



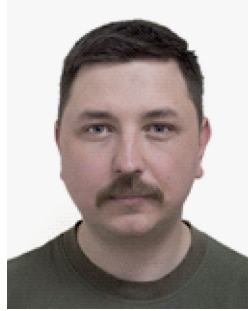
Doi: <https://doi.org/10.33644/scienceandconstruction.v26i4.4>

УДК 620.179.16



ГЛУХОВСЬКИЙ В.П.

Канд. техн. наук, завідувачий лабораторією Державного підприємства «Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій», м. Київ, Україна,
e-mail: gluhovsky@ndibk.gov.ua
тел.: +38 (044) 249-37-27
ORCID: 0000-0002-1342-7551



САМОЙЛЕНКО С.М.

Провідний інженер, Державного підприємства «Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій», м. Київ, Україна,
e-mail: s.samojlenko@gmail.com
тел.: +38 (066) 497-49-62
ORCID: 0000-0002-8517-6990

ВИЗНАЧЕННЯ КЛАСУ МІЦНОСТІ БЕТОНУ ЗА ДИНАМІЧНИМ МОДУЛЕМ ПРУЖНОСТІ ПРИ УЛЬТРАЗВУКОВИХ ВИПРОБУВАННЯХ

АНОТАЦІЯ

Клас міцності бетону встановлюється за середньою міцністю і його однорідністю в контрольованій партії. За відсутності прямої функціональної залежності, основою отримання таких показників, ультразвуковим імпульсним методом, є градувальні залежності між міцністю бетону на стиск і швидкістю (часом) поширення ультразвуку у бетоні. При випробуваннях стандартні процедури передбачають встановлення нових або коригування базових залежностей шляхом паралельних механічних випробувань зразків бетону відібраних з конструкцій. Недотримання таких вимог може призвести до значних похибок, при визначенні міцності і однорідності бетону, і як наслідок, до недостовірної оцінки класу міцності бетону в конструкціях.

Характеристикою міцності бетону, функціонально пов'язаною з швидкостями поздовжніх і поперечних хвиль у зразках, є динамічний модуль пружності. Сучасні технічні засоби дозволяють однозначно ідентифікувати і з високою точністю вимірювати швидкості таких хвиль, що значно спрощує його визначення.

Застосування динамічного модуля пружності для оцінки класу міцності бетону в конструкціях потребує обґрунтування його зв'язку з нормованими показниками міцності. Згідно будівельних норм таким показником є початковий модуль пружності, що відповідає конкретному класу міцності бетону.

Проаналізована і експериментально підтверджена відповідність динамічного модуля пружності, початковому модулю пружності, для важкого бетону.

В практичних роботах, це дає змогу застосовувати визначені за результатами акустичних вимірювань фактичні показники динамічних модулів пружності, для переходу до класів міцності бетону в конструкціях.

При випробуваннях бетону ультразвуковим імпульсним методом, у разі неможливості відбору зразків для порівняльних випробувань, зв'язок динамічного модуля пружності з класом міцності бетону дозволяє коректно вибирати базову градувальну залежність для конкретного діапазону міцності.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: бетон, клас міцності, швидкість поздовжніх і поперечних хвиль, динамічний і початковий модулі пружності

CONCRETE STRENGTH GRADE DETERMINATION BY DYNAMIC ELASTICITY MODULUS IN ULTRASONIC TESTS

ABSTRACT

The concrete strength grade is determined by the concrete average strength and homogeneity in the controlled batch. In the absence of a direct functional dependence, the basis for obtaining such indicators by the ultrasonic pulse method is the calibration relationship between the concrete compression strength and the ultrasound propagation velocity (time) in concrete. For testing, the standard procedures provide for the new dependencies establishment or the basic ones correction by means of the parallel mechanical tests of concrete samples taken from structures. Failure to comply with such requirements can lead to significant errors in determining the concrete strength and homogeneity and, therefore, to an uncertain assessment of the strength grade of concrete in structures.

The concrete strength characteristic functionally related to the velocities of longitudinal and transverse waves in the samples is the dynamic elasticity modulus. The modern technical means allow to unambiguously identify and measure such waves velocities with high accuracy,



which greatly simplifies the dynamic elasticity modulus determination.

The use of a dynamic elasticity modulus to assess the strength grade of concrete in structures requires the justification of its relationship with the normalized strength indices. According to building codes, such index is presented by the initial elasticity modulus corresponding to a specific strength grade of concrete.

