

СТАНДАРТ ПІДПРИЄМСТВА

БЕТОНИ. КОНСТРУКЦІЇ ПІДЗЕМНИХ СПОРУД

**Неруйнівні обстеження бетонних елементів фундаментів
глибокого закладення імпульсним луно-методом з низкою
енергією ударного збудження пружних хвиль**

СП Б В.2.7.2502-:2023

Київ
КНУБА
2023

ПЕРЕДМОВА

1 РОЗРОБЛЕНО:

Міністерство освіти й науки України

**КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БУДІВНИЦТВА І
АРХІТЕКТУРИ**

(НДЛ „ДІАГНОСТИКИ АГРЕГАТИВ, КОНСТРУКЦІЙ І СПОРУД”)

2 ПРИЙНЯТО ТА НАДАНО ЧИННОСТІ:

наказ Ректора № 199 від 08.09. 2023

3 УЗГОДЖЕНО

Технічним комітетом зі стандартизації №78 “Технічна діагностика та неруйнівний контроль” протокол №ТК -01-2023 від 11.07.2023

4 УВЕДЕНО ВПЕРШЕ

5 РОЗРОБНИКИ: А. Городжа, Б.Трощинський, К. Городжа,
Ю. Новаторский.

Заснований на досвіді НДЛ "ДАКіС" КНУБА з урахуванням основних положень стандарту ASTM D 5882-07

ЗМІСТ

ПЕРЕДМОВА	2
ВСТУП	4
1. СФЕРА ЗАСТОСУВАННЯ	5
2. НОРМАТИВІ ПОСИЛАННЯ	7
3. ТЕРМІНИ ТА ВИЗНАЧЕННЯ ПОНЯТЬ	7
4. ПОЗНАЧЕННЯ, СКОРОЧЕННЯ ТА ОДИНИЦІ ВИМІРУ	7
5. ЗАСТОСУВАННЯ ІМПУЛЬСНОГО ЛУНО-МЕТОДУ З УДАРНИМ ЗБУДЖЕННЯМ ПРУЖНИХ ХВИЛЬ	8
5.1. Загальні положення	8
5.2. Принципи застосування імпульсного луно-методу (теоретичні основи методу).....	9
5.3. Обмеження методу.....	11
6. ЗАСОБИ ТА ОБЛАДНАННЯ ІМПУЛЬСНОГО ЛУНО-МЕТОДУ	12
6.1. Збудження пружних хвиль	12
6.2. Реєстрація і вимір даних обстежень	12
6.3. Передача сигналів	12
6.4. Обладнання збору, збереження, обробки та відображення даних	13
7. ПРОЦЕДУРА ПІДГОТОВКИ ТА ВИКОАННЯ ОБСТЕЖЕНЬ	14
7.1. Загальні положення	14
7.2. Підготовка палі до обстежень	15
7.3. Виконання обстежень	15
8. АНАЛІЗ ТА ІНТЕРПРЕТАЦІЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ОБСТЕЖЕНЬ	15
8.1. Загальні положення	15
9. ЗМІСТ ЗВІТУ	15
10. ВИМОГИ БЕЗПЕКИ	16
11. ТОЧНІСТЬ І ВІДХИЛЕННЯ	16
БІБЛІОГРАФІЯ	16
ДОДАТОК 1	18

ВСТУП

Стандарт розроблено на основі досвіду з досліджень і використання луно-методу для обстежень бетонних елементів фундаментів глибокого закладення, накопиченого в НДІ "ДАКіС" КНУБА, а також закордонних дослідників в цьому напрямку. При розробці стандарту були ураховані і частково використані, наведені в ASTM D 5882-07, основні положення та форма звіту за результатами обстежень.

**КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ
НДЛ „ДІАГНОСТИКИ АГРЕГАТІВ, КОНСТРУКЦІЙ І СПОРУД”**

СТАНДАРТ ПІДПРИЄМСТВА

БЕТОНІ. КОНСТРУКЦІЇ ПІДЗЕМНИХ СПОРУД

Неруйнівні обстеження бетонних елементів фундаментів глибокого закладення імпульсним луно-методом з низкою енергією ударного збудження пружних хвиль

Чинний від _____

1. СФЕРА ЗАСТОСУВАННЯ

1.1. Цей стандарт описує та встановлює вимоги до імпульсного луно-методу з низкою енергією збудження пружних хвиль, який застосовують для обстежень з перевірки однорідності і цілісності бетону вертикальних і нахилених забивних, буронабивних та шнекових паль (далі по тексті – бетонні елементи фундаменту глибокого закладення), що необхідно для забезпечення надійності фундаментів згідно нормативних вимог систем управління якістю на замовлення державних служб технічного нагляду, або за індивідуальними замовленнями (проектні організації, замовники і виконавці робіт).

1.2. Цей стандарт описує застосування та засоби і обладнання луно-методу, процедуру проведення обстежень, визначення способу збирання, обчислення, зберігання, аналізу та інтерпретації даних. Він не поширюється на подальше застосування результатів отриманих за допомогою описаних у стандарті випробувань.

