



Doi: 10.33644/01102

УДК 691.3



**ЖАРКО Л.О.**

Канд. технічних наук, доц., зав. відділу, Державне підприємство «Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій», м. Київ, Україна, e-mail: zharko@ndibk.gov.ua, тел.: + 38 (066) 722-70-57, ORCID: 0000-0002-5966-1060



**ОВЧАР В.П.**

Канд. технічних наук, провідний науковий співробітник, Державне підприємство «Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій», м. Київ, Україна, e-mail: vovchar@i.ua, тел.: + 38 (067) 784-52-95, ORCID: 0000-0002-3896-2729



**ТАРАСЮК В.Г.**

Канд. технічних наук, заступник директора з наукової та нормативно-методичної роботи, Державне підприємство «Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій», м. Київ, Україна, e-mail: v.tarasyuk@ndibk.gov.ua, тел.: + 38 (050) 387-97-12, ORCID: 0000-0002-3844-1376



**ФЕСЕНКО О.А.**

Канд. технічних наук, в. о. зав. сектору, Державне підприємство «Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій», м. Київ, Україна, e-mail: fesenko@ndibk.gov.ua, тел.: + 38 (068) 810-64-25, ORCID: 0000-0001-8154-2239

## ДО ПИТАННЯ МІЦНОСТІ І КЛАСУ БЕТОНУ НА СТИСК В КОНСТРУКЦІЯХ

### АННОТАЦІЯ

В статті узагальнено досвід роботи щодо визначення міцності і класу бетону на стиск безпосередньо в конструкціях, які становлять показники однієї з основних вимог, щодо забезпечення механічної міцності і стійкості споруд. Їх не однозначне трактування на стадіях підбору складу бетону, виготовлення продукції, експлуатації споруд призводить до конфлікту інтересів і корупційних ризиків між виробником бетону, будівельником, інвестором. Розглянуто два підходи до оцінки міцності і класу бетону: перший – з економічних інтересів виробника бетону (можливість економії цементу в налагодженому стабільному виробництві), другий – з позиції споживача (забезпечення проектних показників). Перший - базується на коефіцієнті варіації міцності випробуваних контрольних зразків-кубів бетону, що декларує виробник бетонної суміші, і який, як показав розрахунок зв'язку між середньою і характеристичною міцністю бетону на стиск при різних коефіцієнтах варіації і класах міцності бетону на стиск, може суттєво змінити результати оцінки. Другий - базується на використанні ета-

лонних зразків-кernів, відібраних безпосередньо з конструкції, які випробовують і інтерпретують за міжнародним досвідом. Показано різницю, в оцінках міцності при використанні вибірок результатів випробувань усіх зразків у порівнянні до партій, в яких видалено найменші значення. Обидва підходи проаналізовано на досвіді визначення класу міцності бетону на стиск, на відібраних зразках-кернах з плити перекриття існуючої споруди, усієї та окремих її ділянок; результати виявилися далеко не однозначні і не відповідали проекту. Слід чітко визначити сфери застосування норм і стандартів, які по-перше, обслуговують технологію і ринок виробництва бетонної суміші та бетонних і залізобетонних виробів, по-друге, забезпечують отримання фактичних характеристик існуючих виробів, конструкцій і споруд та їх відповідність проекту. Доцільно, особливо для споруд підвищеної відповідальності та у спірних питаннях, результати, що отримані за першим підходом на контрольних зразках бетонної суміші, перевіряти випробуванням зразків-кernів, відібраних з конструкцій.



**КЛЮЧОВІ СЛОВА:** міцність і клас бетону на стиск, визначення міцності і класу бетону безпосередньо в конструкціях, розподілення кубикової міцності на стиск, характеристична міцність, середня міцність, мінімальна міцність, коефіцієнт варіації, вирішення спірних питань з оцінки міцності

## COMPRESSIVE STRENGTH AND GRADE OF CONCRETE IN STRUCTURES

### ABSTRACT

The paper summarizes the experience of the Department of Buildings and Facilities Structures Research in determining the compressive strength and grade of concrete in the structures, which characterize one of the main requirements for ensuring the structures mechanical strength and stability. Their unambiguous interpretation at the stages of concrete composition selection, products manufacture and structures operation leads to a conflict of interests and corruption risks between a concrete producer, a builder and an investor. Two approaches to the concrete strength and grade assessment are considered: the first one reasons from the economic interests of a concrete producer (the possibility of cement saving at a stable well-organized production facility), the second one takes into account the consumer's point of view (design indicators ensuring). The first approach is based on the coefficient of the tested control concrete cubes strength variation declared by the concrete mixture manufacturer. The calculation of the relationship between the average and characteristic compressive resistance of concrete at various coefficients of concrete compressive strength variation and grades showed that this coefficient can significantly change the assessment results. The second approach is based on the use of reference core samples cut directly from the structure, which are tested and interpreted according to established international experience. The difference in strength assessments is shown for the cases with the use of samples tests results selection compared to groups in which the smallest values are removed. Both approaches are analyzed based on the experience of determining the concrete compressive strength grade using the core samples from the entire floor slab in the existing structure and from some its areas; the results were far from straightforward and not consistent with the project. It is necessary to clearly define the areas of application of norms and standards that, firstly, serve the technology and the production market of concrete and concrete and reinforced concrete products, and secondly, ensure obtaining the actual characteristics of existing products, structures and facilities and their conformity to the project. It is advisable, especially for the structures of the higher levels of responsibility and in some controversial matters, to verify the

results obtained with the first approach application to the concrete mix test specimens by testing core samples cut from the structures.