The correspondence of the dynamic elasticity and initial elasticity moduli is analyzed and experimentally confirmed for heavy concrete.

In practical work, this fact makes it possible to apply the actual indices of dynamic elasticity moduli determined based on the results of acoustic measurements for passing to the strength grades of concrete in structures.

When testing concrete by ultrasonic pulse method, in case of sampling impossibility for comparative tests, the relationship of the dynamic elasticity modulus with the concrete strength grade allows to correctly choose the basic calibration dependence for a specific strength range.

KEYWORDS: concrete, strength grade, longitudinal and transverse waves velocity, dynamic and initial elasticity moduli

ВСТУП

Для бетону за відсутності прямої функціональної залежності існує достатньо стійка кореляція між швидкістю пружних хвиль і його міцністю на стиск. На практиці такий зв'язок реалізується через градувальні залежності «швидкість-міцність», де коефіцієнт кореляції має бути не нижчим ніж 0,7, а під швидкістю мається на увазі швидкість поздовжньої хвилі (Р-хвилі).

Градувальна залежність повинна застосовуватись для визначення міцності бетону, що відповідає умовам її встановлення. Стандартами також передбачено застосування раніше встановлених базових залежностей при їх коригуванні шляхом паралельних випробувань у пресі зразків, відібраних з конструкцій [1, 2]. Недотримання таких вимог може призвести до значних похибок при визначенні міцності і однорідності бетону і як наслідок, до недостовірної оцінки класу міцності бетону в конструкціях.

Характеристикою міцності, функціонально пов'язаною з швидкостями пружних хвиль у бетонних зразках, є динамічний модуль пружності. При його визначенні найбільш поширені віброакустичні

методи, що засновані на збудженні в середовищі різних видів механічних (пружних) коливань і вимірюваннях швидкостей їх поширення, резонансних частот, загасання і т.п. [3 - 6].

Через складність визначення динамічний модуль пружності широкого практичного застосування не отримав. При вібраційних випробуваннях – це необхідність виготовлення спеціальних бетонних зразків, а при акустичних вимірюваннях – складність в ідентифікації типів пружних хвиль (поздовжніх і поперечних).

Сучасні серійні технічні засоби дозволяють одночасно ідентифікувати і, з високою точністю вимірювати швидкості таких хвиль у бетоні, що значно спрощує визначення динамічного модуля пружності.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Застосування динамічного модуля пружності для оцінки класу міцності бетону в конструкціях потребує обґрунтування його зв'язку з нормованими показниками міцності. Таким показником є початковий (статичний) модуль пружності, що пов'язаний з класом міцності бетону.

МЕТА ДОСЛІДЖЕНЬ полягає в аналізі зв'язків динамічного модуля пружності з нормованим показником - початковим модулем пружності для практичного застосування при оцінці класу міцності бетону в конструкціях.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Статичні модулі пружності бетону визначаються при невеликих механічних напруженнях і короткочасних силових навантаженнях. Для них нормованою характеристикою є початковий модуль пружності E_{cm} , що відповідає вихідному стану бетону і пластичним деформаціям без розтріскування масиву. Будівельними нормами [7] встановлена відповідність між початковими модулями пружності, середніми значеннями міцності і класами для важкого бетону з неоднорідністю міцності 13,5% (табл. 1).

Динамічні модулі пружності - це відношення напруження до деформації на рівні напружень гранично малих величин при дії динамічного навантаження.

За результатами акустичних вимірювань динамічний модуль пружності E_d розраховується за формулою [8]

Таблиця 1 - Нормовані співвідношення між початковими модулями пружності E_{cm} , середньою міцністю f_{cm} і класами міцності важкого бетону [7]

Клас міцності	C8/10	C12/15	C16/20	C20/25	C25/30	C30/35	C32/40	C35/45	C40/50	C45/55	C50/60
f_{cm} , МПа	13	19	25	32	38	45	51	58	64	71	77
E_{cm} , ГПа	18	23	27	30	32,5	34,5	36	37,5	39	39,5	40



$$E_d = \rho V_s^2 (3V_p^2 - 4V_s^2) / (V_p^2 - V_s^2), \text{ (Па)}, \quad (1)$$

де ρ – густина бетону, кг/м^3 ; V_s – швидкість поперечної хвилі (S-хвилі), м/с ; V_p – швидкість поздовжньої хвилі (P-хвилі), м/с .

