

ІНТЕГРАЛЬНА ОЦІНКА МІЦНОСТІ БЕТОНУ СТОВБУРА ПАЛІ

Глуховський В.П.

ДП «Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій»
м. Київ, Україна

АНОТАЦІЯ: Розглянута можливість інтегральної оцінки міцності бетону на стиск по всій довжині палі в ґрунті через динамічний модуль пружності, що функціонально пов'язаний із стрижневою швидкістю пружної поздовжньої хвилі в конструкції.

АННОТАЦИЯ: Рассмотрена возможность интегральной оценки прочности бетона на сжатие по всей длине сваи, находящейся в грунте, с помощью динамического модуля упругости, функционально связанного со скоростью упругой продольной волны в конструкции.

ABSTRACT: The possibility of integral estimating strength of concrete in compression throughout the length of the piles in the soil, with dynamic elastic modulus, which is functionally associated with a speed of elastic longitudinal waves in the structure is considered.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: міцність бетону палі, динамічний модуль пружності, швидкість поздовжньої хвилі.

ВСТУП

Існуючі методи неруйнівного контролю міцності бетону базуються на кореляційних залежностях між міцністю на стиск і відповідними непрямыми інформативними параметрами [1, 2]. В залізобетонних палях, що знаходяться у ґрунті, за цими методами можна визначати міцність бетону у відкритих їх частинах (головах). Міцність по всій довжині палі можна оцінити за допомогою міжсвердловинного ультразвукового зондування [3], але це потребує при виготовленні палі встановлення

спеціальних труб для переміщення акустичних датчиків по висоті стовбура.

В статті розглянута можливість інтегральної оцінки міцності бетону на стиск по всій довжині палі в ґрунті через динамічний модуль пружності, що функціонально пов'язаний із стрижневою швидкістю пружної поздовжньої хвилі в конструкції.

МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ

Модулі пружності визначаються статичними і динамічними методами. Для важких бетонів класів міцності від С8/10 до С50/60 середні значення початкових модулів пружності E_{cm} , що визначені при невеликих механічних напруженнях і короткочасних силових навантаженнях, нормовані і знаходяться в межах від 18 ГПа до 40 ГПа [4]. При визначенні динамічних модулів пружності бетону найбільш поширеними є віброакустичні методи [5-7], що засновані на збудженні в середовищі різних видів механічних (пружних) коливань і вимірюваннях швидкості їх розповсюдження, резонансних частот, загасання і т.п.

У стрижні динамічний модуль пружності E_d визначається через швидкість c поздовжньої хвилі ($E_d = c^2 \rho$, де ρ – густина матеріалу) за умови, коли довжина хвилі значно перевищує діаметр стрижня ($\lambda \gg d$) [6]. В залізобетонній палі це забезпечується при осевому ударному збудженні низькочастотних пружних хвиль за допомогою, наприклад, молотка з гумовим наконечником. В спектрах таких сигналів присутні в тому числі і власні поздовжні коливання, що відповідають довжині конструкції. Частоти F_n мод (гармонік) цих коливань визначаються за формулою $F_n/n = c/2L$ і відповідно

$$E_d = 4L^2 F_n^2 \rho / n^2, \quad (1)$$

де L – довжина палі, $n=1, 2, 3, \dots$ – номер моди, що показує, скільки півхвиль укладається по довжині стовбура.

Формула (1) дозволяє визначати динамічний модуль пружності за будь-якою відомою частотою гармоніки власних поздовжніх коливань. Кількість частотних мод і їх амплітуди залежать від різниці акустичних імпедансів (комплексних акустичних опорів) матеріалів палі і оточуючого середовища. В залізобетонній палі без ґрунту може реєструватись більше п'яти резонансних максимумів нижчих мод, в той час як для палі у щільному водонасиченому ґрунті, де різниця в акустичних опорах з бетоном значно менша, через розсіювання сигналу може реєструватись не більше однієї гармоніки поздовжніх коливань (рис. 1).