**KEYWORDS:** concrete compressive strength and grade, concrete strength and grade determination in structures, distribution of cubic compressive strength, characteristic strength, average strength, minimum strength, coefficient of variation, resolution of strength assessment controversial issues.

Клас бетону на стиск становить одну з основних характеристик, що визначають основну вимогу до бетонних та залізобетонних виробів, будівель і споруд, щодо забезпечення їх механічної міцності і стійкості. Його визначають за характеристичною міцністю на стиск стандартним випробуванням циліндрів або кубів у віці 28 діб. Головний сенс цієї характеристики у тому, що вона слугує основою в розрахунках несучої здатності під час проектування залізобетонних конструкцій будівель і споруд.

Існують два підходи до визначення характеристик бетону та їх інтерпретації, що спричинені протилежними економічними інтересами.

Перший підхід відображає інтереси виробника бетонної суміші, який шляхом статистичного розрахунку стабілізації виробництва (коефіцієнта варіації міцності бетонних зразків за регламентований період) намагається зменшити так звану «необхідну» міцність бетону і, як наслідок, витрати матеріалу найбільшої вартості – цементу. Це має сенс для удосконалення виробництва, але не повинно суперечити вимогам проекту та результатам другого підходу.

Під час будівництва відповідність проекту класу бетону збірних бетонних та залізобетонних виробів гарантує виробник – відповідний завод. Якість монолітного бетону залежить від двох ланок: виробника бетонної суміші та виконавця бетонних робіт. На усіх етапах для підтвердження відповідності проекту, виготовляють та випробують контрольні бетонні зразки – циліндри або куби.

Чинні нормативи не однозначно трактують визначення міцності та класу бетону при проектуванні складу бетонної суміші для бетону потрібної міцності для виробництва збірних конструкцій та при постачанні бетонної суміші на будівельний майданчик для монолітних робіт. Тому, виникає конфлікт економічних інтересів між виробником бетону і будівельником чи інвестором. Аналіз невідповідностей, що стосуються визначення міцності бетону за контрольними зразками, навіть при виконанні усіх приписів чинних нормативів, наведено в роботі [1]. Вирішення таких проблем можливе лише за умови перегляду і узгодження цих нормативів.

Другий підхід до визначення характеристик



бетону та їх інтерпретації відображає інтереси виробника будівельних виробів, будівельника (монтажні та монолітні роботи) чи інвестора, яким потрібна якість бетону, що фактично відповідає проекту.

У спірних випадках, у відновлюваних спорудах, при зміні призначення споруд різного віку тощо, для визначення характеристичної міцності бетону на стиск та його класу застосовують методи визначення міцності бетону безпосередньо в конструкції, в яких еталоном слугує відбір і випробування вибурених зразків-кernів.

Прийняту для розрахунків бетонних конструкцій характеристичну міцність бетону на стиск визначають зі статистичною забезпеченістю 0,95 (імовірністю 95 %). Тобто це міцність, нижче якої в партії бетонних зразків може знаходитися не більше 5 % результатів, але і вони на можуть бути меншими ніж 4 МПа.

Характеристична кубикова міцність  $f_{ck,cube}$  пов'язана із середньою міцністю  $f_{cm,cube}$  статистично через коефіцієнт варіації міцності  $V_c$  (перетворено з ДБН В.2.6-98:2009 [2]):

$$f_{ck,cube} = f_{cm,cube} (1 - 1,64 V_c). \quad (1)$$

Норми ДБН В.2.6-98:2009 [2] регламентують клас міцності бетону на стиск залежно від характеристичної та середньої міцності, останньої - при нормативному коефіцієнті варіації 13,5 % (0,135).

Зв'язок між середньою і характеристичною міцністю бетону на стиск, при різних коефіцієнтах варіації для класів міцності бетону на стиск, в межах від С8/10 до С25/30 за розрахунком аналітичної залежності (1) показано на рис. 1. Простежується, що при гіпотетичному нульовому коефіцієнті варіації середня і характеристична міцності однакові; при зміні нормативного коефіцієнта варіації до менших значень налагодженої технології (4 % як декларують деякі виробництва) або до більших - 20 % і більше,

відповідна характеристична кубикова міцність (клас міцності бетону на стиск) зміщується на один ступінь в кожен сторону.

Використання іншого коефіцієнта варіації за довідковими даними табл. 6 ДБН В.2.3-22:2009 [3] або за статистичною обробкою власних випробувань, а не за даними виробника бетонної суміші згідно п. 6.7 ДСТУ Б В.2.7-224:2009 [4], може призвести до невідповідної оцінки міцності бетону.

