
Шкаф электромонтажный



Программное обеспечение
ПО Leica Spider: Базовый комплект
ПО Leica Spider: Лицензии для расчёта в режиме реального времени / 1 приёмник
ПО Leica Spider: Лицензии для расчёта в режиме постобработки / 1 приёмник
ПО Leica GeoMoS Monitor и GeoMoS Analyzer: базовый комплект
ПО Leica GeoMoS Monitor: лицензии за импорт данных из Leica Spider (любое кол-во точек)

Рис. 6. Типовой комплект обладнання для одної точки моніторингу

Характерні особливості супутникового моніторингу:

- Немає залежності від метеоумов
- Залежність точності вимірювань від поточних умов видимості супутників

Практичне заняття 3. Автоматизовані портативні прилади для моніторингу споруд

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. Нажаль, це малопродуктивний метод. Крім того, виявляються, в основному, тільки локальні дефекти. Але інспектори значно

перевищують існуючі стаціонарні комп'ютерні системи за рівнем досвіду, інтелекту і мобільності, що є великою перевагою, і обійтися без них поки що неможливо. Крім того, періодичний моніторинг є на сьогоднішній день менш витратним заходом, ніж безперервний автоматичний моніторинг. Даний метод контролю не розглядається як альтернативний, а є доповнюючим і обов'язковим елементом загальної системи моніторингу. Тому автоматизація переносних технічних засобів моніторингу – це дуже перспективна галузь, що інтенсивно розвивається по багатьом напрямкам. Розглянемо деякі з них.

Практичне заняття 4. Ультразвукова дефектоскопія

На відміну від ультразвукової емісії, ультразвукова дефектоскопія є активним методом контролю. Ультразвукові імпульси збуджуються в контролюємому матеріалі (наприклад, бетоні) спеціальним випромінювачем (як правило, п'єзоелектричним).

На сьогоднішній день ультразвуковий неруйнівний контроль набув широкого поширення при моніторингу якості залізобетонних конструкцій. Ультразвукові хвилі - єдиний вид випромінювання, що реагує за своєю природою на різні фізичні проблеми структури бетону. Це порожнечі в місцях густого армування або неуцільнені області з поганим зчепленням цементного каменю з заповнювачем і арматурою, усадочні тріщини, низькоміцні сторонні включення, які випадково потрапили в бетон. Такі властивості ультразвукового неруйнівного моніторингу, як можливість контролю при односторонньому доступі до об'єкта, відносно висока дефектоскопічна чутливість, зручність використання апаратури в польових умовах, - робить цей вид контролю дуже поширеним.

У процесі спорудження конструкції, як правило, виконують ультразвукову дефектоскопію наскрізним прозвучуванням на всю глибину, коли випромінювачі і датчики розташовують з різних сторін тестованого виробу. Але в процесі експлуатації такий контроль вже, як правило, технічно не можна реалізувати. Вирішити цю проблему моніторингу може апаратура, що дозволяє проводити дефектоскопію бетонних конструкцій при односторонньому доступі, коли випромінювачі і датчики розташовані з одного боку. Така апаратура ґрунтується на методах віддзеркалення ультразвукових хвиль, тобто на аналізі відбитих ехосигналів, що прийшли з

глибини матеріалу. В цих сигналах, в принципі, міститься інформація про координати, розміри і навіть властивості дефектів, які потрібно виявити. Однак витягти корисну інформацію з луна-сигналу дуже важко. Причини в тому, що бетон і тим більше залізобетон має дуже неоднорідну внутрішню структуру. Внутрішня будова бетону - це безліч безформних частинок з різних мінералів з розмірами від одиниць до десятків міліметрів, дотичних між собою, проміжний простір між якими заповнено цементним каменем. Ультразвукові коливання можуть поширюватися в такому середовищі на достатні для практики відстані, якщо частота коливань відносно низька. Але на низьких частотах, дефекти бетону, які потрібно виявляти, сумірні з довжиною хвилі ультразвуку і практично не віддзеркалюють його. Мінімальні розміри дефектів сорозмірні з розмірами крупного заповнювача бетону, тобто 20 - 70 мм. Реально можна використовувати досить вузький діапазон частот від 20 до 150 кГц. Мало того, одною з головних перешкод для отримання корисної інформації з відбитого акустичного сигналу є шум багаторазових відображень ультразвуку від зерен структури бетону. Цей специфічний шум не можна усунути, він створюється самим зондуючим сигналом. Його рівень, як правило, перевищує рівень корисного сигналу. Практично єдиним способом боротьби з цим шумом є просторове його осереднення, що вимагає огляду досліджуваного об'єму конструкції з різних точок її поверхні, тобто сканування поверхні по значній площі. Наслідком цього постає проблема створення надійного акустичного контакту між апаратурою і бетоном.

Роботи над удосконаленням такої дефектоскопічної апаратури ведуться вже десятки років. В результаті використання складних алгоритмів обробки акустичних ехосигналів, вдалося домогтися можливості «бачити» внутрішню тривимірну структуру бетону на глибину від 0.5 до 2 м. Це новий напрямок отримав найменування «інтроскопія» або «томографія». Він є переднім краєм науки в області ультразвукової дефектоскопії. Як приклад нижче розглянемо ультразвуковий томограф А1040 MIRA.

Побічним ефектом ультразвукової дефектоскопії є можливість приблизної оцінки міцності бетону за швидкістю поширення ультразвукових коливань в бетоні. Міцність бетону в конструкціях визначають за експериментально встановленими градувальними залежностями «швидкість поширення ультразвуку - міцність бетону».