1.3. Цей стандарт встановлює мінімальні вимоги до випробувань бетонних елементів фундаментів, які не мають вільного доступу до оголовку паль (фундаменти існуючих споруд, палі закриті ростверком або плитою). Для задоволення конкретної мети випробувань або вирішення додаткових задач, згідно технічного завдання замовника, необхідна підготовка програми обстежень, в якій кваліфікований спеціаліст з неруйнівного контролю визначає додаткові вимоги до процедури обстежень.

1.4. Значення, зазначені в одиницях системи СІ, вважаються стандартними. Ніякі інші одиниці виміру в даний стандарт не включені.

1.5. Вплив методів збору даних, методів виконання обчислень і зберігання даних, а також порядок подальшого застосування отриманих результатів аналізу, у даному стандарті не розглядаються.

1.5. Даний стандарт не претендує на повноту опису всіх заходів безпеки, якщо такі є, пов'язаних з його використанням. Уся відповідальність за встановлення відповідних правил техніки безпеки й заходів щодо охорони здоров'я, а також визначення меж застосовності регламентів до початку використання даного стандарту лежить на його Користувачі.

1.6. Пояснювальний матеріал цього стандарту містить примітки, які не розглядаються як вимоги стандарту.

ПРИМІТКА 1. Якість результатів, отриманих цим методом обстеження, залежить від кваліфікації персоналу, що виконує обстеження та проводить аналіз і інтерпретацію результатів, а також придатності використовуваного обладнання. Персонал, який виконує обстеження та аналіз результатів, повинен мати підтверджену кваліфікацію з неруйнівного контролю не нижче 2-го рівня відповідно до EN ISO 9712:2012 і досвід роботи не менше 3-х років.

ПРИМІТКА 2. Для забезпечення надійності фундаменту споруди бажано обстежувати усі палі фундаменту, але необхідно обстежити не менш 40-60% від загальної кількості палей в паловому полі.

2. НОРМАТИВІ ПОСИЛАННЯ

Наведені нижче документи, на які робляться посилання, обов'язкові при застосуванні цього документа. Для датованих посилань дійсні лише вказані в стандарті видання. Для недатованих посилань чинним вважається найостанніше видання вказаного в стандарті документу (разом з будь-якими змінами).

- 2.1. ДСТУ-Н Б В.1.2-18:20016 Настанова що до обстежень будівель і споруд для визначення та оцінки їх технічного стану.
- 2.2. ДСТУ Б В.2.7-224:2009 Будівельні матеріали. Бетони. Правила контролю міцності.
- 2.3. ДСТУ Б В.2.7-226:2009 Бетони ультразвуковий метод визначення міцності
- 2.4. ДСТУ3400: 2006 Державні випробування засобів вимірювальний техніки. Основні положення, організація, порядок проведення й розгляду результатів.
- 2.5. ДСТУ 3215-95. Метрологія. Метрологічна атестація засобів вимірювальний техніки. Організація та порядок проведення.
- 2.6. D3740 Practice for Minimum Requirements for Agencies Engaged in Testing and/or Inspection of Soil and Rock as Used in Engineering Design and Construction.
- 2.7. D6026 Practice for Using Significant Digits in Geotechnical Data. 6026 Terminology Relating to Soil, Rock, and Contained Fluids.
- 2.8. D6760 Test Method for Integrity Testing of Concrete Deep Foundations by Ultrasonic Crosshole Testing.
- 2.9. D7949 Test Methods for Thermal Integrity Profiling of Concrete Deep Foundations.

3. ТЕРМІНИ ТА ВИЗНАЧЕННЯ ПОНЯТЬ

У цьому стандарті використані терміни, наведені в Д 653, а також наступні:

- 3.1. **Цілісність палі** – відповідність проекту параметрів стовбуру палі.
- 3.2. **Аномалія** – відхилення, яке спостерігається в сигналограмі хвильового процесу, що вказує на можливу ваду, або дефект.
- 3.3. **Дефект** – будь які відхилення від проекту в стовбурі палі (ділянки звуження, або поширення перерізу, тріщини, раковини, включення ґрунту, або ділянки з пониженою масовою щільністю бетону, та інш.), які послабляють несучу здатність стовбуру палі.

4. ПОЗНАЧЕННЯ, СКОРОЧЕННЯ ТА ОДИНИЦІ ВИМІРУ

d (м) - діаметр стовбуру палі;

S (м²) – площа перетину палі;

l (м) - довжина палі;

t (с) - час подвійного розповсюдження хвилі в палі;

$$C_0 = \sqrt{\frac{E}{\rho}} = \frac{2 \cdot l}{t} \text{ (м/сек)}$$

– "стрижнева" або "групова" швидкість пружної хвилі стискання в палі;

$$\lambda = C_0 / f = 2C_0 \tau \text{ (м)}$$

– довжина хвилі;

f (Гц) – верхня гранична частота в імпульсі;

τ (с) – тривалість імпульсу стискання;

$$R_a = \frac{\rho C_0}{S},$$

– хвильовий (акустичний) опір;

$R_{ay} = C_0 \rho$ – питомий хвильовий опір (акустична жорсткість);

$$V = \frac{R'_a - R_a}{R'_a + R_a}, \quad W = \frac{2R'_a}{R'_a + R_a},$$

відповідно, коефіцієнти відбиття й переломлення пружний хвилі на дефектних ділянках;

R'_a і R_a – відповідно, хвильовий опір на дефектній й бездефектній ділянках;

$$\beta = \frac{1}{2l} \cdot \ln \frac{A_1}{A_2},$$

«просторовий» коефіцієнт загасання пружний хвилі;

A_1 і A_2 – відповідно, миттєві значення амплітуд зондувального (вихідного) і першого донного імпульсів. A_n – миттєве значення амплітуди імпульсу відбиття від дефекту;

5. ЗАСТОСУВАННЯ ІМПУЛЬСНОГО ЛУНО-МЕТОДУ З УДАРНИМ ЗБУДЖЕННЯМ ПРУЖНИХ ХВИЛЬ

5.1. Загальні положення.