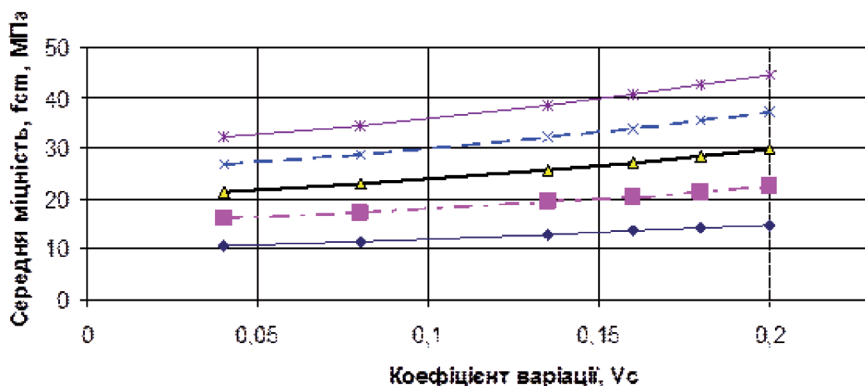
Під час визначення міцності бетону безпосередньо в існуючих конструкціях зразки-кernи вибирають в тих місцях конструкції де відсутня арматура, пошук якої виконують за допомогою магнітного методу. Необхідність збереження армування конструкції і отримання вільного від неї зразка накладає вимоги щодо діаметру kernа, а товщина конструкції – до його висоти. Так що, за твердженням Невілла (Adam Neville) [5] “випробування kernів легке у виконанні, але не легке в інтерпретації”. Та завдяки накопиченому світовому досвіду [6-10] регламентовано правила відбору та випробувань бетонних зразків-кernів за ДСТУ Б В.2.6-176:2008 [11] та ДСТУ Б В.2.7-223:2009 [12], та оцінки міцності еталонних зразків-кernів бетону на стиск в конструкціях і збірних бетонних елементах згідно з ДСТУ Б EN 13791:2013 (EN 13791:2007, IDT) [13].

Раніше повідомлялося про досвід інтерпретації результатів випробувань міцності бетонних kernів у вертикальних монолітних несучих залізобетонних конструкціях круглих колон та пілонів каркасної будівлі [14].

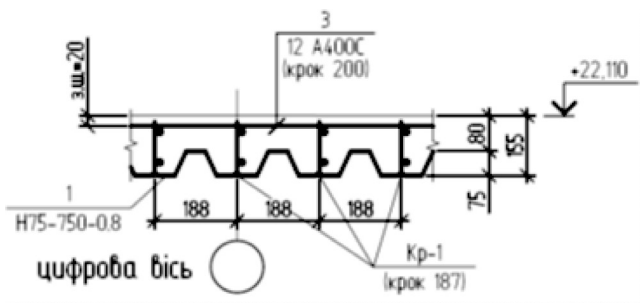
Наведемо приклад відбору зразків, визначення міцності бетону та її інтерпретування, безпосередньо в існуючій конструкції монолітної залізобетонної плити перекриття за проектом з бетону класу С25/30, формованої на профнастил (рис. 2) із застосування чинних норм і стандартів на одному з об'єктів будівництва.

Як видно, геометричні розміри kernа (діаметр і висота) визначаються перерізом та армуванням плити перекриття (рис. 2), а саме висота kernа не може бути більшою ніж 80 мм, але і вона повинна зменшитися під час вирівнювання його торців; а діаметр, з урахуванням діаметру бурильної алмазної коронки, не більшим такого ж розміру.

Вибурування виконувалося в місцях вільних від арматури, які визначалися за допомогою електронного шукача металу за ДСТУ Б В.2.6-4-95 [15] та забезпеченням відповідного діаметру бура – 63 мм. Місця відбору зразків розміщувалися



**Рисунок 1** – Зв'язок між середньою і характеристичною міцністю бетону на стиск при різних коефіцієнтах варіації для класів міцності бетону на стиск (знизу – вверху): С8/10, С12/15, С16/20, С20/25, С25/30 (за табл. 3.1 ДБН В.2.6-98:2009 [2])



**Рисунок 2** – Схема армування плити перекриття. На об'єкті будівництва розмірами в плані 130×60 м випробуванням підлягали три не пов'язані ділянки плити перекриття довжиною 5 м, 12 м і 28 м, що бетонувалися литою бетонною сумішшю, яку постачали від різних міксерів за допомогою бетононасоса.



**Рисунок 3** – Загальний вигляд місць відбору зразків бетону з плити у партіях 10-18

на кожній ділянці в одну лінію. Вигляд місць відбору зразків бетону з плити на прикладі ділянки 3 у партіях 10-18 показано на рис. 3.

Для проведення випробувань з визначення міцності бетону на стиск з отриманих циліндрів було виготовлено 18 партій зразків-кернав по 3-4 зразка у кожній – всього 57 зразків.

За результатами проведених випробувань було визначено фактичну міцність на стиск 57 зразків-кернав бетону, відібраних із плити по профнастилу, в т.ч. 7 шт. із ділянки № 1 – зразки 1-7, 11 шт. із ділянки № 2 – зразки 8-18 і 39 шт. із ділянки № 3 – зразки 19-57.

Відібрані бетонні керни були оглянуті на предмет пошкоджень і зразки з тріщинами відбраковані.

Вигляд зразків-кернав бетону із підготовленими торцями перед випробуваннями представлено на рис. 4. Висота зразків була в межах від 57 мм до 103 мм.

Відбір бетонних зразків-кернав

і підготовку їх до випробувань виконують згідно ДСТУ Б В.2.7-223:2009 [12]. Під час відбору за допомогою магнітного методу за ДСТУ Б В.2.6-4-95 [15] встановлюють розташування арматури. До випробувань приймають зразки, що відповідають вимогам п. 6.2 ДСТУ Б В.2.7-214 [16].

Умови проведення випробувань та виготовлені зразки-керни відповідають вимогам ДСТУ Б В.2.7-214:2009 [16] та ДСТУ Б В.2.7-223:2009 [12].

Під час опрацювання результатів випробувань враховано відношення висоти зразка до його діаметра коефіцієнтом за п. 9.3, табл. 2 ДСТУ Б В.2.7-223:2009 [12] та враховано діаметр циліндра масштабним коефіцієнтом за п. 9.5, табл. 5 ДСТУ Б В.2.7-223:2009 [12].