Практичне заняття 5. Томограф ультразвуковий низькочастотний A1040 MIRA

Томограф ультразвуковий (УЗ) низькочастотний (НЧ) A1040 MIRA призначений для обстеження монолітних бетонних і залізобетонних будівельних конструкцій з метою пошуку порожнин, каналів, силової арматури, сторонніх включень, розшарувань, тріщин і інших порожнин, як порожніх, так і заповнених рідиною або твердим матеріалом, що відрізняються від навколишнього бетону фізико-механічними властивостями. Прилад може працювати як в складі автоматизованих установок, так і застосовуватися для ручного контролю.

Основні області застосування приладу: визначення товщини стін і перекриттів з бетону; пошук в бетонних спорудах пустот, каналів, силовий арматури, визначення її товщини і кроку; обстеження стану недоступних поверхонь бетонних стін, приблизна оцінка прилеглого середовища (повітря, ґрунт, вода);

ТЕХНІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Діапазон робочих частот перетворювачів, кГц от 25 до 85

Діапазон швидкості ультразвуку, м/с от 1 000 до 4 000

Максимальна глибина огляду в бетоні, мм 2500

Максимальна глибина огляду в залізобетоні, мм 800

Діапазон товщини, що вимірюється, мм от 50 до 600

Діапазон глибини залягання дефекту, мм - от 50 до 400

Тривалість неперервної роботи від повністю зарядженого акумулятора, год, не менш 5

Габаритні розміри, мм, 370x150x145

Маса електронного блоку приладу, кг, - 4,5

Томограф A1040 MIRA виконаний у вигляді моноблоку зі знімними ручками (рис.7), який включає в себе вбудований комп'ютер і антенну решітку.

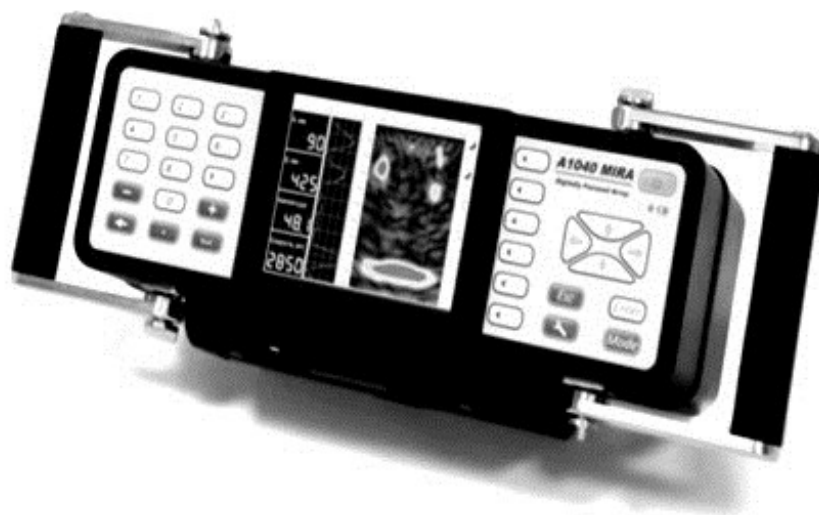


Рис. 7. Томограф ультразвуковий А1040 MIRA вигляд згори

Нижня частина томографа являє собою матричну антенну решітку з 48 низькочастотних ширококутових перетворювачів поперечних хвиль з сухим точковим контактом і керамічними зносостійкими наконечниками (рис. 8). Антенна решітка прикладається до поверхні бетону. Загострені протектори (у вигляді конуса) забезпечують надійний акустичний контакт ультразвукового перетворювача з бетоном без контактних мастил. Перетворювачі здійснюють як випромінювання, так і прийом акустичних сигналів. Надійний сухий контакт дозволяє випромінювати і приймати поздовжні і поперечні акустичні хвилі з різною поляризацією .

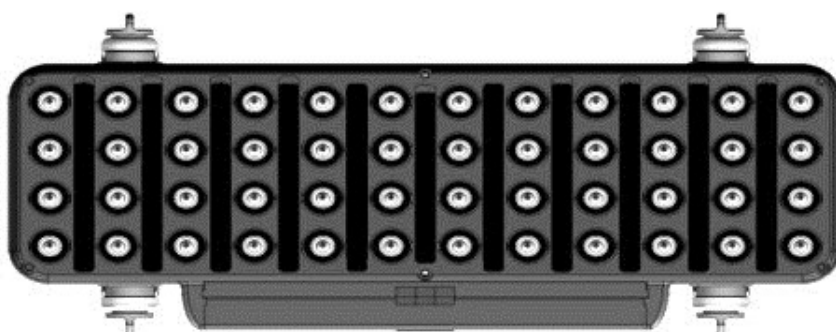


Рис. 8. Томограф ультразвуковий А1040 MIRA вигляд знизу

Алгоритм, який використовується для збору і обробки даних, забезпечує яскраве і зрозуміле для аналізу графічне зображення внутрішньої структури бетону. Час збору даних і виведення на екран зображення в одній позиції решітки становить 5 секунд. Прилад поставляється в комплекті зі

спеціалізованим програмним забезпеченням для розширеної обробки зібраних даних на зовнішньому комп'ютері. Програма забезпечує зчитування даних з приладу та подання їх в тривимірному об'ємному вигляді, що полегшує розуміння зміни внутрішньої структури бетонного об'єкта контролю.