Похибку його визначення δ_{Ed} можна оцінити через додавання систематичних складових δ_i похибки за умови їх незалежності за формулою

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

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

Розрахована за складовими ($\delta_{V_p} = \delta_{V_s} = \pm 2,5\%$ – похибки визначення швидкостей поздовжньої і поперечної хвиль; $\delta_\rho = \pm 5\%$ – відхилення густини бетону від середнього значення) відносна похибка визначення динамічного модуля пружності становить $\delta_{Ed} = \pm 7\%$. Відхилення в таких межах прийнятні для порівнянь E_d з нормованими показниками бетону з неоднорідністю міцності 13,5%, а також для вирішення практичних задач при обстеженні залізобетонних конструкцій. Знизити

похибку δ_{Ed} можна через врахування фактичної густини бетону.

Між статичними і динамічними модулями пружності бетону існує тісний зв'язок [4, 5]. Для дуже малих силових навантажень значення цих модулів майже ідентичні [6].

Експериментальна перевірка таких положень виконана на трьох типах бетонних зразків: зразки-свідки і зразки-куби з ребром 100 мм; вибурені з конструкцій циліндричні керни діаметром 93 мм.

Міцність на стик у зразках-свідках була визначена за результатами попередніх прямих механічних випробувань відповідних серій, інші зразки випробувались у пресі після ультразвукових вимірювань.

Швидкості пружних коливань у зразках визначались приладом Pundit PL-200 (фірми Proseq SA, Швейцарія) в комплекті з ультразвуковими перетворювачами для збудження і реєстрації P-хвиль (54 кГц) і S-хвиль (40 кГц). Часові інтервали вимірювались при близьких коефіцієнтах підсилення сигналів і постійних порогових рівнях.

Розрахунок динамічних модулів пружності (табл. 2)

Таблиця 2 - Динамічні модулі пружності бетону, що визначені за результатами акустичних вимірювань

№ з/п	Умовне позначення зразка	Міцність бетону на стиск f_{cm} , МПа	Швидкість пружної хвилі, м/с		Динамічний модуль пружності E_d , ГПа
			поздовжньої V_p	поперечної V_s	
1	C II	33,7	4128	2164	29,5
2	84/20	33,2	4040	2148	29,3
3	30-I	31,9	4041	2178	29,5
4	3-I	35,3	3922	2326	31,9
5	1-1	37,1	4086	2253	31,2
6	3-II	35,2	3836	2299	31,1
7	2-2	37,5	4124	2286	32,1
8	3-3	37,3	4119	2304	32,4
9	31/20	65,2	4443	2620	40,8
10	31-VII	64,2	4418	2346	37,6
11	31-VIII	62,0	4587	2381	37,4
12	16-III	54,6	4431	2380	38,4
13	27-III	63,9	4666	2494	39,8
14	27-IV	63,0	4651	2484	39,9
15	27-VI	64,0	4614	2481	39,6
16	27-VII	63,6	4704	2475	39,7
17	30-V	66,5	4498	2494	40,4
18	31-II	65,1	4535	2481	40,0
19	32-I	70,3	4563	2558	40,4
20	33-V	60,8	4435	2530	39,0
21	27/20	76,2	4438	2637	41,7
22	29/20	71,4	4516	2714	43,8



для 40% зразків був виконаний для середньої густини бетону (2400 кг/м^3), для інших зразків – за її фактичними значеннями, що знаходились в межах від 2322 кг/м^3 до 2531 кг/м^3 .

Табл. 2 свідчить про те, що для більшої частини діапазону важкого бетону існує чіткий зв'язок між міцністю на стиск f_{cm} , швидкостями пружних хвиль (V_p , V_s) і динамічними модулями пружності E_d .

Відповідність динамічних і початкових модулів пружності, розрахованих за інтерполяцією (табл. 1), показана на рис. 1.