Міцність на стиск еталонних зразків-кернав за допомогою регламентованих коефіцієнтів була приведена до базового розміру кубів зі стороною 150 мм.

За першим підходом міцність бетону в партії зразків визначали як середнє арифметичне значення двох найбільших за міцністю зразків у серії із трьох зразків та трьох найбільших за міцністю зразків у серії із чотирьох зразків згідно п. 9 ДСТУ Б В.2.7-223:2009 [12]. Характеристичну кубикову міцність бетону рахували за формулою (1). Клас міцності бетону на стиск визначали за характеристичною або середньою міцністю за табл. 3.1 ДБН В.2.6-98:2009 [2].

За другим підходом, безпосередньо в конструкції, характеристична міцність бетону на стиск оцінювалася згідно ДСТУ Б EN 13791:2013 [13] з використанням або методу А (для 15 і більше результатів), або методу В (від 3 до 14) з використанням показників середнього значення міцності на стиск, найменшого результату випробувань, стандартного відхилення результатів випробувань та коефіцієнтів, які залежать від кількості випробувань. Відмінність методу – враховують усі результати випробувань і в партіях, і на ділянках.

За методом А оцінена характеристична міцність для області випробувань (партія, ділянка) визначається як найменше з двох наступних значень:



**Рисунок 4** – Вигляд зразків-кернав бетону перед випробуваннями



або  $f_{ck, is} = f_{m(n), is} - 1,48 \times s,$  (2)

або  $f_{ck, is} = f_{is, lowest} + 4.$  (3)

За методом В подібно:

або  $f_{ck, is} = f_{m(n), is} - k,$  (4)

або  $f_{ck, is} = f_{is, lowest} + 4.$  (5)

де  $k = 7$  для  $n = 3-6$ ;  $k = 6$  для  $n = 7-9$ ;  $k = 5$  для  $n = 10-14$ .

Коливання міцності бетону на стиск в окремих зразках (а), а середньої міцності бетону на стиск в партіях зразків (б) показано на рис. 5. Наочно простежується розбіжність міцності бетону на різних ділянках плити перекриття.

Розподілення міцності бетону на стиск за кількістю результатів окремих випробувань на відповідних ділянках для окремих зразків (а) і середньої міцності партій (б) зображено на рис. 6. За формою кривих наближені до нормального розподілення сукупні результати випробу-

вань окремих зразків на ділянці 1+2 та для всієї плити, тоді як найбільша ділянка 3 сплюснена через низьку однорідність бетону. Виключенням найменших значень у партіях досягнуто більшу відповідність кривих до нормального розподілу.

Розподілення міцності бетону на стиск за кількістю результатів окремих випробувань на відповідних ділянках для окремих зразків (а) і середньої міцності партій (б) зображено на рис. 6. За формою кривих наближені до нормального розподілення сукупні результати випробувань окремих зразків на ділянці 1+2 та для всієї плити, тоді як найбільша ділянка 3 сплюснена через низьку однорідність бетону.

Аналіз результатів визначення середньої і характеристичної міцності бетону на стиск, їх статистичних показників та оцінка класу міцності бетону у монолітній залізобетонній плиті перекриття, випробуванням бетонних зразків-кernів для кожної з трьох ділянок, для перших двох та для всієї плити, з урахуванням результатів кожного зразка для другого підходу і партій зразків для першого підходу представлено в табл. 1.

Відокремлення найменших значень в партіях зразків призвело до зменшення діапазону значень