Практичне заняття 6. Лазерні сканери і тахеометри

Моніторинг геометричних розмірів споруд і їх змін традиційно виконується геодезичними інструментами і методами. В останні десятиліття в цій галузі позначився значний прогрес завдяки автоматизації вимірювань. На сьогоднішній день просторові геометричні характеристики деформаційних процесів можуть бути визначені із застосуванням різноманітних геодезичних методів і сучасних приладів. В процесі проведення робіт визначаються зрушення, осадки, нахил споруд і т.п.

Зараз переднім краєм автоматизації моніторингу будівель і споруд геодезичними методами є лазерне сканування. Лазерне сканування об'єктів - це новітній метод отримання 3D моделей навколишнього простору. В процесі роботи приладів реєструється хмара точок з просторовими координатами, які в підсумку дають об'ємне зображення. Отримана модель об'єкта може містити від декількох тисяч до декількох мільйонів координатних точок. При цьому вимірювання проходять з точністю до міліметра.

Принцип роботи лазерного сканера можна порівняти з роботою радара. Лазерний сканер складається з лазерного далекоміра і блоку розгортки лазерного променя. Лазерний промінь що випромінюється, являє собою вузький паралельний пучок видимого світла, діаметром близько сантиметра. Блок розгортки являє собою сервопривід і полігональне дзеркало або призма. Сервопривод відхиляє промінь в горизонтальній площині, при цьому повертається вся верхня частина сканера, яка називається головою. Розгортка у вертикальній площині здійснюється за рахунок обертання або коливання дзеркала.

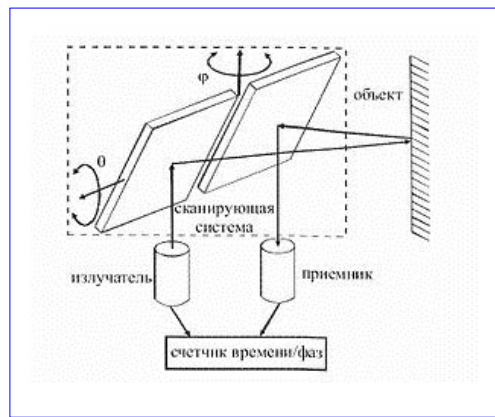


Рис. 9. Принцип растрового сканування з імпульсним або фазовим методом виміру відстані

У процесі сканування фіксується напрямок поширення лазерного променя і відстань до точок об'єкта. Результатом роботи сканера є растрове зображення (хмара точок) - скан, значення пікселів якого містять наступну цифрову інформацію: виміряна відстань, інтенсивність відбитого сигналу, колір відбитого сигналу (по трьох колірних компонентах - червоний, зелений, синій).

Імпульсний метод вимірювання відстаней заснований на вимірюванні часу проходження сигналу від приймально-передавального пристрою до об'єкта і назад. Фазовий метод вимірювання відстаней заснований на визначенні різниці фаз модульованих сигналів, що посиляються і приймаються. Головна перевага фазового методу вимірювання - більш висока точність, яка може досягати одного міліметра.

Цей метод геодезичної зйомки є безконтактним і максимально автоматизованим. Фахівцю не потрібно більше натискати будь-які кнопки для включення далекоміра або запису отриманих координат, вишукувати мітку через окуляр тахеометра, переставляти техніку з місця на місце і ін. Тепер всі необхідні вимірювання можна провести з однієї точки без шкоди для точності. Для проведення геодезичних робіт не потрібна установка спеціальних відбивачів, міток або маркерів. Лазерний сканер здатний проводити до мільйона вимірювань в секунду. Хмару точок, яка виходить в результаті його роботи, можна потім вивести на екран у вигляді двовимірного або тривимірного зображення. Головними характеристиками приладу є показники точності, дальності, швидкості збору даних, а також кут огляду.

Для моніторингу споруд використовуються сканери середнього радіусу дії. Їх дальність до 100 м, допустима похибка кілька міліметрів.

В основному використовується наземне лазерне сканування. Воно проводиться за допомогою статичного переносного приладу (рис 10).



Рис. 10. Переносний лазерний сканер

Мобільне сканування може використовуватися для сканування зсувних схилів і т. п. Лазерний сканер при цьому закріплений на транспортному засобі. Він рухається за встановленим маршрутом для збору необхідних даних.



Рис. 11. Система мобільного лазерного сканування Trimble MX9

При застосуванні мобільних комплексів швидкість вимірювання складає до 2 млн. точок в секунду з детальністю отриманої інформації про об'єкт на рівні 4 см. Швидкість виконання зйомки при цьому становить від 40 до 110 км / ч. Вихідним результатом є панорамні знімки місцевості кожні 5 метрів. Перевстановлення системи на інший транспортний засіб займає близько 10-15 хвилин.

Лазерне сканування будівель і споруд є універсальною технологією. Для ряду задач воно є єдиним можливим варіантом вирішення. Так, при контролем за будівництвом, тільки цей метод дозволить отримати актуальну геометричну модель споруди на кожному етапі. Перевага методу полягає в тому, що для його використання немає

необхідності переривати процес нормальної експлуатації. Можна отримати дані про стан транспортних об'єктів (мостів, тунелів, автодоріг), не зупиняючи рух.

Лазерне сканування будівель і споруд не є повністю автоматичною процедурою. Для отримання повної картини все одно знадобиться робота фахівця, оскільки необхідно правильно вибрати точки для зйомки, спланувати сеанси сканування та ін.