5.1.1. Імпульсний луно-метод з ударним збудженням повздовжніх пружних хвиль з одного торця буронабивних паль і стовпів, у світовій практиці, застосовується у двох напрямках:

– діагностування (тестування) якісних показників стовбуру палі при застосуванні малої енергії удару;

– одночасне тестування якісних показників і несучої здатності палі при застосуванні великої енергії удару, коли від ударного навантаження на торець палі, напруги в бетоні досягають, або перевищують межу пружності (пропорційності) – в даному стандарті не розглядається.

5.1.1. Методи випробувань палі при застосуванні малої енергії удару:

– метод імпульсної луни (МІЛ) – рух поверхні голови палі вимірюється як функція часу. Запис у часовій області потім оцінюється цілісність стовбуру палі;

– перехідний метод відлуння (ПМВ) – рух поверхні голови палі й сила (вимірюється за допомогою інструментального молотка) вимірюють як функцію часу. Дані оцінюються, як правило, у частотній області.

5.1.2. Обстеження повинні проводитися не раніше, ніж через 3-7 діб після бетонування в залежності від класу бетону і діаметру стовбуру (стовбури більшого діаметру ближче до 7 діб).

5.1.3. У разі виявлення дефектів подальші обстеження слід проводити за допомогою інших методів або випробувань.

5.1.4. Методи МІЛ і ПМВ не надають інформацію про несучу здатність палі.

ПРИМІТКА 3. *Заходи, спрямовані на відновлення („лікування”) структури стовбуру палі, якщо дефект підтверджено, визначає головний конструктор проекту.*

5.2. Принципи застосування імпульсного луно-методу (теоретичні основи методу)

При ударі молотка, або іншого ударного пристрою, в осьовому напрямку по торцю палі (див. Рис.1), в стовбурі палі збуджується імпульс стискання, який розповсюджується вздовж палі у вигляді повздовжньої пружної хвилі стискання (далі хвиля стискання). У даному випадку паля представляє собою одномірний хвилевід, електричним аналогом якого є довга лінія передачі[1-3]. Таким чином, хвиля стискання, при розповсюдженні повздовж палі буде відбиватися від тих ділянок, де змінюється хвильовий опір, а також від кінців палі. Приймач пружних хвиль (датчик швидкості або прискорення), встановлений поруч з точкою збудження, сприймає зондувальний і відбиті імпульси. Миттєві значення цих сигналів, що пропорційні швидкості або прискоренню переміщення поверхні торця палі, фіксуються в функції часу за допомогою пристрою, що перетворює їх у цифровий вид, та передає в комп'ютер для подальшої обробки.

Ударний імпульс має широкий частотний спектр і представляє собою суперпозицію синусоїдальних складових з різними частотами. Кожна складова ударного імпульсу