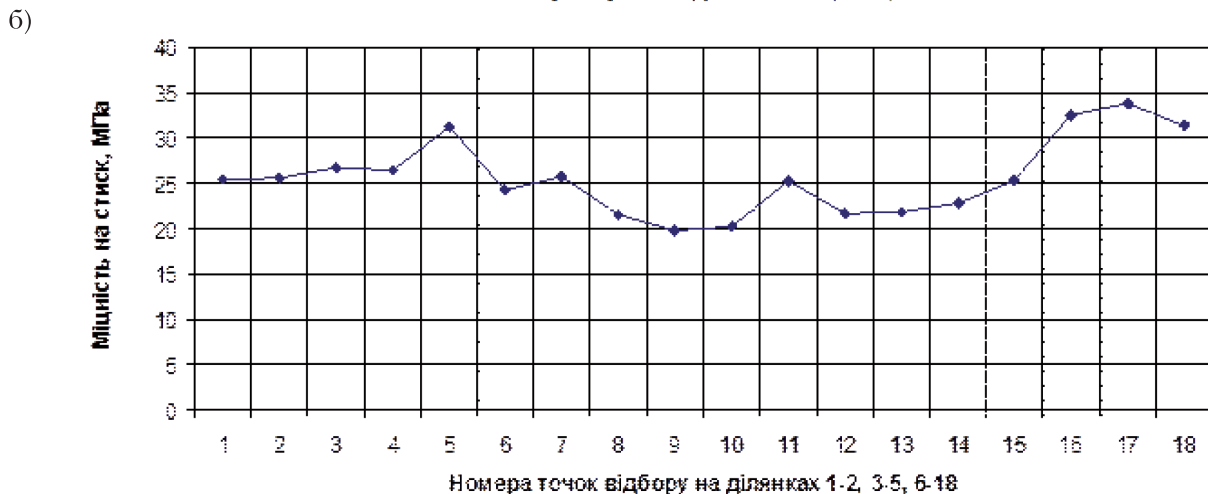
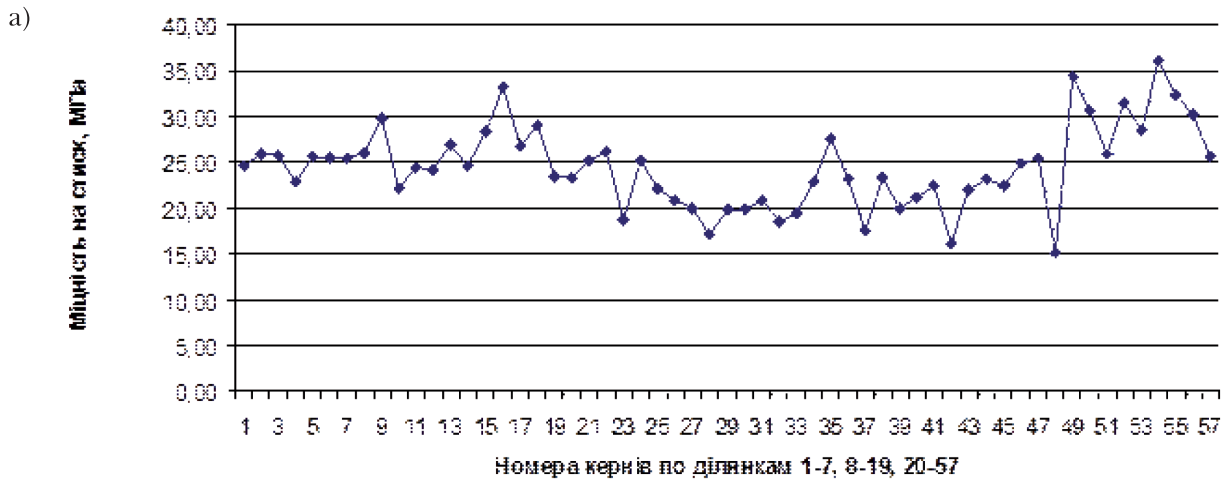
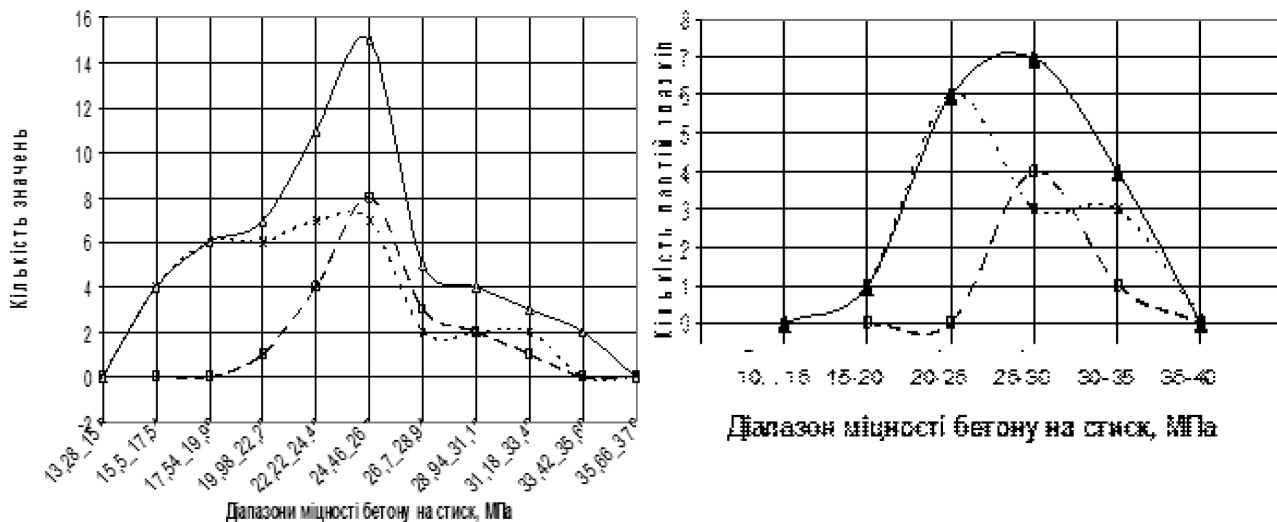


Рисунок 5 – Коливання середньої міцності бетону на стиск в окремих зразках (а) і в партіях зразків (б)



**Рисунок 6** – Розподілення міцності бетону на стиск для окремих зразків (а) і середньої міцності партій зразків (б): —Δ— вся плита; ...x... ділянка 3; ---□--- ділянки 1+2

з 15-36 МПа до 20-34 МПа. Виявилось доцільним поєднання результатів ділянок 1 і 2 з достатньо однорідним бетоном. Діапазон значень коливався в межах 11-21 МПа для зразків і 6-14 МПа для партій. Середні значення кубикової міцності бетону фактичне,  $f_{cm, is, cube}$  знаходилося у межах 23,7-26,8 МПа для окремих зразків і 25,1-28,1 МПа для партій зразків, для усїєї плити відповідно 24,5 МПа і 25,6 МПа.

Стандартне фактичне відхилення  $s$  коливалось в межах для окремих зразків 3,13-4,95 МПа, а для партій 2,37-4,69 МПа. Коефіцієнт варіації міцності в конструкції  $V_s$  знаходився у межах 4,2-20,9%, для усїєї плити 18,3% для окремих зразків і 16,4%, для партій зразків, що свідчить про недостатню якість бетону в плиті перекриття.