Попередником лазерного сканера є лазерний тахеометр. Тахеометр - геодезичний інструмент для вимірювання відстаней, горизонтальних і вертикальних кутів. Тахеометр є інструментом, що об'єднує в собі функції теодоліта і лазерного далекоміра.



Рис. 12. Тахеометр Spectra Precision FOCUS 2 5"

Основна відмінність лазерного тахеометра від лазерного сканера полягає в тому, що просторове положення кожної точки за допомогою тахеометра визначається індивідуально, в ручному режимі, і на кожну точку витрачається час від одиниць до десятків хвилин. Це пов'язано з тим, що спостерігач у електронного тахеометра спочатку знаходить точку візуально, потім візує на неї зорову трубу інструменту, вводить номер точки спостереження і проводить вимірювання, які вводить в пам'ять. Наявність мікропроцесора з потужним програмним забезпеченням дозволяє виробляти необхідні вимірювання і розрахунки швидко і з мінімальною похибкою, а також запам'ятовувати виміряні і проєктні дані, обчислювати координати точок, недоступних для прямих вимірювань, за непрямыми спостереженнями, і т. п.

Діапазон вимірювання відстаней тахеометром залежить від режиму роботи: відбивний (використовують спеціальний віддзеркалювач на об'єкті вимірювання) або безвідбивний (використовують пряме відображення від об'єкта). Дальність вимірювань при безвідбивному режимі безпосередньо залежить від властивостей поверхні, на яку проводиться вимірювання. Максимальна дальність вимірювань для режиму з відбивачем - до 5 кілометрів; для безвідбивного режиму - до 1 кілометра. Точність кутових вимірів сучасним тахеометром досягає 0,5 кутової секунди, відстаней - до 0.5 мм.

Незважаючи на те, що продуктивність лазерних сканерів набагато вище, лазерні тахеометри ні в якому разі не можна вважати застарілими. Вони дуже добре зарекомендували себе при моніторингу деформацій споруд.

Практичне заняття 7. Радіолокаційне сканування

Спочатку метод радіолокації використовувався для моніторингу повітряного простору та виявлення літальних апаратів. Зараз портативні радіолокатори використовуються також для сканування споруд, зсувних схилів і т.п. Радіолокаційне сканування виконує ті ж завдання, що і лазерне сканування, але виконується не в оптичному, а в радіо-діапазоні електромагнітних хвиль. За точністю визначення відстаней радіолокатори не поступаються лазерам (похибка менше міліметра), але осередок поверхні, до якої визначається усереднена відстань, на порядок ширше (не сантиметр, а десятки сантиметрів).

Як приклад розглянемо портативний радар для моніторингу інфраструктури IDS HYDRA-G. Розробник - компанія IDS GeoRadar, що є частиною холдингу Hexagon. IDS GeoRadar по праву вважається одним зі світових лідерів розробки та виробництва промислових моніторингових систем, заснованих на технологіях радарної інтерференції, впроваджує свій досвід в цивільну сферу. HYDRA-G - це компактна, високоточна система моніторингу деформацій цивільних споруд. Система HYDRA-G допоможе відстежувати і оцінювати ризики обвалення будівель, гребель, тунелів і схилів в режимі реального часу, попереджати про загрозу аварій з метою своєчасної евакуації людей і обладнання.



Рис. 13. Радіолокаторне сканування зсувного схилу портативним радаром IDS HYDRA-G

Технічні характеристики

Діапазон роботи до 800 м

Точність визначення відстаней 0.1 мм

Поле зору 360° в плані, 30° по висоті

Робоча температура -20°C .. +55 °C

В процесі роботи системи IDS HYDRA-G інформація оновлюється кожні 30 секунд, при цьому автоматично виконується корекція даних при зміні навколишніх факторів (температура, вологість). Оптична і інфрачервона камери дозволяють візуально досліджувати область моніторингу в реальному часі.

Залежно від відстані до спостережуваного об'єкта розмір осередку сканування змінюється в межах:

10 м: 0.08 x 0.2 м

100 м: 0.8 x 0.2 м

500 м: 4 x 0.2 м

Безконтактна технологія, не потрібна установка будь-яких марок на спостережуваному об'єкті.

Результати на місці: миттєва обробка даних.

3D-візуалізація: легка інтерпретація даних моніторингу.

Компактне рішення: легко встановлюється і переноситься с місця на місце однією людиною.

Низькі експлуатаційні витрати: мінімальна кількість рухомих вузлів і низькопрофільна конструкція гарантує надійність при експлуатації навіть в найсуворіших умовах.

Практичне заняття 8. Георадіолокація

Спочатку метод радіолокації використовувався для моніторингу повітряного простору та виявлення літальних апаратів. Зараз радіолокація використовується також для моніторингу ґрунту і аналогічних середовищ.

Георадарне зондування дозволяє: дізнатися про геологічна будова обстежуваного ділянки; виявляти інженерні мережі та комунікації, приховані об'єкти, арматуру та інше; виявляти такі дефекти як порожнечі, підтоплення, ділянки з недостатньою або надмірною ущільненням.

Кінцевим результатом георадарного зондування є радарограма - це двовірне зображення обстежуваного ділянки, на якому можна виявити неоднорідні області.