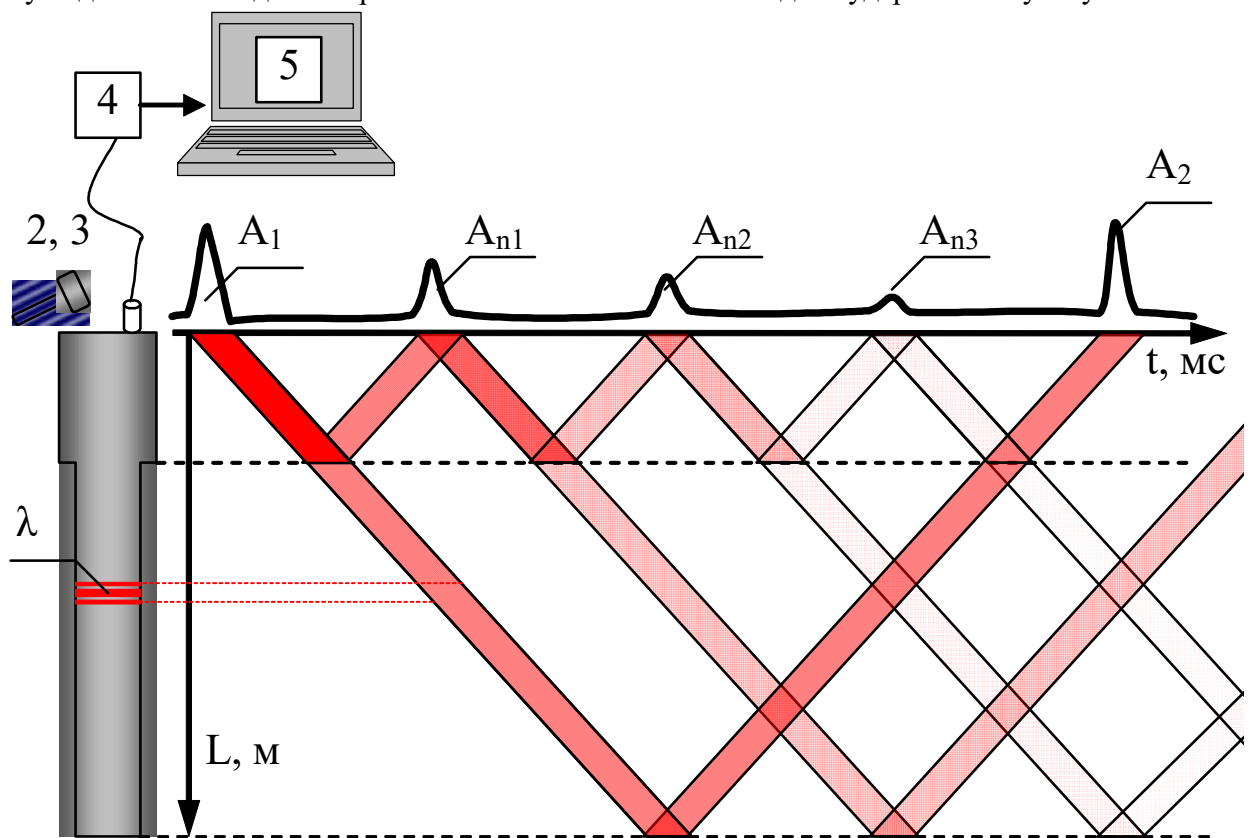


Рис.1 Спрощена схема луно-дефектоскопії палі.

1 – паля; 2 і 3 – збуджувач та приймач пружних хвиль; 4 – контролер; 5 – комп'ютер; A_1 і A_2 – зондувальний і відбитий сигнали; A_n – відбиття від дефекту; λ - довжина пружної хвилі.

розповсюджується повздовж палі зі своєю фазовою швидкістю в залежності від співвідношення довжини хвилі до діаметру палі. Тому при розповсюдженні в пружно-в'язкому середовищі (бетон і залізобетон), за рахунок дисперсії, імпульс стискання буде загасати та поширюватись в часі і набувати форму близьку до дзвін подібної. Пружна хвиля буде мати плоский передній фронт вже на відстані, яке дорівнює величині 3-х діаметрів палі від точки збудження. Згідно теорії розповсюдження повздовжніх пружних хвиль у твердих

одномірних стрижневих системах [1, 2], без дисперсії і з постійною швидкістю буде розповсюджуватись та група синусоїдальних складових ударного імпульсу, в яких довжина хвилі більша по відношенню до діаметру палі, а саме коли виконуються співвідношення:

$$0.1 < \frac{d}{\lambda} \leq 0.5, \quad (1)$$

де: d - діаметр стовбуру палі, м; $\lambda = C_0/f = 2C_0\tau$ - довжина хвилі, м.; f - верхня гранична частота в імпульсі, Гц; τ - тривалість імпульсу стискання, с.

У даному випадку "групова", або "стрижнева" швидкість пружний хвилі, яка залежить лише від модулю пружності (E) і масовий щільності (ρ) матеріалу палі, і просторовий коефіцієнт загасання відповідно дорівнюють:

$$C_0 = \sqrt{\frac{E}{\rho}} = \frac{2 \cdot l}{t}, \quad (2)$$

$$\beta = \frac{1}{2l} \cdot \ln \frac{A_1}{A_2}, \quad (3)$$

де: l - довжина палі; t - час подвійного пробігу хвилі, заміряний між вершинами, або першими вступами зондувального (A_1) і першого донного (A_2) імпульсів.

Хвилевід, по якому поширюється хвиля стиску, характеризується акустичним або хвильовим опором:

$$R_a = \frac{\rho C_0}{S}, \quad (4)$$

де: S - перетин хвилеводу, м²; $R_{av} = C_0\rho$ (Па · с/м) - акустична жорсткість або питомий хвильовий опір.

Якщо на шляху хвилі перебуває ділянка з іншим хвильовим опором, то на цій ділянці хвиля буде відбиватися й переломлюватися з певними коефіцієнтами відбиття й переломлення. При одномірному поширенні плоскої хвилі стиску по пружному хвилеводу перешкоди будь-якої форми можна розглядати як плоско-паралельну ділянку, або послідовність плоско-паралельних ділянок. Таким чином, пружна хвиля буде переломлятися і відбиватися від тих ділянок, де змінюється хвильовий опір перерізу та від кінця конструкції. Коефіцієнти відбиття й переломлення, обумовлені по відомих формулах Френеля при нормальному падінні плоскої хвилі на плоску перешкоду:

$$V = \frac{R'_a - R_a}{R'_a + R_a}, \quad (5)$$

$$W = \frac{2R'_a}{R'_a + R_a}, \quad (6)$$

де: R'_a і R_a - відповідно хвильовий опір на дефектній й бездефектній ділянках.