Відношення діапазону значень до середньої міцності,  $(f_{is, max} - f_{is, lowest}) / f_{cm, is, cube}$  в межах 0,41-0,88 для зразків і 0,17-0,56 для партій, для усїєї плити відповідно 0,85 і 0,55.

Кількість стандартних відхилень у діапазоні значень,  $(f_{is, max} - f_{is, lowest}) / s$  було в межах 2,89-4,68 для зразків і 1,40-3,33. Тоді як для нормального розподілення потрібна імовірність на рівні 95% відповідає діапазону  $4s$  (від  $-2s$  до  $+2s$  від середнього значення): для зразків 15,52-33,44 МПа, для партій 17,21-34,25 МПа.

Якщо розглянути відношення показників для окремих зразків, з такими ж для партій, (табл. 2), за виключенням ділянки 1 з недостатньою кількістю партій зразків, то середня кубикова міцність бетону відрізняється на 5-6%, розбіжність відношень для інших показників пов'язана з відхиленням розподілень міцності від нормального.

Результати аналізу за першим підходом за ДБН В.2.6-98:2009 [2] показали, що в плиті перекриття на усїх ділянках, і в цілому, клас міцності бетону на стиск становить С16/20.

За другим підходом за ДСТУ Б EN 13791:2013 [13] оцінка класу міцності бетону на стиск в конструкції за мінімальною характеристичною міцністю окремих зразків бетону на стиск, визначена двома методами в залежності від кількості зразків, без використання даних виробника бетону (коефіцієнта варіації), становила для усїєї плити також С16/20, але на ділянці 3 була С12/15, а на ділянках 2 та 1+2 - С20/25.

Для подолання сумніву, щодо відповідності міцності бетону на основі стандартних випробувань окремих кернів, ДСТУ Б EN 13791:2013 [13] використано нерівності (6) і (7), щодо середнього і найменшого значення міцності бетону за результатами випробувань:

$$f_{m(n), is} \geq 0,85 (f_{ck, is} + 1,48 \times s), \quad (6)$$

$$f_{is, lowest} \geq 0,85 (f_{ck} - 4). \quad (7)$$

Виконання цих нерівностей для усїєї плити перекриття

$$23,67 \geq 0,85 (f_{ck, is} + 1,48 \times s) = 0,85 (19,09 + 7,33) = 21,862,$$

$$15,09 \geq 0,85 (f_{ck} - 4) = 0,85 (19,09 - 4) = 12,826,$$

свідчить, що область випробувань слід вважати такою, що складається з бетону, який відповідає класу міцності на стиск С16/20.

Виконання цих нерівностей для ділянки 3 плити перекриття

$$24,46 \geq 0,85 (f_{ck, is} + 1,48 \times s) = 0,85 (16,34 + 6,63) = 19,52,$$



Таблиця 1 - Аналіз результатів визначення міцності бетону на стиск в монолітній залізобетонній плиті перекриття

Показник	Ділянки монолітної плити перекриття								Вся плита	
	1		2		1+2		3		зразок	партія
	зразок	партія	зразок	партія	зразок	партія	зразок	партія		
Кількість результатів випробувань, n, шт.; / Метод оцінки за ДСТУ Б EN 13791:2013 [13]	7 / В	2	11 / В	3	19 / А	5	39 / А	13	57 / А	18
Найменше значення, $f_{is,lowest}$ , МПа	22,94	25,42	22,10	26,46	22,10	25,42	15,09	19,80	15,09	19,80
Найбільше значення, $f_{is,max}$ , МПа	25,96	25,49	33,23	31,17	33,23	33,23	36,05	33,79	36,05	33,79
Діапазон значень, $f_{is,max} - f_{is,lowest}$ , МПа	3,02	0,07	11,13	4,71	11,13	5,75	20,96	13,99	20,96	13,99
Середнє значення кубикової міцності бетону фактичне, $f_{cm, is, cube}$ , МПа	25,09	25,46	26,85	28,13	25,77	27,06	23,67	25,07	24,46	25,63
Стандартне відхилення фактичне, s, МПа	1,04	0,05	3,13	2,64	3,51	2,37	4,95	4,69	4,48	4,21
Коефіцієнт варіації міцності в конструкції, $V_c$ , %	4,16	0,19	11,67	9,38	13,62	8,76	20,90	18,71	18,32	16,44
Відношення діапазону значень до середньої міцності, $(f_{is,max} - f_{is,lowest}) / f_{cm, is, cube}$	0,12	0,00	0,41	0,17	0,43	0,21	0,88	0,56	0,85	0,55
Кількість стандартних відхилень у діапазоні значень, $(f_{is,max} - f_{is,lowest})/s$	2,89	1,40	3,56	1,78	3,17	2,43	4,23	2,98	4,68	3,33
Характеристична міцність на стиск для партій зразків за ДБН В.2.6-98:2009 [2], $f_{ck,cube} = 0,78 f_{cm,cube}$ , МПа	-	20	-	22	-	21	-	20	-	20
Клас міцності бетону на стиск для партій зразків за табл. 3.1 ДБН В.2.6-98:2009 [2]	-	<b>C16/20</b>	-	<b>C16/20</b>	-	<b>C16/20</b>	-	<b>C16/20</b>	-	<b>C16/20</b>
$1,48 \times s$ , МПа (для методу А)	-	-	-	-	5,19	-	7,33	-	6,63	-
Мінімальна характеристична міцність зразків бетону на стиск в конструкції, $f_{ck, is, cube}$ , Н/мм <sup>2</sup> за п. 7.3 ДСТУ Б EN 13791:2013 [13]– за методами А і В	<u>19,09</u> ***	-	<u>21,85</u> ***	-	<u>20,58</u> *	-	<u>16,34</u> *	-	19,83*	-
	26,94**	-	26,10**	-	26,10**	-	19,04**	-	<u>19,09</u> **	-
Клас міцності бетону на стиск для окремих зразків за табл. 1 ДСТУ Б EN 13791:2013 [13]	<b>C16/20</b>	-	<b>C20/25</b>	-	<b>C20/25</b>	-	<b>C12/15</b>	-	<b>C16/20</b>	-