Сучасні георадари являють собою мобільні прилади, розраховані на роботу одного оператора. Вони комплектуються декількома змінними блоками, кожен з яких працює в певному діапазоні частот. Різні антенні блоки мають різну роздільну здатність, завдяки чому можна виявити одні сторонні включення, проігнорували інші, більш дрібні.

Самі антенні блоки складаються з передавальних і приймальних антен. Сигнал що, поступив на приймач, перетворюється в цифрову інформацію (в блоці управління) і передається в комп'ютер, де за допомогою спеціалізованого програмного забезпечення формується радарограма, яку можна вивчати в різних масштабах і розрізах безпосередньо під час роботи приладу.



Рис.14. Пошук тріщин і пустот в бетонній плиті підлоги за допомогою георадара

Практичне заняття 8. Моніторинг корозії арматури залізобетону

Масове будівництво залізобетонних споруд почалося в середині ХХ-го століття і тепер багато з них знаходяться в передаварійному стані. У багатьох виникає питання, чому бетонні будівлі Стародавнього Риму стоять вже два тисячоліття, а сучасні залізобетонні мости і будинки починають кришитися вже через сорок років, потребуючи моніторингу ще раніше?

Причин багато. Звичайно, змінилася рецептура приготування бетону. В якості сполучного раніше використовувався вулканічний попел з додаванням вапна. Бетон повільно набирав міцність протягом двадцяти років і потім ставав водонепроникним, хімічно стійким і міг стояти століттями. Наприклад, Пантеон, древньоримський храм, був збудований в 126 році. Наразі, через дві тисячі років, його купол залишається найбільшим в світі неармованим бетонним куполом. Його діаметр 43 метри (рис. 15). Він не має жодної тріщини.



Рис. 15. Бетонний купол Пантеона в Римі

Сучасний бетон на основі меленого портландцементу набирає 50% міцності в перші три дні, а вже через рік бетон починає повільно деградувати під впливом атмосферних умов. Тобто ми маємо швидке, недороге, міцне, але недовговічне будівництво, що відповідає сучасним темпам технічного прогресу, і вигідне будівельним компаніям, оскільки вони зацікавлені в безперервному знесення старих будівель і будівництві нових.

Але для нас важливіша інша причина. Стародавні архітектори не використовували армування бетону. Низька міцність на розтяг не дозволяє використовувати неармований бетон в конструкціях, що зазнають розтягування. Звідси масивність древньої архітектури.

Поява залізобетонних конструкцій стала справжнім проривом в будівництві ХХ століття. Залізобетон - це композитний будівельний матеріал, в якому бетон і сталеві арматури працюють під навантаженням як єдине монолітне тіло. Бетон призначається для сприйняття переважно стискаючих зусиль, а арматура - розтягуючих. З появою цього матеріалу, в моду увійшли гігантські прольоти і хмарочоси, символи могутності й сучасності нової епохи. Цей матеріал різко змінив наш світ.

Істотний недолік залізобетону - корозія арматурної сталі, що є одним з найбільш значущих чинників, що значно скорочує термін служби будівельних конструкцій.

На початковому етапі експлуатації споруди бетон захищає арматуру від корозії. Основою захисної дії цементних бетонів на арматурну сталь є лужний характер вологи в капілярно-пористому тілі бетону, що сприяє збереженню хімічно пасивного стану поверхні сталі. При високій щільності бетону, належній товщині захисного шару бетону і відсутності його ушкоджень (тріщини та ін.), арматура в бетоні зберігається в хімічно пасивному стані десятиліття. Але, внаслідок різних хімічних процесів, протикорозійні захисні властивості бетону з часом зникають. Процес може бути значно прискорений при наявності зовнішніх хімічних впливів, кислотних дощів і т.п. В окремих місцях арматура може почати кородувати. Після чого процес руйнування різко прискорюється за наступним механізмом. Продукти корозії мають в три рази більший обсяг, ніж сталь до корозії. Вони починають розпирати бетон зсередини і викликають появу тріщин.

Після того, як розкриття тріщин досягне 0,3 мм, доступ води і кисню до арматури полегшується, і процес корозії протікає більш інтенсивно. Це, в свою чергу, ще більше прискорює розвиток тріщин. Так, допомагаючи один одному, корозія арматури і тріщини, в кінцевому рахунку, через 5-7 років повністю руйнують захисний шар бетону. Часті заморозки і відлиги ще більш прискорюють процес. Збільшення обсягу води в тріщинах при переході в лід, викликає розширення тріщин і руйнування бетону.

Корозія арматури наразі визнана основним фактором, що спричиняє широкомасштабне передчасне руйнування залізобетонних конструкцій у всьому світі.

Розглянемо приклад для тої ж сприятливої кліматичної зони (Італія), що й Пантеон. Міст Моранді в Генуї був найдовшим залізобетонним мостом в світі, коли його відкрили в 1967 році. Моранді був інженером, що проектував і будував міст. Цей міст був гордістю Італії і символом її відродження після війни. “Залізобетонні конструкції мосту не потребують жодного технічного обслуговування!” в захваті писала газета La Stampa перед відкриттям мосту. Але тоді ще мало що було відомо про корозію арматури. 14 серпня 2018 року 200-метрова секція мосту обрушилася (рис.). В результаті трагедії загинуло 43 особи і 600 осіб залишилися безхатками.