Переломлюючись, хвиля стиску не змінює свого напрямку, а при кожному черговому відбитті знак напрямку хвилі завжди змінюється. У випадку вільного кінця або при $R'_a < R_a$, коли коефіцієнт відбиття має негативне значення, хвиля стиску відбивається у вигляді

подібної їй хвилі розтягання, й навпаки, при $R'_a > R_a$ – у вигляді хвилі стиску. Останнє має місце при міцних включеннях, поширеннях, або при обпиранні палі на більш міцні скальні ґрунти. Форма, тривалість і полярність імпульсів відбиття і переломлення залежать від співвідношення довжини хвилі стиску до довжини аномальної (дефектної) ділянки. Таким чином, кожному розподілу хвильових опорів повздож стовбуру палі, відповідає сигналограма хвильового процесу в цій палі.

В додатку 1 наведені моделі палі з типовими розподілами хвильових опорів повздож стовбуру, що найчастіше зустрічаються на практиці, та відповідні їм сигналограми хвильових процесів.

ПРИМІТКА 4. Деякі значення акустичний жорсткості (для порівняння):

бетон високої якості (B25-30), що застосовується для палі - $R_{ay} = 10.8E5 \text{ Па}\cdot\text{с}/\text{м}$;

бетон низької якості (нижче B20) $R_{ay} = 2.8...5E5 \text{ Па}\cdot\text{с}/\text{м}$;

вода - $R_{ay} = 1.4E5 \text{ Па}\cdot\text{с}/\text{м}$;

повітря - $R_{ay} = 43 \text{ Па}\cdot\text{с}/\text{м}$.

5.3. Обмеження методу

5.3.1. Метод, як правило, не підходить для обстежень:

- незаповнених бетоном трубних палі (бетонні або сталеві) та палі Н-подібного профілю;
- палі, довжиною понад 60 діаметрів (в залежності від ґрунту, який оточує палю, та віку палі, тому що з віком палі значно зростає зчеплення її боковий поверхні з ґрунтом).

5.3.2. Оцінка цілісності перетину палі нижче дефекту, який перетинає всю площу поперечного перерізу палі або виготовленого механічного з'єднання (стиків забивні палі), звичайно не представляється можливою, оскільки пружня хвиля, імовірно, буде повністю відбиватися на розриві. Палі із сильно мінливими поперечними перерізами або множинні неоднорідності можуть бути складними для оцінки. У деяких випадках може бути важко відрізнити реакцію ґрунту від реакції палі.

5.3.3. Якщо відбиття від п'яти не видно в записах, оцінка цілісності може бути не остаточною й може бути обмежена певною невідомою глибиною. Це обмеження може застосовуватися до довгих або сильно мінливих палі, або палі у ґрунтах, які виявляють відносно високе зчеплення.

5.3.4. Метод не дає можливості визначати клас бетону палі за відсутності кореляційної залежності між швидкістю пружних хвиль та міцністю бетону конструкції, що обстежується. Для визначення міцності бетону палі необхідно побудувати кореляційну залежність “міцність-швидкість пружних хвиль” з використанням дослідних зразків бетону палі для даної конструкції або вибурених із неї кернів (у кількості не менше 3 шт. та діаметром 100-150 мм).

5.3.5. Обстеження палі, що закриті ростверком або під існуючою будівлею, які не мають доступу до оголовку. Таки палі, іноді успішно проходять випробування, хоча оцінка часто може бути більш складною й непереконливою. У деяких випадках, зв'язаних із вбудованими надбудовами, може знадобитися використання двох датчиків виміру руху, прикріплених у двох різних місцях уздовж стовбура палі. В будь-якому випадку ці обстеження потребують додаткової програми. Програму для обстежень з бічних поверхонь, або з поверхні ростверку, складає фахівець 3-го рівня з неруйнівного контролю, який має досвід роботи з 3-5 років

6. ЗАСОБИ ТА ОБЛАДНАННЯ ІМПУЛЬСНОГО ЛУНО-МЕТОДУ

6.1. Збудження пружних хвиль.

6.1.1. **Збудження пружних хвиль.** Удар може бути нанесений будь-яким пристроєм (наприклад, звичайним ручним молотком, або оснащеним датчиком сили інструментальним молотком), який буде збуджувати імпульс стискання, як правило, менш 1 мс, без ушкодження поверхні палі в точці прикладення удару. Інструментальний молоток, оснащений датчиком сили, повинен вимірювати силу удару як функцію часу. Допускається використання інструментального молотка з акселерометром для отримання значень сили удару (див. 6.2.2).

6.1.2. **Застосування сили удару.** В залежності від параметрів палі (діаметр і довжина) використовуються молотки масою від 0,25 до 5 кг. Максимальна сила удару, як правило, у тисячу разів перевищує масу молотка, тобто при використанні молотка масою 5 кг, амплітудне значення сили удару може досягати 50 кН. Тому бажано використовувати молоток з пластиковим наконечником, який по відношенню до бетону, має меншу жорсткість, і при ударі не буде викликати локальне ушкодження поверхні в точці прикладення удару.

6.1.3. **Напряме нанесення удару.** Удар повинен бути нанесений в осьовому напрямку до палі (бажано по центру оголовку палі). Якщо поверхня оголовку палі недоступна, наприклад, коли вона вже вбудована в конструкцію, удар може бути нанесено, також в осьовому напрямку до палі, з бічної поверхні стовбуру (див. 5.3.5).

