

9. Шутенко Л.Н., Торкатюк В.И., Золотова Н.М., Бутник С.В., Марюхин А.В. Технология нанесения акриловых клеев на подготовленную поверхность старого бетона при его соединении с новым // Коммунальное хозяйство городов: Науч.-техн. сб. Вып.58. – К.: Техніка, 2004. – С.29-37.
10. Торкатюк В.И., Золотова Н.М. Определение некоторых параметров технологического процесса соединения старого бетона с новым акриловыми клеями // Строительство, материаловедение, машиностроение: Сб. науч. тр. Вып.43. – Днепропетровск: ПГАСА, 2007. – С.564-570.
11. Строительное производство: Энциклопедия. – М.: Стройиздат, 1999. – 280 с.
12. Фокин М.Н., Емельянов Ю.В. Защитные покрытия в химической промышленности. – М.: Химия, 1991. – 304 с.

УДК 620.179.1.001.5

ДИАГНОСТИКА ЗАЛІЗОБЕТОННИХ ПАЛІ З УРАХУВАННЯМ ПОПЕРЕЧНИХ ТА ПОПЕРЕЧНИХ КОЛИВАНЬ

д.т.н., проф. Калюх Ю.І., м.н.с. Вусатюк А.Є.

Державне підприємство «Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій» ДП НДІБК

Влаштування палевих фундаментів є одним з основних і важливих видів робіт в будівельній практиці. Проте підрядні організації у ряді випадків надто формально відносяться до їх складання, до ведення журналів виробництва палевих робіт. У зв'язку з цим при влаштуванні палей необхідна відпрацьована система контролю їхньої якості. Це в однаковій мірі відноситься до влаштування палей за будь-якими відомими технологіями — до буронабивних, буроін'єкційних, забивних чи вдавлюваних палей [1].

Контроль суцільності стовбура буронабивних, а особливо буроін'єкційних палей дуже важливий, так як порушення технології може призвести до значного зниження несучої здатності палей, як за ґрунтом, так і за матеріалом.

Типовими дефектами буроін'єкційних палей є: тріщина у стовбурі палей, каверна, ослаблення перетину палей або шийка, обрив стовбура палей, потовщення стовбура палей або опуклість, зрослі палей [2].

Влаштування палевих основ із забивних палей — значно швидший процес порівняно з буровими. Цей вид палей більш широко використовується в нашій країні. При масовому забиванні палей, в багатьох випадках має місце порушення суцільності палей, обумовлене неякісним виконанням стику складених палей, утворенням тріщин у палей при складуванні, при монтажі на стрілу палезабивних агрегатів, а також прихованими дефектами виготовлення стовбура палей [1].

Основними видами пошкоджень у забивних палей є поздовжні тріщини, поперечні тріщини, сколювання, косий злам та руйнування палей з витісненням шматків бетону у ґрунт.

Залізобетонні палей, на відміну від інших залізобетонних конструкцій, мають декілька особливостей. По-перше, доступ до занурених у ґрунт залізобетонних палей обмежений одним вільним торцем та бічною поверхнею, сумарна площа яких, як правило, становить не більше 12% від загальної площі поверхні палей. По-друге, у процесі влаштування залізобетонних палей у ґрунт можуть виникати не характерні для інших типів залізобетонних конструкцій дефекти. По-третє, твердіння бетонної суміші палей у вертикальному її положенні призводить до нерівномірності впливу власної ваги палей по її довжині. Як наслідок, можлива неоднорідність конструкції — фізико-механічні властивості бетону по довжині палей суттєво відрізняються.

На методи оцінювання технічного стану залізобетонних палей у зв'язку з наведеними особливостями накладаються обмеження, які не дозволяють використовувати стандартні методи неруйнівного контролю і технічної діагностики, що діють для більшості типів залізобетонних конструкцій.

Єдиним перспективним виходом із ситуації стала розробка нових методів діагностики, які б враховували всю специфіку складності робіт із залізобетонними палей у ґрунті. Такими стали методи, що використовували збудження низькочастотної хвилі імпульсу (low strain integrity testing): impact-echo, pile driving analysis, dynamic testing, parallel seismic test, impedance log test та ін.