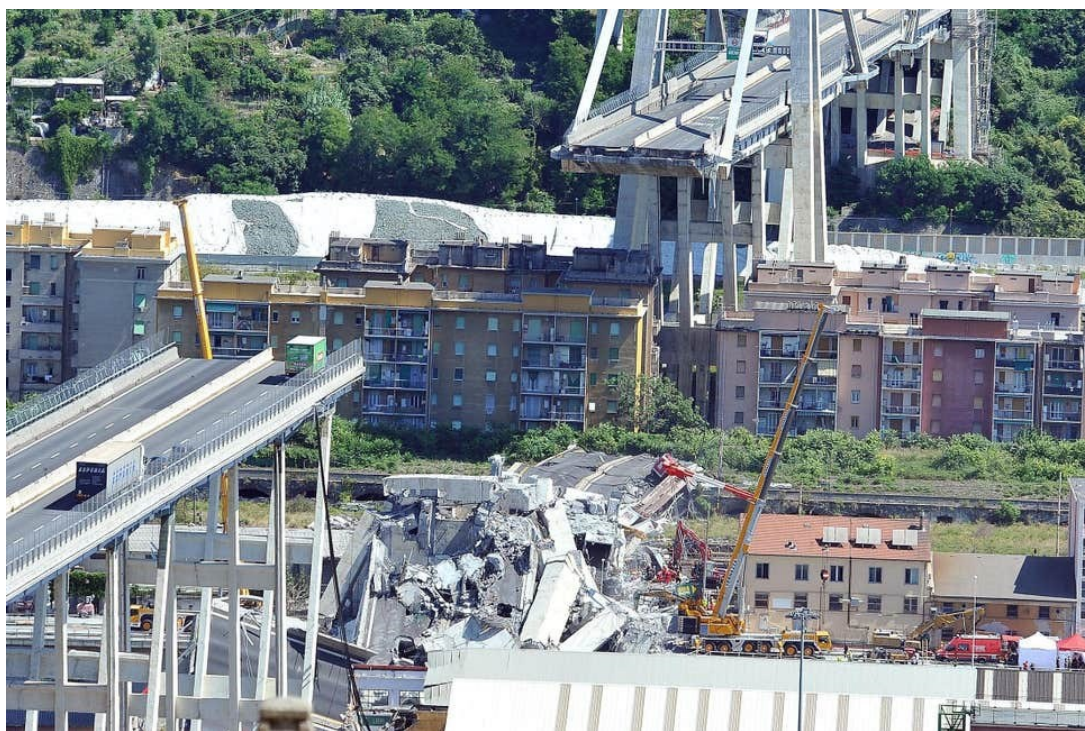


Рис.16. Зруйнований міст Моранді (Генуя)

Як ми знаємо тепер, утримання залізобетонних конструкцій для їх безпеки вимагає ефективних методик моніторингу для оцінки корозії арматури. Технічне обслуговування цих конструкцій потребує неруйнівних методів моніторингу, що дозволяють виявити корозію на ранній стадії. Вчасний моніторинг конструкцій за корозійними показниками та вжиття відповідних заходів (використання інгібіторів корозії, тощо) можуть призвести до величезної економії.

Корозія має переважно електрохімічний характер і протікає на межі метал - електроліт в пористій структурі бетону. Тому більшість неруйнівних методик для контролю за корозією сталі в бетонних конструкціях використовують електричні вимірювання. В якості прикладу розглянемо методику вимірювання швидкості корозії в бетоні, розроблену фірмою GIATEC SCIENTIFIC INC

Електричну характеристику арматури, вкладеної в бетон, можна визначити з поверхні бетону за допомогою мостової схеми Веннера з чотирма зондами (як показано на наступному малюнку), пропускаючи змінний струм між зовнішніми зондами та вимірюючи напругу між внутрішніми зондами.

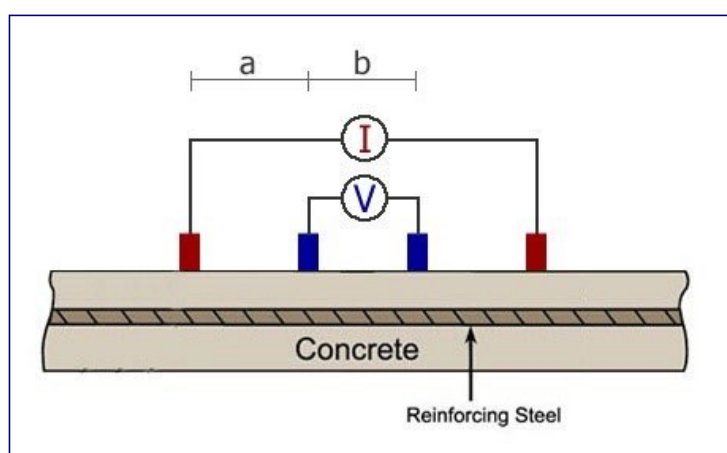


Рис. 17. Концепція моніторингу стану арматури

При зміні частоти змінного струму від низької частоти до високої частоти змінюється реакція системи. При цьому реакція кородованої арматури відрізняється від реакції некородованої арматури. Як показано на малюнку нижче, вимірювана напруга, коли арматура не кородована, збільшується в зоні низької частоти спектру, але вона майже не змінюється для кородованої арматури. Ця основна концепція може бути застосована для виявлення корозійних ділянок залізобетонних конструкцій з поверхні без необхідності електричного контакту з арматурою всередині бетону, на відміну від інших існуючих неруйнівних приладів вимірювання корозії.