6.2. Реєстрація і вимір даних обстежень

6.2.1. **Реєстрація параметрів хвильових процесів в палі.** В якості приймача пружних хвиль використовуються датчики руху - електромагнітні датчики швидкості, або датчики прискорення (п'єзоелектричні акселерометри), які мають рівномірну частотну характеристику, відповідно, до 20 і 30 кГц. Приймач пружних хвиль бажано розміщати на відстані не менше 300 мм від центру поверхні палі (точки нанесення удару), а його вісь чутливості повинна співпадати з віссю палі. Якщо поверхня оголовку палі недоступна, наприклад, коли вона вже вбудована в конструкцію, приймач пружних хвиль може бути прикріплений до бічної частини стовбура палі. Для створення акустичного контакту між поверхнею палі і приймачем використовуються віск, вазелін, або морозостійкі спеціальні мастики.

6.2.2. Вимір сили удару

Ударний пристрій повинний бути здатним вимірювати силу удару як функція часу. Ударний пристрій може мати вмонтований в наконечнику (інденторі) датчик сили. Альтернативно, до інструментального молотка може бути приєднаний акселерометр, і вимірюване їм прискорення може бути перераховане в силу з урахуванням ударної маси молотка. Ударний пристрій повинен бути налаштований таким чином, що Фур'є-перетворення вимірюваної сили повинно мати гладкий спектр, без яких-небудь локальних піків. Акселерометр повинен бути лінійними до 50g, і мати резонансну частоту не менш 30 кГц. Калібрування сили повинно бути в межах 5%.

6.3. Передача сигналів

Сигнали від датчиків повинні передаватися на пристрій для реєстрації, збереження й відображення даних за допомогою завадозахищеного (екранованого) кабелю.

6.4. Обладнання збору, збереження, обробки та відображення даних

6.4.1. Загальні положення. Сигнали від приймача пружних хвиль та датчика сили удару повинні передаватися на пристрій для реєстрації, збереження й відображення даних, як функція часу, у вигляді сигналограм - залежності швидкості пружної хвилі і сили удару від часу. Тому, для підвищення якості аналізу та інтерпретації отриманих результатів, пристрій повинний виконувати наступні функції:

– усереднювання даних декількох ударів і зберігання цих даних для подальшого аналізу, щоб підсилити повторювану інформацію про впливи ґрунту й палі, зменшуючи при цьому випадкові шумові ефекти.

– для компенсації загасання пружної хвилі застосовувати часово-амплітудне регулювання посилення. Для цього використовується експоненціальне посилення. У добре збалансованих сигналограмах хвильових процесів амплітуди піків зонduючого та відбитого від кінця палі сигналів (відповідно A_1 і A_2) повинні мати приблизно однакову амплітуду (див. Рис.2);

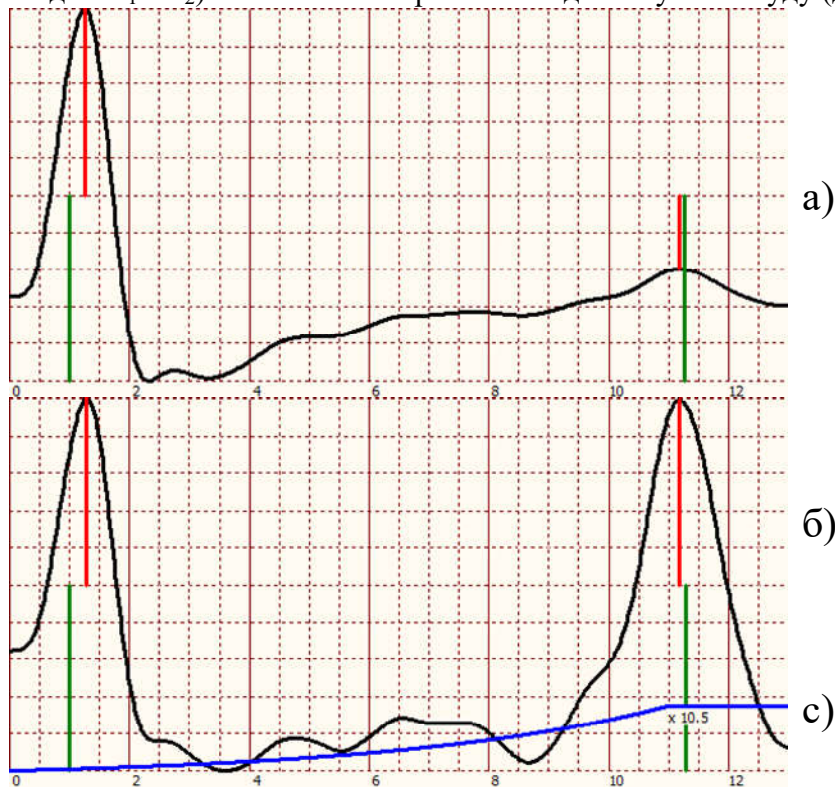


Рис.2. Типова сигналограма хвильового процесу в бездефектній буровій palі, отримана без підсилення (а) і з підсиленням сигналів (б) від приймача пружних хвиль в функції часу (с).

- фільтрацію з змінними частотними межами для виключення високочастотних або низькочастотних компонентів сигналу, або обох.
- використання аналого-цифрового перетворювача з роздільною здатністю не менш 12 біт (бажано 16 біт або більше). Щоб компоненти сигналу мали низьку частоту зрізу 5 000 Гц (-3 дБ), тому частота вибірки повинна становити не менш 25 кГц для кожного датчика – приймача пружних хвиль та датчика сили, або акселерометра інструментального молотка, якщо вони використовуються. Однорідність і точність частоти дискретизації мають

вирішальне значення. Тому точність частоти дискретизації повинна, бути в межах 0,01%. Аналогові системи збору даних не прийнятні.