Всі існуючі на сьогоднішній день методики контролю влаштованих у ґрунт залізобетонних палей базуються на різновидностях теоретичної моделі, що використовує лише поздовжні коливання:

1. Модель, що не враховує в'язку складову (прилад ТКС—1, ДП НДІБК [3])

$$\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} = \frac{1}{v^2} \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} \quad (1)$$

2. Модель Максвелла (прилад КСДК—3.3, КНУБА [4])

$$\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} = \frac{1}{c_0^2} \left(\frac{\partial^2 u}{\partial t^2} + \frac{1}{\beta} \frac{\partial u}{\partial t} \right) \quad (2)$$

3. Модель Фойхта-Кельвіна (використовується у роботах більшості дослідників з питань діагностики палей, серед яких Ліао [5], Кім [6], Амброзіні [7] та ін.)

$$\rho \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = E \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \eta \frac{\partial^3 u}{\partial x^2 \partial t} \quad (3)$$

Кім у своїх роботах [6] порівняв числові та експериментальні дослідження з вивчення можливостей використання ударного луно-методу для

дефектоскопії на спеціально створених моделях палей з круглим поперечним перерізом. На стрижнях довжиною 1м та діаметром 10см, виконаних з твердого однорідного матеріалу, моделювалися характерні типи дефектів: симетричні пустоти (axisymmetric voids), несиметричні пустоти (non-axisymmetric voids), шийки (necks) та опуклості (bulbs). Розмір дефектів змінювався від 30% до 80% площі поперечного перерізу моделей, місце знаходження — на відмітках 40 та 60см (рис. 1). Випробування стрижнів проводилися у двох середовищах: повітрі та сипучому піску.

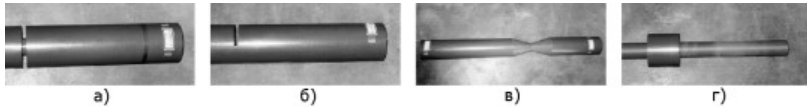


Рис. 1. Моделі стрижнів зі штучними дефектами, розроблені Кімом: а) симетричні пустоти, б) несиметричні пустоти, в) шийки та г) опуклості

Порівняння теоретичної та експериментальної моделей дали змогу Кіму та його співавторам отримати такі висновки:

- 1) Місце знаходження таких дефектів, як симетричні пустоти, несиметричні пустоти та шийки, можуть бути знайдені за допомогою амплітудного спектру, якщо розмір цих дефектів перевищує 50% площі поперечного перерізу стрижня. У той же час дефекти можуть бути знайдені за допомогою сигналів, якщо площа поперечного перерізу перевищує 30%.
- 2) Точне місце розташування дефектів не може бути визначено за допомогою резонансної частоти, навіть якщо звуження площі поперечного перерізу на цьому дефекті перевищує 80%, якщо резонансна частота, що відповідає дефекту, накладається на другу і/або третю резонансну частоту, що відповідає довжині стрижня. В цьому випадку, місце знаходження дефектів може бути визначено більш достовірно за часом прибуття відклику, а ніж за амплітудним спектром.
- 3) Опуклість стрижня можна визначити та відрізнити від пустот будь-якого типу за напрямком відповідного сигналу в сигналограмі та відношенню першої резонансної частоти до другої.

Отримані висновки свідчать про те, що можливості діагностики залізобетонних палей за цією технологією не завжди надає достовірні результати. Дефекти, розміри яких менше 30% від площі поперечного перерізу палі, ідентифікувати не вдається взагалі, навіть в умовах, близьких до ідеальних. У реальних умовах проблеми можуть виникнути і з виявленням значно більших дефектів, з урахуванням неоднорідності бетону, нерівномірності фізико-механічних властивостей бетону, зміни форми поперечного перерізу та ґрунтових умов по довжині палі, можливість наявності декількох дефектів та ін.

Результати, отримані Кімом при використанні ударного луно-методу, аналогічні результатам Ліао та інших дослідників, що використовували інші методи збудження низькочастотної хвилі імпульсу, такі як: pile driving analysis, dynamic testing, parallel seismic test, impedance log test.

Теоретична модель хвильових процесів, що використовувалася Ліао, Амброзіні та Кімом, одна й та сама. Результати, що вона надає, найкращі у порівнянні з іншими моделями. Проте й вона не здатна задовольнити всі вимоги щодо контролю палей, такі як: ідентифікація дефектів малих розмірів, визначення типу дефекту та геометрична форма палі.