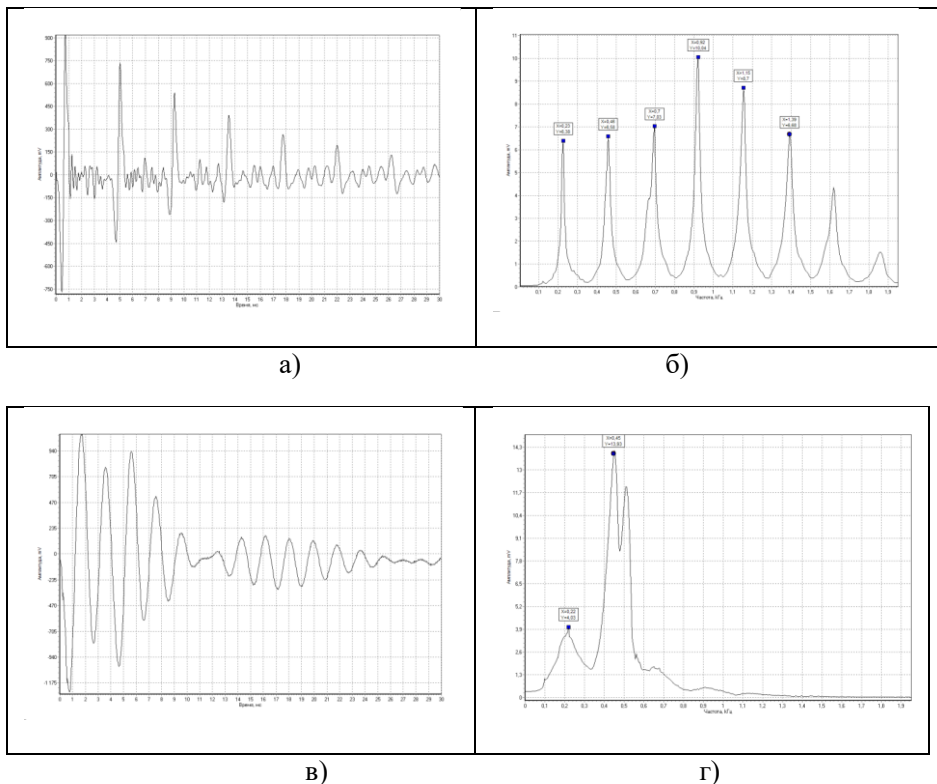


Рис. 1. Часовий сигнал і амплітудний спектр: а, б) у забивній палі довжиною 8 м без ґрунта; в, г) у буронабивній палі довжиною 8 м, що знаходиться у вологому піщаному ґрунті

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Вихідними експериментальними даними для аналізу слугували записи акустичних сигналів, що були зареєстровані при виконанні практичних робіт з оцінки якості стовбурів паль, а також результати неруйнівних випробувань з визначення фактичної міцності бетону в їх головах. Досліджувані палі знаходились у фундаменті терміналу Д аеропорту Бориспіль (2009 р.), на будівельному майданчику елеватора в смт. Рокитне Київської області (2014 р.), а також у випробувальному залі ДП НДІБК (2008 р.). Записи та обробка акустичних (пружних) коливань виконувались програмно-технічним комплексом ТКС [8], що реалізує ударний луна-метод і має атестовані метрологічні характеристики. Міцність бетону визначалась неруйнівними методами: ультразвуковим та методом відриву зі сколюванням [1, 2].

За результатами спектральної обробки зареєстрованих сигналів визначались модальні частоти поздовжніх пружних коливань в палях без ґрунту (для перших двох-трьох гармонік F_1-F_3), а також в палях, що знаходились в ґрунті (для однієї з нижчих гармонік F_1 або F_2).

Динамічні модулі пружності $E_{d1}-E_{d3}$, що були розраховані для середньої густини бетону ($\rho=2350$ кг/м³ [8]) і експериментальними значеннями частот гармонік, порівнювались з початковими модулями пружності [4], відповідних фактичним класам міцності бетону конструкцій.