До кожної оцифрованої події повинні бути прикладені ідентифікуючі імена й описи інформації, параметри поліпшення обробки сигналів, а також мітки дати й часу. Цифровий запис повинен зберігатися постійно. Пристрій повинний бути здатним передавати всі дані на постійний носій даних.

6.4.3. Збереження та відображення даних обстежень. Пристрій для збереження сигналів від перетворювачів повинен являти собою цифровий комп'ютер, здатний виконувати щонайменше наступні функції:

– **Дані про швидкість.** Якщо використовуються акселерометри, пристрій повинний забезпечувати перетворення сигналу й інтегрувати прискорення для одержання швидкості. Пристрій повинен збалансовувати сигнал швидкості до нуля між подіями удару.

– **Вимір сили.** Пристрій повинен забезпечувати формування сигналу й посилення, для виміру сили. Вихідне зусилля повинне бути збалансоване до нуля між ударами.

– **Формування сигналу.** Дані про силу й швидкості повинні мати однакові частотні характеристики, щоб уникнути відносних зрушень фаз і різниць амплітуд.

ПРИМІТКА 5. Як правило, рекомендується, щоб усі компоненти пристрою для одержання динамічних вимірів і пристрою для реєстрації, збереження й відображення даних були відкалібровані, якщо які-небудь ознаки збоїв системи стають очевидними або якщо цього вимагають технічні умови проекту. Звичайно не потрібна калібрування амплітуди для датчиків, що виходять за межі первісного калібрування виробника. Амплітуда для одного виміру руху навіть не має значення, оскільки вона нормалізована. Базу часу можна перевірити, протестувавши систему на стрижнях відомої довжини L і відомої швидкості хвилі C (наприклад, сталь) і спостерігаючи, чи вертається відбиття від кінця стрижня в очікуваний час $2L/C$ (у межах 2%).

7. Процедура підготовки та виконання обстежень

7.1. Загальні положення

7.1.1. Монолітні бетонні палі і стовпи, баретти або бетонні трубні палі повинні обстежуватись не раніше, чим через 7 днів після завершення бетонування або після того, як міцність бетону досягне не менш 75% його проектної міцності, залежно від того, що настане раніше.

7.1.2. Забивні залізобетонні палі можливо обстежувати не раніше 3-6 діб після занурення паль в залежності від типу ґрунту (3 доби – в пісочні ґрунті, крім водо насичених дрібних і пилюватих; 6 діб – в глинистих і різномірних ґрунтах).

7.1.3. Поверхня голови палі повинна бути доступною, горизонтальною, очищеною від бруду до якісного бетону, міцність якого відповідає проектному значенню.

7.1.4. Малі ділянки поверхні, підготовлені для кріплення приймача пружних хвиль і нанесення удару, повинні мати граничну шорсткість 2 мм.

7.1.5. Для паль діаметром понад 500 мм повинно бути підготовлено не менш 3-х ділянок для кріплення датчику руху, що надає можливість виконати якісну оцінку стану стовбуру палі поряд з поверхнею оголовку.

7.1.6. В момент обстеження паль не припустима робота механізмів, які викликають вібраційні впливи.

7.2. Підготовка палі до обстежень

7.2.1. Переконайтесь, що поверхня оголовку палі має доступ для обстежень у відповідності до п.п. 7.1.4 і 7.1.5 (при необхідності підготувати поверхню ділянок, за допомогою ручної шліфувальної машини, для кріплення датчика руху і нанесення удару).

7.2.2. Надійно закріпіть датчик руху (тобто необхідно забезпечити акустичний контакт між датчиком і бетоном оголовку палі).

7.2.3. Налаштуйте і настройте пристрій для реєстрації, збереження й відображення даних і по центру поверхні палі молотком, або датчиком сили, нанесіть контрольний удар та переконайтесь, що пристрої працюють.

7.2.4. Запишіть для кожний обстежений палі наступну інформацію:

- будівельний майданчик (будівельна адреса згідно проекту);
- тип та проектні данні палі (номер, діаметр, довжина, клас бетону);
- дата виготовлення і обстеження палі; у випадку необхідності, данні геологічного розрізу об'єкту.

7.3. Виконання обстежень

7.3.1. Здійсніть декілька ударів по поверхні оголовку палі і запишіть кожний окремий вплив або середнє значення, якщо потрібно, або обидва. У випадку, коли реєструються тільки окремі впливи, переконаєтесь, що на пристрій для запису, збереження й відображення даних, записано не менш 10 окремих записів. Запишіть кількість впливів для точного усередненого запису сигналограми хвильового процесу.

7.3.2. Переконайтесь, що сигнали повторюються і не перевищують поріг насиченості. Якщо в результаті послідовних ударів були зареєстровані відмінні один від одного сигнали, необхідно, змінивши положення датчика на поверхні оголовку палі, повторити випробування до отримання сигналів, що повторюються. Не використовуйте записи ударів, які викликають насичення вимірювального пристрою. У випадку, коли причиною недостовірних даних є не проблема кріплення датчика руху, а очевидна несправність датчика, відремонтуйте або відкалібруйте його перед подальшим використанням.