Такий факт не є дивним з тієї точки зору, що всі описані моделі використовували формули розповсюдження лише поздовжніх коливань. Поздовжні коливання дозволили отримати характеристики палі по її довжині: довжина палі та місце знаходження дефектів. Проблеми виникали лише там, де необхідно було отримати інформацію стосовно характеристик поперечного перерізу палі на глибині дефектів. Для виявлення цих характеристик необхідно, очевидно, враховувати у теоретичній моделі розповсюдження не тільки поздовжніх, а й поперечних хвиль також. Далі у статті буде показана процедура побудови такої моделі.

Будемо розглядати залізобетонну палю як вагому гнучку нитку. Для виведення рівнянь нелінійної динаміки вагової гнучкої нитки введемо наступну трійку взаємно ортогональних одиничних векторів дотичної, нормалі, бінормалі:

$$\begin{aligned} \bar{i} &= \bar{i} \cos \theta \cos \varphi - \bar{j} \sin \theta \cos \varphi - \bar{k} \sin \varphi; \\ \bar{n} &= \bar{i} (-\cos \theta \sin \varphi) + \bar{j} \sin \theta \sin \varphi - \bar{k} \cos \varphi; \\ \bar{b} &= \bar{i} \sin \theta + \bar{j} \cos \theta. \end{aligned} \quad (4)$$

Розглянемо систему координат, зображену на рис. 2.

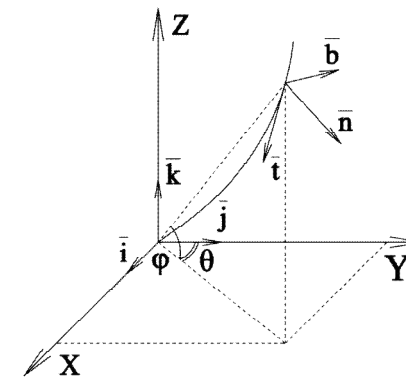


Рис. 2. Система координат $(\bar{i}, \bar{n}, \bar{b}) = (\bar{i}, \bar{j}, \bar{k})_{ABC}$

Виходячи з (4), перетворення системи координат можна записати:

$$ABC = \begin{bmatrix} \cos \theta \cos \varphi & -\sin \varphi \cos \theta & \sin \theta \\ -\cos \varphi \sin \theta & \sin \theta \sin \varphi & \cos \theta \\ -\sin \varphi & -\cos \varphi & 0 \end{bmatrix} \quad (5)$$

Прийемо наступні позначення:

$$(\dots)' = \frac{\partial}{\partial S}(\dots), \quad (\dots)^\bullet = \frac{\partial}{\partial t}(\dots). \quad (6)$$

де: t — час, S — початкова довжина гнучкої нитки до розтягу.

Векторне рівняння моделі нелінійної динаміки гнучкої нитки з урахуванням співвідношень (4-6) прийме вигляд [8]:

$$\begin{aligned} T\bar{t}' + T\varphi\bar{n}' - T\theta\cos\varphi\bar{b}' - w(\bar{t}\sin\varphi + \bar{n}\cos\varphi) - m(\dot{u}_t - u_n\dot{\varphi} + u_b\dot{\theta}\cos\varphi)\bar{t} + \\ + \frac{mu_t e\dot{T}}{1+eT}\bar{t} - m(\dot{u}_n + u_t\dot{\varphi} - u_b\dot{\theta}\sin\varphi)\bar{n} + \frac{mu_n e\dot{T}}{1+eT}\bar{n} - \\ - m(\dot{u}_b - u_t\dot{\theta}\cos\varphi + u_n\dot{\theta}\sin\varphi)\bar{b} + \frac{mu_b e\dot{T}}{1+eT}\bar{b} = 0, \end{aligned} \quad (7)$$

де: T — сила натягу; u_t , u_n , u_b — проекції швидкостей на вектори дотичної, нормалі та бінормалі відповідно; m , w — погонні маса та вага одиниці довжини поздовжньої системи до розтягу.