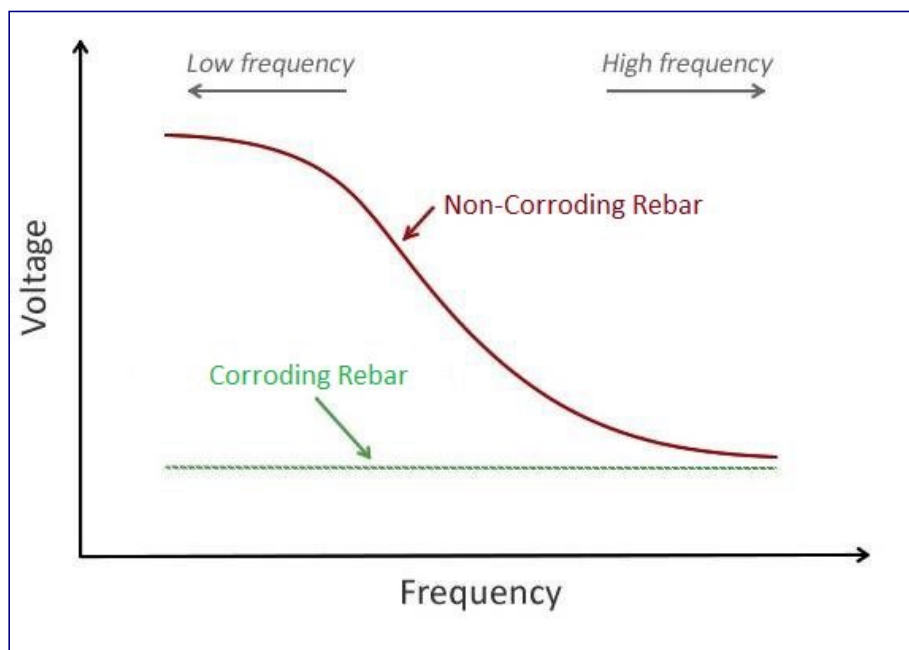


Рис. 18. Амплітудо-частотні характеристики для кородованої і некородованої арматури

У технології CEPRA, розробленій Giatec, низькочастотна поведінка системи бетон-арматура визначається застосуванням вузького імпульсу вхідного струму протягом короткого періоду часу (пару секунд) з одночасною реєстрацією напруги на виході з високою частотою вибірки. Знаючи осцилограми вхідного струму та вихідної напруги можна розрахувати передаточні частотні характеристики, які можуть бути використані для визначення стану корозії в залізобетонних конструкціях. Ця запатентована технологія називається Електричний аналіз імпульсних реакцій без підключення (Connection-less Electrical Pulse Response Analysis) - CEPRA.

Технологія CEPRA реалізована у вигляді портативного бездротового пристрою під назвою Giatec iCOR™. Цей новий інструмент неруйнівного контролю використовує складну розрахункову модель електричної схеми для прогнозування різних властивостей бетонних матеріалів та арматури сталі. Розширений математичний алгоритм реалізований в основному програмному забезпеченні пристрою.

Технологія CEPRA дозволяє виявляти корозію та вимірювати швидкість корозії в залізобетоні з поверхні без необхідності електричного контакту з арматурою. Це велика перевага, оскільки дозволяє швидко та ефективно проводити оцінку стану на місці.

Унікальні особливості CEPRA:

Швидке вимірювання швидкості корозії протягом декількох секунд
Не потрібен електричний контакт з арматурою

Витончена техніка та вдосконалені алгоритми, що стоять за технологією CEPRA, вбудовані в портативний пристрій під назвою iCOR™. Цей новий інструмент неруйнівного контролю використовує бездротовий зв'язок з планшетом для легкого збору та аналізу даних у режимі реального часу



Рис. 19. Загальний вигляд приладу iCOR™



Рис. 20. Моніторинг стану арматури в польових умовах

Giatic iCOR™ був успішно використаний при оцінці стану різних мостів, збірних бетонних плит, колон та гаражів, в яких підозрювалась корозія арматури.

Практичне заняття 9. Тепловізійний контроль будівель

Тепловізор - це пристрій, який дозволяє реєструвати температурне поле на поверхні будь-якого об'єкта безконтактним методом за рахунок теплового випромінювання в інфрачервоній області спектра. Тепловізори призначені для реєстрації інфрачервоного випромінювання, яке випромінюється об'єктами (Рис. 21).

Інфрачервоне випромінювання фокусується за допомогою оптики тепловізора на приймачі випромінювання. Тепловізор має об'єктив, дисплей, приймач випромінювання і обробну електроніку, органи управління, пристрої зберігання даних, а так само програмне забезпечення для обробки даних і створення звітів.



Рис. 21. Тепловізор

Відповідний електричний сигнал перетворюється в електронне зображення (термограму (Рис.)), яке відображається на екрані дисплея. Термограма - це зображення об'єкта, оброблене електронікою для відображення на дисплеї таким чином, що різні градації кольору відповідають розподілу теплового випромінювання з поверхні об'єкта. Чим тепліше ділянку поверхні, тим світліше він виглядає на чорно-білому дисплеї. На кольоровому червоний колір визначає найбільш сильно

випромінюють тепло ділянки, далі відповідні кольори веселки по зменшенню до синього і чорного кольорів, що позначає найхолодніші місця. Теплове зображення відображається на рідкокристалічному дисплеї. Дисплей повинен мати достатній розмір і високу яскравість, щоб зображення на ньому можна було легко побачити в польових умовах роботи. На дисплеї часто відображається додаткова інформація, така як рівень заряду акумулятора, дата, час, температура об'єкта, видиме зображення і колірна шкала температур.