7.3.3. Якщо, в процесі попереднього аналізу отриманої при обстеженні палі сигналограми, або в сигналограмах, буде виявлено дефект, необхідно обстежити найближчі до неї палі.

8. Аналіз та інтерпретація результатів обстежень

8.1. Загальні положення

Аналіз сигналограм хвильових процесів та інтерпретація результатів обстеження палі повинна виконуватись фахівцем з неруйнівного контролю, який якій має кваліфікаційний рівень 2-3, і досвід не менш 3х років за допомогою спеціального програмного забезпечення.

9. Зміст звіту

9.1. Назва організацій, яка виконувала обстеження.

9.2. Ідентифікація об'єкту та замовника (шифр проекту, будівельна адреса об'єкту, позначення елемента фундаменту тощо).

9.3. Дата проведення обстежень.

9.4. Дані щодо метрологічної атестації застосованого пристрою.

9.5. Дані щодо виконавців та особи, відповідальної за виконані обстеження.

9.6. Мета обстежень згідно з технічним завданням замовника.

9.7. Посилання на нормативні документи та літературу, які були використані при обстеженні та аналізі результатів.

9.8. Методика обстежень та при необхідності опис пристрою обстеження.

9.9. Для кожної обстеженої палі повинно бути надано ідентифікація палі та графічне зображення (сигналограма хвильового процесу) з показником експоненти аналого-цифрового підсилювача, а також результати аналізу:

- визначені швидкість пружної хвилі і довжина палі;

- зауваження по стовбуру палі (характер і параметри дефектних ділянок при їх наявності).

9.10. Загальний висновок.

ПРИМІТКА 6. Загальний висновок роблять на основі комплексного аналізу результатів усіх обстежених і наведених у звіті палей.

ПРИМІТКА 7. Будь-яка подальша інтерпретація є якісного характеру. Тому оцінка придатності та несучої здатності обстежених палей повинна проводитися інженером, що має спеціалізований досвід у цій галузі (головним конструктором проекту), і виходить за рамки цього стандарту.

10. Вимоги безпеки

10.1. До випробувань допускаються особи (не менш 2-х), що пройшли інструктаж з техніки безпеки на будівельному об'єкті замовника.

10.2. Додаткові заходи з техніки безпеки, що пов'язані зі специфікою проведення обстежень, повинні передбачатися в технологічних картах або програмах робіт.

10.3. Замовник зобов'язаний забезпечити умови для безпечної роботи при виконанні обстежень.

11. Точність і відхилення

11.1. **Точність** – Точність процедури в цьому методі випробувань для прямих вимірів руху й сили (необов'язково) важко визначити через мінливість характеристик палей й матеріалів, у яких вона перебуває.

Похибка вимірювань для цього методу із зазначеними вище визначеннями становить 3% від тривалості пробігу, починаючи з моменту збудження хвилі і закінчуючи поверненням відбитої хвилі.

11.2. **Відхилення** - у процедурі, описаній в цьому методі випробувань, не можна зробити обґрунтоване формулювання відхилення, оскільки не існує стандартних значень, до яких можуть бути прив'язані вимірювані значення.

Бібліографія

1. Тимошенко С.П., Гудьер Дж., Теория упругости. М., "Наука", 1975, 320с.

2. Дейвис Р.М. Волны напряжения в твёрдых телах. "Иностранная литература". М., 1961, 100с.

3. Бьюлей Л.В. Волновые процессы в линиях передачи и трансформаторах. ОНТИ. М.-Л., 1938.

4. ДСТУ Б В.2.7-226:2009 Бетони ультразвуковий метод визначення міцності.

5. ДСТУ Б 6.2.7-224:2009 Будівельні матеріали. Бетони. Правила контролю міцності.

6. ДСТУ 3400:2006 Державні випробування засобів вимірювальної техніки. Основні положення, організація, порядок проведення й розгляду результатів.

7. ДСТУ 3215-95 Метрологія. Метрологічна атестація засобів вимірювальної техніки. Організація та порядок проведення.

8. D1143 Test Method for Piles Under Static Axial Compressive Load(Withdrawn 2005)
9. D3740 Practice for Minimum Requirements for Agencies Engaged in Testing and/or Inspection of Soil and Rock as Used in Engineering Design and Construction
10. D4945 Test Method for High-Strain Dynamic Testing of Deep Foundations
11. D5882 Test Method for Low Strain Impact Integrity Testing of Deep Foundations
12. D6026 Practice for Using Significant Digits in Geotechnical Data
13. D660 Test Method for Integrity Testing of Concrete Deep Foundations by Ultrasonic Crosshole Testin
14. D7949 Test Methods for Thermal Integrity Profiling of Concrete Deep Foundations

Ключові слова

Ударний імпульс-вплив; Цілісність; Низька напруга; Неруйнуючий; Палі; Швидкість; Пружна хвиля стиску; Хвильовий опор; Акустична жорсткість; Плоский передній фронт хвилі.

Додаток 1

Моделі хвильових процесів у палях з типовими розподілами хвильових опорів повздовж стовбуру, що найчастіше зустрічаються на практиці.