Примітки: За ДБН В.2.6-98:2009 [2]:  $f_{ck,cube} = f_{cm,cube} (1 - 1,64 \times V_c) = f_{cm,cube} (1 - 1,64 \times 0,135) = f_{cm,cube} (1 - 0,22) = 0,78 f_{cm,cube}$  МПа. Для метода А ДСТУ Б EN 13791:2013 [13]: \* -  $f_{ck, is} = f_{m(n), is} - 1,48 \times s$ ; \*\* -  $f_{ck, is} = f_{is, lowest} + 4$ . Прийнято підкреслені найменші значення. Для метода В ДСТУ Б EN 13791:2013 [13]: \*\*\* -  $f_{ck, is} = f_{m(n), is} - k$ , де  $k = 7$  для  $n = 3-6$ ;  $k = 6$  для  $n = 7-9$ ;  $k = 5$  для  $n = 10-14$ ; \*\* -  $f_{ck, is} = f_{is, lowest} + 4$ .



Таблиця 2 - Відношення показників для сукупності окремих зразків до партій зразків

№ п.п	Показник	Ділянки монолітної плити перекриття				
		1	2	1+2	3	1+2+3
1	Середнє значення кубикової міцності бетону фактичне, $f_{cm, is, cube}$	1,015	1,048	1,050	1,059	1,048
2	Стандартне відхилення фактичне, $s$	-	1,19	1,48	1,06	1,07
3	Коефіцієнт варіації, $V_c$	-	1,24	1,55	1,12	1,11
4	Діапазон значень, $f_{is, max} - f_{is, lowest}$	-	2,36	1,94	1,50	1,50
5	Діапазон значень до середньої міцності, $(f_{is, max} - f_{is, lowest}) / f_{cm, is, cube}$	-	0,40	0,49	0,63	0,64
6	Кількість стандартних відхилень у діапазоні значень, $(f_{is, max} - f_{is, lowest}) / s$	2,06	2,00	1,30	1,42	1,40

$$15,09 \geq 0,85 (f_{ck} - 4) = 0,85 (16,34 - 4) = 10,49,$$

свідчить, що область випробувань слід вважати такою, що складається з бетону, який відповідає класу міцності на стиск С12/15.

Виконання цих нерівностей для ділянок 1+2 плити перекриття

$$25,77 \geq 0,85 (f_{ck, is} + 1,48 \times s) = 0,85 (20,58 + 5,19) = 21,90,$$

$$22,10 \geq 0,85 (f_{ck} - 4) = 0,85 (20,58 - 4) = 14,09,$$

свідчить, що область випробувань слід вважати такою, що складається з бетону, який відповідає класу міцності на стиск С20/25.

## ВИСНОВКИ

1. Стан нормативних документів, щодо вирішення питань міцності і класу бетону на стиск, потребує перегляду для однозначності інтерпретації результатів та недопущення корупційних ризиків.
2. Слід чітко визначити сфери застосування норм і стандартів, які по-перше обслуговують технологію і ринок виробництва бетонної суміші та бетонних і залізобетонних виробів, по-друге забезпечують отримання фактичних характеристик існуючих виробів, конструкцій і споруд та їх відповідність проекту.
3. Перший підхід пов'язаний з виготовленням контрольних бетонних зразків, умови виготовлення і зберігання яких тотожні таким же умовам для будівельних конструкцій; другий – з відбором зразків з конструкцій (діаметр і висота керн визначається умовами конструкції, впливом режиму буріння, шліфовкою торців), ризики невідповідностей в умовах «життя» бетону тут відсутні.

4. Умови випробування зразків кубів і кернів практично однакові.

5. Під час інтерпретації результатів випробувань виникають труднощі пов'язані з розмірами вибірки (кількість зразків); призначенням партій, в кожній з яких відкидають з розгляду слабкі зразки; призначенням нормативного коефіцієнта варіації міцності, а з досвідом – розрахунком такого коефіцієнту, який має суттєвий вплив на кінцеві результати. Перший підхід передбачає визначення міцності в партіях зразків; другий – сукупність окремих зразків.

6. Спосіб розрахунку середньої міцності в партіях важко назвати статистично коректним, в кожній партії результатів виокремлюються менші значення, але в цілому вдовольняють вимогу 95%-й вірогідності.

7. Різниця у визначенні характеристичної міцності бетону на стиск за контрольними зразками та за зразками, відібраними з конструкцій, полягає у зменшенні ризиків невідповідностей у другому випадку.

8. Результати аналізу за першим підходом за ДБН В.2.6-98:2009 [2] показали, що в плиті перекриття на усіх ділянках і в цілому, клас міцності бетону на стиск становить С16/20.

За другим підходом за ДСТУ Б EN 13791:2013 [13] оцінка класу міцності бетону на стиск в конструкції за мінімальною характеристичною міцністю окремих зразків бетону на стиск, визначена двома методами в залежності від кількості зразків без використання даних виробника бетону (коефіцієнта варіації), становила для усієї плити також С16/20, але на ділянці 3 була С12/15, а на ділянках 2 та 1+2 - С20/25, що перевірено додатковими нерівностями.