Проекція векторного рівняння (7) на вектори дотичної, нормалі, бінормалі дає систему трьох рівнянь, яка є незамкненою. Інші три рівняння отримуємо з умови неперервності змішаної похідної радіуса-вектора:

$$\frac{\partial^2 \bar{R}}{\partial t \partial S} = \frac{\partial^2 \bar{R}}{\partial S \partial t} \quad (8)$$

Приводимо отриману систему рівнянь до матричної форми запису та запишемо у вигляді матричного рівняння типу переносу стандартного вигляду:

$$E \frac{\partial W}{\partial t} + B \frac{\partial W}{\partial S} = D, \quad (9)$$

де: E — одинична матриця;

$$B = \begin{bmatrix} \frac{-u_t}{1+eT} & \frac{-u_n}{1+eT} & \frac{-u_b}{1+eT} & -\frac{1}{m} & 0 & 0 \\ \frac{-u_n}{1+eT} & \frac{u_t}{1+eT} & \frac{u_b \operatorname{tg} \varphi}{1+eT} & 0 & \frac{u_n^2 + u_t^2}{1+eT} - \frac{T}{m} & I_1 \\ \frac{-u_b}{1+eT} & 0 & \frac{u_t - u_n \operatorname{tg} \varphi}{1+eT} & 0 & \frac{u_n u_b}{1+eT} & I_2 \\ \frac{-1}{e} & 0 & 0 & 0 & \frac{u_n}{e} & \frac{-u_b \cos \varphi}{e} \\ 0 & \frac{-1}{1+eT} & 0 & 0 & \frac{-u_t}{1+eT} & \frac{u_b \sin \varphi}{1+eT} \\ 0 & 0 & \frac{1}{(1+eT)\cos \varphi} & 0 & 0 & \frac{u_n \operatorname{tg} \varphi - u_t}{1+eT} \end{bmatrix},$$

де:

$$\begin{aligned} I_1 &= \frac{u_b u_n}{1+eT} (\operatorname{tg} \varphi \sin \varphi - \cos \varphi) - \frac{2u_t u_b}{1+eT} \sin \varphi; \\ I_2 &= \frac{T}{m} \cos \varphi - \frac{u_b^2 \cos \varphi}{1+eT} + (u_t - u_n \operatorname{tg} \varphi)(u_n \sin \varphi - u_t \cos \varphi) \frac{1}{1+eT}. \end{aligned}$$

$$D = \begin{bmatrix} -\frac{\omega}{m} \sin \varphi \\ -\frac{\omega}{m} \cos \varphi \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad W = \begin{bmatrix} u_t \\ u_n \\ u_b \\ T \\ \varphi \\ \theta \end{bmatrix} \quad (10)$$

У якості граничних умов на верхньому кінці палі прийемо:

$$\begin{aligned} u_t &= \cos \theta \cos \varphi V_{0x} - \sin \theta \cos \varphi V_{0y} - \sin \varphi V_z \\ u_n &= -\cos \theta \sin \varphi V_{0x} + \sin \theta \sin \varphi V_{0y} - \cos \varphi V_z \\ u_b &= \sin \theta V_{0x} + \cos \theta V_{0y} \end{aligned} \quad (11)$$

де: $\bar{V}_0 = V_{0x}\bar{x} + V_{0y}\bar{y} + V_{0z}\bar{z}$ — початкова швидкість збудження низькочастотної хвилі імпульсу; якщо збудження виконується ударом з боку вільного торця палі, граничні умови приймають вигляд $u_t = u_0$; $u_n = 0$; $u_b = 0$.

Граничними умовами на нижньому кінці палі є умова динамічної рівності сил у точці взаємного дотику палі з ґрунтом:

$$\begin{aligned} T - wL\sin\varphi + m(\dot{u}_t - u_n\dot{\varphi} + u_b\dot{\theta}\cos\varphi) &= 0 \\ -wL\cos\varphi + m(\dot{u}_n + u_t\dot{\varphi} - u_b\dot{\theta}\sin\varphi) &= 0 \\ m(\dot{u}_b - u_t\dot{\theta}\cos\varphi + u_n\dot{\theta}\sin\varphi) &= 0, \end{aligned} \quad (12)$$

де L — довжина палі.

Отримана теоретична модель є розширенням одновимірної моделі до тривимірної. Якщо при отриманні системи рівнянь (10) не враховувати координати, що задаються одиничними векторами нормалі \bar{n} та бінормалі \bar{b} , замість системи з шести рівнянь отримаємо систему з двох:

$$\begin{aligned} \frac{\partial u_t}{\partial t} - \frac{1}{m} \frac{\partial T}{\partial S} &= -\frac{w}{m} \sin\varphi \\ \frac{\partial T}{\partial t} - \frac{1}{e} \frac{\partial u}{\partial S} &= 0 \end{aligned} \quad (13)$$