Таблиця 1

Порівняння динамічних і початкових модулів пружності бетону паль

Вид залізобетонної палі, умови, довжина L , м	Фактичні показники				Нормативні показники	
	Частоти гармонік F_n , Гц	Динамічні модулі пружності E_{dn} , ГПа	Міцність бетону на стиск f_{cm} , МПа	Відповідні класи міцності бетону	Класи міцності бетону	Початкові модулі пружності E_{cm} , ГПа
Випробувальний зал ДП НДІБК						
Забивна, без ґрунту, $L=9,4$	$F_1=191$	$E_{d1}=31,3$	36,2	C20/25	C20/25	30
	$F_2=394$	$E_{d2}=32,2$				
	$F_3=581$	$E_{d3}=31,2$				
Забивна, без ґрунту, $L=12,0$	$F_1=151$	$E_{d1}=33,0$	39,3	C25/30	C25/30	32,5
	$F_2=300$	$E_{d2}=32,5$				
Будівництво елеватора в смт. Рокитне						
Забивна, без ґрунту, $L=14,0$	$F_1=131$	$E_{d1}=31,6$	32,6	C20/25	C20/25	30
	$F_2=258$	$E_{d2}=30,7$				
	$F_3=395$	$E_{d3}=31,9$				
Забивна, у ґрунті, №15, $L=14,0$	$F_2=246$	$E_{d2}=27,9$	29,3	C16/20	C16/20	27
Фундамент терміналу Д аеропорту Бориспіль						
Бурунабивна, у ґрунті, №128, $L=12,9$	$F_2=252$	$E_{d2}=24,8$	20,7	C12/15	C12/15	23
Бурунабивна, у ґрунті, №130; $L=14,0$	$F_1=124$	$E_{d1}=28,3$	25,6	C16/20	C16/20	27
Бурунабивна у ґрунті, №139, $L=14,0$	$F_2=254$	$E_{d2}=29,7$	26,8	C16/20	C16/20	27
Бурунабивна у ґрунті, №143, $L=14,0$	$F_2=227$	$E_{d2}=23,7$	20,7	C12/15	C12/15	23

Примітка. Відповідні фактичні класи міцності бетону приймалися за міцністю на стиск f_{cm} згідно табл. 3.1 [4].

Визначені акустичним методом за частотами стрижневої поздовжньої хвилі динамічні модулі пружності бетону у палях, що знаходяться в складських умовах і в ґрунті, відповідають початковим модулям пружності в межах однакових класів міцності бетону (табл.1). Це дає практичну можливість шляхом порівняння динамічного і статичного модулів пружності визначати фактичний клас міцності, як інтегральну характеристику міцності бетону стовбура палі. Перевага такого підходу полягає також у прямій залежності вимірюваних акустичних параметрів з модулем пружності, що дає можливість відійти від застосування кореляційних залежностей при визначенні міцності бетону.

Границі відносної похибки δ_E визначення динамічного модуля пружності можна встановити через додавання систематичних складових δ_i похибки за формулою (2) за умови їх незалежності

$$\delta_E = \kappa \sqrt{\sum \delta_i^2}, \quad (2)$$

де $\kappa=1,1$ – коефіцієнт для довірчої ймовірності 0,95.

Розраховані за складовими ($\delta_L = \pm 1\%$ - граничне відхилення палі довжиною 10 м або ± 10 см згідно [10]; $\delta_F = \pm 2\%$ - похибка вимірювань частоти комплексом ТКС; $\delta_\rho = \pm 6\%$ - відхилення густини бетону від середнього значення [9]) границі похибки визначення динамічного модуля пружності становлять $\delta_E = \pm 7\%$. Така похибка є прийнятною для переходу до міцності бетону, нормативна неоднорідність якого становить 13,5%. Значно зменшити похибку визначення δ_E можна при застосуванні в (1) фактичної густини бетону.

Слід зазначити, що при акустичних вимірюваннях в різних частотних діапазонах (звуковому і ультразвуковому) необхідно враховувати наявність частотної і геометричної дисперсії швидкості пружних хвиль. Перевищення динамічного модуля пружності бетону, визначеного за швидкістю поздовжньої хвилі в ультразвуковому діапазоні, над модулем, визначеним у звуковому діапазоні, може становити більше 10% [5].

ВИСНОВКИ

1. Визначено динамічні модулі пружності бетону за результатами акустичних вимірювань частот поздовжніх коливань при осевому ударному збудженні ділянок голови палі, що знаходяться в ґрунті і в складських умовах.

2. Встановлена відповідність динамічних і початкових модулів пружності для однакових класів міцності бетону. Це дає можливість переходу від динамічного модуля пружності до фактичного класу міцності, як інтегральної характеристики міцності бетону стовбура палі.