В усіх випадках клас міцності бетону на стиск не відповідав проектному С25/30.

9. Вважаємо доцільним, особливо для споруд підвищеної відповідальності, перевірку





результатів, що отримані за першим підходом, випробуванням зразків-керна, відібраних з конструкцій.

10. Для вирішення спірних питань з оцінки міцності бетону в конструкціях і збірних бетонних елементах перевагу слід віддавати результатам випробувань безпосередньо в конструкціях за ДСТУ Б EN 13791:2013 (EN 13791:2007, IDT) [13].

#### БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Рунова Р.Ф., Руденко І.І., Троян В.В. К вопросу о корректировке нормативов по определению прочности бетона. Киевский национальный университет строительства и архитектуры: г. Киев, Украина. 2013.
2. ДБН В.2.6-98:2009 Конструкції будинків і споруд. Бетонні та залізобетонні конструкції. Основні положення.
3. ДБН В.2.3-22:2009 Споруди транспорту. Мости та труби. Основні вимоги проектування.
4. ДСТУ Б В.2.7-224:2009 Будівельні матеріали. Бетони. Правила контролю міцності.
5. In My Judgment by Adam Neville. Core Tests: Easy to Perform, Not Easy to Interpret. Concrete International, November 2001, P. 59-68.
6. ACI 214R-02 Evaluation of Strength Test Results of Concrete, 2002. 20 p.
7. ACI 214.4R-03 Guide for Obtaining Cores and Interpreting Compressive Strength Test Results of Concrete, 2003. 16 p.
8. ACI 228.1R-03 In-Place Methods to Estimate Concrete Strength, 2003. 44p.
9. ACI 214R-11 Guide to Evaluation of Strength Test Results of Concrete, 2011. 16 p.
10. Brunarski L., Dohojda M. An approach to in-situ compressive strength of concrete. Bull. Pol. Ac.: Tech. 64(4), 2016. P. 687-695. Doi:<https://doi.org/10.1515/brasts-2016-0078>
11. ДСТУ Б В.2.7-176:2008 Будівельні матеріали. Суміші бетонні та бетон. Загальні технічні умови (EN 206.1:2000, NEQ).
12. ДСТУ Б В.2.7-223:2009 Бетони. Методи визначення міцності за зразками, відібраними з конструкцій.
13. ДСТУ Б EN 13791:2013 Оцінка міцності бетону на стиск в конструкціях і збірних бетонних елементах (EN 13791:2007, IDT).
14. Тарасюк В.Г., Жарко Л.О., Овчар В.П., Борецька Н.С. До визначення міцності і класу бетону. Наука та будівництво. 2019. 2 (20). С. 31-37.
15. ДСТУ Б В.2.6-4-95 (ГОСТ 22904-93) Конструкції залізобетонні. Магнітний метод визначення товщини захисного шару бетону і розташування арматури.
16. ДСТУ Б В.2.7-214:2009 Будівельні матеріали. Бетони. Методи визначення міцності за контрольними зразками.

#### REFERENCES

1. Runova, R.F., Rudenko, I.I., & Troian, V.V. (2013). On the amendment of the concrete strength determination standards. Kyiv, Ukraine: Kyiv National University of Construction and Architecture.
2. Buildings and facilities structures. Concrete and reinforced concrete structures. Basic principles: DBN V.2.6-98:2009. (2011).
3. Transport facilities. Bridges and pipes. Main design requirements: DBN V.2.3-22:2009. (2009).
4. Building materials. Concretes. Rules for the strength control: DSTU B V.2.7-224:2009. (2010).
5. Neville, A. (2001). Core Tests – Easy to Perform, Not Easy to Interpret. Concrete International, 23 (11), 59-68.
6. Evaluation of Strength Test Results of Concrete (ACI 214R-02). 2002.
7. Guide for Obtaining Cores and Interpreting Compressive Strength Test Results of Concrete (ACI 214.4R-03). (2003).
8. In-Place Methods to Estimate Concrete Strength (ACI 228.1R-03). (2003).
9. Guide to Evaluation of Strength Test Results of Concrete (ACI 214R-11). (2011).
10. Brunarski, L., & Dohojda, M. (2016). An approach to in-situ compressive strength of concrete. Bulletin of the Polish Academy of Sciences: Technical Sciences, 64(4), 687-695. DOI: 10.1515/brasts-2016-0078
11. Building materials. Concrete mix and concrete. General specification: DSTU B V.2.7-176:2008 (EN 206.1:2000, NEQ). (2010).
12. Building materials. Concretes. Methods of strength evaluation on cores drilled from structures: DSTU B V.2.7-223:2009. (2010).
13. Assessment of concrete compressive strength in structures and precast concrete elements: DSTU B EN 13791:2013 (EN 13791:2007, IDT). (2014).
14. Tarasiuk, V.H., Zharko, L.O., Ovchar, V.P., & Boretska, N.S. (2019). The determination of concrete strength and grade. Science and construction, 2 (20), 31-37.
15. Reinforced concrete structures. Magnetic method for the determination of the concrete protection layer thickness and the reinforcement location: DSTU B V.2.6-4-95 (GOST 22904-93). (1995).
16. Building materials. Concretes. Methods for strength determination using reference specimens: DSTU B V.2.7-214:2009. (2010).

Стаття надійшла до редакції 24.12.2019 року