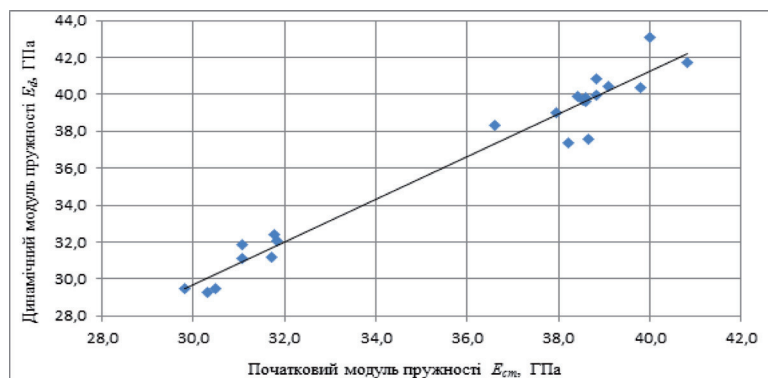


Рисунок 1 – Відповідність динамічних і початкових модулів пружності важкого бетону

Для такого зв'язку (рис. 1) коефіцієнт кореляції становить 0,96, що свідчить про високу збіжність значень E_d і E_{cm} . В практичних роботах це дає змогу застосовувати експериментально визначені показники динамічних модулів пружності для переходу до фактичних класів міцності бетону в конструкціях.

При неможливості відбору зразків з конструкцій для порівняльних ультразвукових і механічних випробувань, зв'язок динамічного модуля з класом міцності бетону дозволяє також коректно вибирати базову градувальну залежність для конкретного діапазону міцності.

ВИСНОВКИ

1. Сучасні технічні засоби дозволяють однозначно ідентифікувати і з високою точністю вимірювати швидкості поздовжніх і поперечних хвиль за якими визначаються динамічні модулі пружності бетону.
2. Експериментально підтверджена відповідність динамічних модулів пружності нормованим значенням початкових модулів пружності важкого бетону.
3. Встановлена відповідність дає змогу застосовувати експериментально отримані значення динамічних модулів пружності для переходу до класів міцності бетону в конструкціях.
4. Привипробуваннях ультразвуковим імпульсним методом, зв'язок динамічного модуля з класом міцності бетону, дозволяє коректно вибирати базову градувальну залежність для конкретного діапазону міцності.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. ДСТУ В.В.2.7-226:2009. Бетони. Ультразвуковий метод визначення міцності. К.: Мінрегіонбуд України, 2010.
2. ДСТУ Б EN 13791:2013. Оцінка міцності бетону на стиск в конструкціях і збірних елементах (EN 13791:2007, IDT).
3. Приборы для неразрушающего контроля материалов и изделий. Справочник в 2-х кн. Кн. 2 / под ред. В.В. Ключева. М.: Машиностроение, 1986. 352 с.
4. Крылов Н.А., Калашников В.А., Полищук А.М. Радиотехнические методы контроля качества железобетона. Л.: Стройиздат, 1966. 380 с.
5. Судаков В.В. Контроль качества и надежности железобетонных конструкций. Л.: Стройиздат, Ленингр. отд-ние, 1980. 168 с.
6. Джонс Р., Фэкоару И. Неразрушающие методы испытаний бетонов. М.: Стройиздат, 1974. 292 с.
7. ДБН В.2.6-98:2009. Бетонні та залізобетонні конструкції. Основні положення. К.: Мінрегіонбуд України, 2011.
8. ASTM D 2845-05 Стандартний метод лабораторних випробувань для визначення швидкостей імпульсу і ультразвукових пружних констант порід (каменів). 2005.

REFERENCES

1. Concretes. Ultrasonic method of strength determination: DSTU B V.2.7-226:2009. (2010).
2. Assessment of in-situ compressive strength in structures and precast concrete components: DSTU B EN 13791:2013 (EN 13791:2007, IDT). (2014).
3. Kliuev, V. V. (Ed.). (1986) Instruments for nondestructive testing of materials and products: Reference book (Book 2). Moscow: Mashynostroenie.
4. Krylov, N. A., Kalashnikov, V. A., & Polishchuk, A. M. (1966). Electronic methods of concrete quality control. Leningrad: Stroiiizdat.
5. Sudakov, V.V. (1980). Quality control and reliability of reinforced concrete structures. Leningrad: Stroiiizdat, Leningrad Branch.
6. Jones, R., & Facaoaru, I. (1974). The nondestructive methods of concrete testing (Transl. from Romanian). Moscow: Stroiiizdat.
7. Concrete and reinforced concrete structures. Basic provisions: DBN V.2.6-98:2009. (2011).
8. ASTM D 2845-05 Standard Test Method for Laboratory Determination of Pulse Velocities and Ultrasonic Elastic Constants of Rock: ASTM D 2845-05. (2005).

Стаття надійшла до редакції 16.09.2020 року