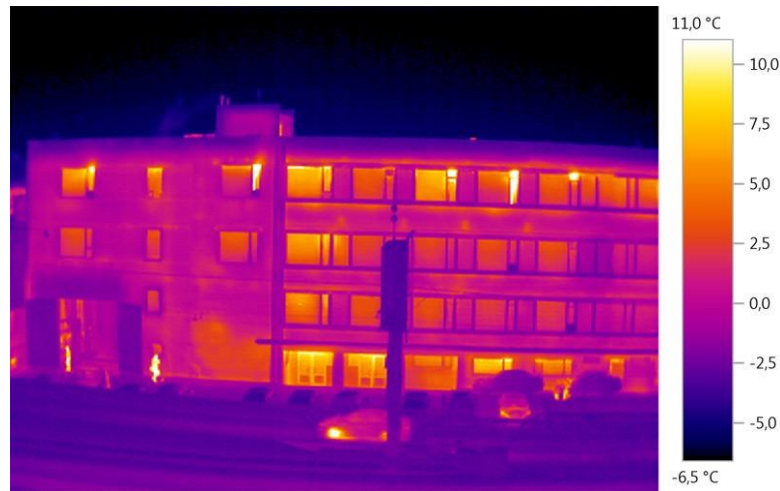


Рис. 22 Термограма

Електронні пристрої, що запам'ятовують теплові зображення і додаткові дані, зберігаються на різних типах електронних карт пам'яті. Багато тепловізорів дозволяють зберігати додаткові голосові і текстові дані, а так само відповідне видиме зображення, отримане за допомогою вбудованої камери, що працює у видимому спектрі. Цифрові теплові і видимі зображення можуть завантажуватися в персональний комп'ютер для більш детальної обробки і дослідження. Тепловізор є універсальним інструментом неруйнівного теплового контролю в самих різних галузях промисловості, коли по неоднорідності теплового поля можна судити про технічний стан контрольованих об'єктів.

Тепловізійне дослідження будівельних споруд, завдяки своїй оперативності, наочності та достовірності отриманих результатів, зарекомендувало себе в якості одного з основних способів діагностики огорожувальних конструкцій (стін і т.п.). Як приклад на рис. наведена термограма, що дозволяє діагностувати витік повітря через щілини. Повітря саме по собі неможливо побачити, але витік зазвичай проявляється на суміжних поверхнях у вигляді різниці температур

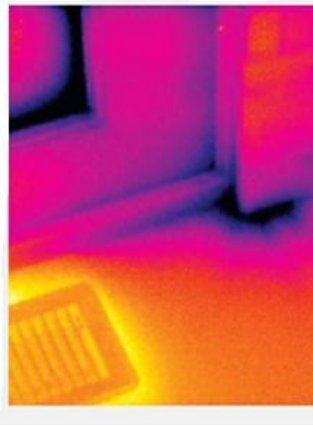


Рис. 23 .Термограма витоку повітря через щілини

Основними видами прихованих будівельних дефектів, що виявляються за допомогою інфрачервоної термографії, є:

містки холоду і тепла;

погіршення опору теплопередачі (відсутність теплоізоляції, аномальна зволоженість, неякісна цегляна кладка і т.п.);

дефектні панелі огорожувальних конструкцій (порушення товщини і розстановки утеплювача, адсорбція вологи в утеплювачі, осідання утеплювача);

відшарування штукатурки, облицювання та інших покриттів. конструктивні, технологічні, експлуатаційні та будівельні дефекти стінових панелей;

порушень швів і стиків між збірними конструкціями;

витоку тепла через вікна і заklenі ділянки будівель в результаті поганого монтажу;

місця нагрівання в електропроводці і її технічний стан;

ділянки будівель з підвищеним вмістом вологи;

На практиці підвищений вміст вологи призводить до прискореного руйнування, псування внутрішньої обробки, сприяє утворенню цвілі, появи грибка, що може негативно позначитися на здоров'ї мешканців.

До інших проблем, які можна виявити за допомогою тепловізійних обстежень, відносяться формування льоду на даху, замерзання трубопроводів, виявлення місць проходження прихованих інженерних комунікацій і т.п.

Тепловізійну зйомку рекомендується проводити в досвітні або нічні години, коли тепловий вплив навколишнього середовища мінімально. У денний час найкращі результати досягаються при похмурій погоді.

Рекомендується проводити тепловізійну зйомку в холодну пору року, коли різниця температур на вулиці і в приміщенні значна і становить понад 15 ° С. При цьому не повинно бути сильного вітру. Тепловізійну зйомку не проводять в дощ, туман, сильний снігопад, а також при наявності снігу і вологи на контрольованих поверхнях.

Для цілей тепловізійного контролю об'єктів будівництва рекомендується вибирати тепловізор з діапазоном вимірюваних температур від -20° С. до 100° С (орієнтовно).

Список літератури

1. *Шикалов В.С.* Технологічні вимірювання: навч. посібник / Шикалов В.С. – Київ : Кондор, 2007.–168 с.
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. – 204 с.
3. *Ткачук В.М.* Автоматизація вимірювань у будівельній механіці: навч. посібник / В.М. Ткачук, О.В. Гончарук. – Київ: Видавництво "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 практичних занять
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. 1,86. Обл.-вид. арк. 2,0.
Електронний документ. Вид № 63/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