Продиференціювавши перше рівняння системи по t , а друге по S , отримуємо:

$$\begin{aligned} \frac{\partial^2 u_t}{\partial t^2} - \frac{1}{m} \frac{\partial^2 T}{\partial t \partial S} &= 0 \\ \frac{\partial^2 T}{\partial t \partial S} &= \frac{1}{e} \frac{\partial^2 u}{\partial S^2} \end{aligned} \quad (14)$$

Підставивши друге рівняння у перше, отримаємо:

$$\frac{\partial^2 u_t}{\partial t^2} - \frac{1}{m} \frac{1}{e} \frac{\partial^2 u}{\partial S^2} = 0 \quad (15)$$

Так як $m = \rho\Delta_0$, $e = \frac{1}{E\Delta_0}$, де E — модуль пружності, Δ_0 — площа перерізу, отримуємо $\frac{1}{m} \frac{1}{e} = \frac{E}{\rho} = c_0^2$, а рівняння (15) співпадає з рівнянням (1).

Висновки:

1. Отримана нова теоретична модель розповсюдження хвильових процесів у палі.
2. Система рівнянь (10) з граничними умовами (11, 12), може бути використана для описання нелінійної динаміки залізобетонної палі, що враховує розповсюдження поздовжньої та двох типів поперечних хвиль у палі.
3. Чисельне розв'язання даної системи рівнянь при конкретних граничних умовах, що залежать від способу збудження низькочастотної хвилі імпульсу, дозволить отримати більш повну інформацію про палю. За цією інформацією можливо буде не лише визначати довжину палі та місце знаходження дефектів, але й робити ідентифікацію дефектів малих

розмірів, визначати тип дефектів та геометричну форму палі, так як зміна поперечного перерізу може бути визначена за поперечними коливаннями у палі, які враховуються побудованою моделлю.

4. У одновимірному випадку отримана модель співпадає з вже відомими, а у тривимірному являється їх узагальненням.

ВИКОРИСТАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Улицкий В.М. Контроль качества изготовленных свай на сплошность ствола / Улицкий В.М. Богов С.Г. // Реконструкция городов и техническое строительство. — 1999. — №1.
2. Помешкін П.В. Автоматизований контроль технологічних параметрів при виготовленні палі великого діаметра: дис. на здобуття наук. ступ. канд. техн. наук / Помешкін П.В. — К., 2004.
3. Програмно-технічний комплекс ТКС—1. Посібник з експлуатації / Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій (НДІБК), 2004.
4. Ярас В.І. Автоматизована система експрес-діагностики бетонних стовпів і палі у ґрунті: дис. на здобуття наук. ступ. канд. техн. наук: 05.13.07 / Ярас Володимир Ігорович. — К., 2006. — 193 с.
5. Chih-Peng Yu and Shu-Tao Liao. Theoretical basis and numerical simulation of impedance log test for evaluating the integrity of columns and piles // Can. Geotech. J. 43, pp. 1238–1248 (2006).
6. D.S. Kim, H.W. Kim, W.C. Kim. Parametric study on the impact-echo method using mock-up shafts // NDT&E International 35 (2002), pp. 595-608.
7. Daniel Ambrosini, Javier Ezeberry. Long piles integrity trough impact echo technique. Mecanica Computacional Vol. XXIV, Buenos Aires, Argentina, 2005. pp. 651-669.
8. Калюх Ю.И. Статика, динамика и оптимизация канатных транспортирующих систем в потоке: дис. на соискание уч. степ. док. техн. наук: 05.13.06 / Калюх Юрий Иванович. — К., 1993. — 220 с.

УДК 620.179.1.001.5

К ИССЛЕДОВАНИЮ ПАРАМЕТРОВ СЕЙСМИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ ПРОМЫШЛЕННЫХ ВЗРЫВОВ НА КОНТРОЛИРУЕМЫЕ НА ГРАНИЦЕ ОХРАННОЙ ЗОНЫ ЗДАНИЯ д.т.н. проф. Калюх Ю.И., н.с. Дунин В.А., к.т.н. Марьенков Н.Г.

Государственное предприятие «Государственный научно-исследовательский институт строительных конструкций» ГП НИИСК

Важнейшей составляющей горнодобывающей промышленности является добыча железной руды. В Украине основные залежи железной руды сосредоточены в Криворожском бассейне. Центром добычи и обогащения железной руды в Украине для металлургической промышленности является г. Кривой Рог.