3. За розглянутим напрямком робіт доцільно встановити рамки застосування динамічного модуля пружності для оцінки міцності бетону в конструкціях.

ЛІТЕРАТУРА

1. Бетони. Ультразвуковий метод визначення міцності: ДСТУ Б В.2.7-226:2009. - [Чинний від 2010-09-01]. – К.: Мінрегіонбуд України, 2010. – IV, 22 с. - (Національний стандарт України).
2. Бетони. Визначення міцності механічними методами неруйнівного контролю: ДСТУ Б В.2.7-220:2009. - [Чинний від 2010-09-01]. – К.: Мінрегіонбуд України, 2010. – IV, 20 с. - (Національний стандарт України).
3. ASTM D6760 – 08. Standard Test Method for Integrity Testing of Concrete Deep Foundations by Ultrasonic Crosshole Testing.
4. Бетонні та залізобетонні конструкції. Основні положення: ДБН В.2.6-98:2009. - [Чинні від 2011-06-01]. – К.: Мінрегіонбуд України, 2011. – 70 с. – (Будівельні норми України).
5. Крылов Н.А. Радиотехнические методы контроля качества железобетона / Крылов Н.А., Калашников В.А., Полищук А.М. – Л.: Стройиздат, 1966. – 380 с.
6. Приборы для неразрушающего контроля материалов и изделий: справочник в 2-х кн. Кн. 2 / под ред. В.В. Клюева. – М.: Машиностроение, 1986. – 352 с.
7. Козерук С.А. К вопросу об акустическом контроле физико-механических характеристик стержневых изделий / Козерук С.А. / Электроника и связь. - 2010. – №3. – С.139-142.
8. Методика проведення вимірювань при визначенні лінійних розмірів конструкцій типу паль і плоских конструкцій типу стін ударним луна-методом (МВ-ЛР-02/322/11. – К.: ДП НДІБК, затв. 14.12.2011 р.). – 11 с.
9. Бетони важкі. Технічні умови. – К.: Держкоммістобудування України: ДСТУ Б В.2.7-43-96. - [Чинний від 1997-01-01]. – К.: Державний комітет України у справах містобудування і архітектури, 1997. – III, 21 с. - (Національний стандарт України).
10. Настанова щодо проведення земляних робіт, улаштування основ та спорудження фундаментів: ДСТУ-Н Б В.2.1-28:2013. [Чинний від 2014-01-01]. – К.: Мінрегіон України, 2013. VIII, 88 с. - (Національний стандарт України).

REFERENCES

1. DSTU B V.2.7-226:2009. Concretes. Ultrasonic method of strength determination. – К.: Minregionbud of Ukraine, 2010.
2. DSTU B V.2.7-220:2009. Concretes. Determination of strength by mechanical methods of nondestructive testing. – К.: Minregionbud of Ukraine, 2010.

3. ASTM D6760 – 08. Standard Test Method for Integrity Testing of Concrete Deep Foundations by Ultrasonic Crosshole Testing.
4. DBN B.2.6-98:2009. Concrete and reinforced concrete structures. Basic conditions. – K: Minregionbud of Ukraine, 2011.
5. Krylov N. A., Kalashnikov V. A., Polishchuk A. M. Electronic methods of quality control of concrete. – L.: Stroiizdat, 1966. – 380 p.
6. Instruments for nondestructive testing of materials and products. Reference book in 2 vol. Book 2 / Under the editorship of V. V. Klyuev. – M.: Mashinostroenie, 1986. – 352 p.
7. Kozeruk S. A. To the question about acoustic monitoring of physico-mechanical properties of long rods / Electronics and wigeon. – 2010. – No. 3. – P.139-142.
8. The measurement procedure impact echo-method in determining the linear dimensions of the piles and flat structures such as walls (MV-LR-02/322/11, NDIBK, approved 14.12.2011).
9. DSTU B V.2.7-43-96. Heavy weight concrete. – K.: Dergkommistobuduvannj of Ukraine, 1997.
10. DSTU-N B V.2.1-28:2013. Guidelines for earthworks , foundations and device construction of foundations. – K.: Minregionbud of Ukraine, 2013 .

Стаття надійшла до редакції 28.07.2016 р.