

УДК 666.031

DOI: 10.30838/UJCEA.2312.270425.81.1164

ВПЛИВ ЧАСУ ПЕРЕМІШУВАННЯ БЕТОННИХ СУМІШЕЙ НА МІЦНІСНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ КОНСТРУКЦІЙНИХ БЕТОНІВ

КОНОПЛЯНИК О. Ю.¹, канд. техн. наук, доц.,
ЖУК Д. В.^{2*}, асп.

¹ Кафедра залізобетонних і кам'яних конструкцій, Український державний університет науки і технологій, ННІ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Архітектора Олега Петрова, 24-а, 49005, Дніпро, Україна, тел. +38 (067) 762-24-55, e-mail: konoplianiuk.alexander@gmail.com, ORCID ID: 0000-0003-4664-8809

^{2*} Кафедра залізобетонних і кам'яних конструкцій, Український державний університет науки і технологій, ННІ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Архітектора Олега Петрова, 24-а, 49005, Дніпро, Україна, тел. +38 (096) 834-19-31, e-mail: dmitrij.zhuk.98d@gmail.com, ORCID ID: 0009-0001-2454-4980

Анотація. Постановка проблеми. В теперішній час в Україні переважна кількість будівель і споруд будується з використанням конструкційного бетону. Зростаючий попит на монолітний бетон ставить перед виробниками завдання забезпечення якісних характеристик бетонних сумішей, які в значній мірі впливають на міцнісні та деформативні характеристики конструкційних бетонів. Одним із напрямків досягнення високої якості бетонних сумішей – є технологічний напрямок, який включає в себе використання сучасних бетонозмішувачів та оптимальну технологію перемішування компонентів суміші. **Аналіз сучасного стану** розробки та дослідження бетонів показав, що одним з технологічних факторів перемішування бетонної суміші – є вибір оптимального часу перемішування суміші, який значно впливає на міцнісні характеристики отриманого бетону. **Аналіз публікацій** показав, що значний вплив на якість перемішування має його тривалість, яка в змішувачах циклічної дії визначається з моменту завантаження всіх матеріалів до початку вивантаження [1]. При недостатній тривалості перемішування погіршується однорідність бетону та знижується його міцність. Збільшення тривалості перемішування веде до отримання однорідної бетонної суміші, але мало впливає на міцність бетону, яка збільшується не суттєво. Практичні дослідження Шалона [2] свідчать, що однорідність бетонної суміші визначається межею міцності бетонних зразків на стиск після певного часу перемішування, а найбільш помітний ефект підвищення міцності зразків спостерігається при перемішуванні суміші в інтервалі 1–2 хвилин. Проте збільшення часу перемішування до 10 хвилин призводить лише до незначного підвищення міцності бетонних зразків. Автори [3] на основі досліджень досягнення рівномірності суміші представляють в вигляді графіку залежності від умовного часу перемішування. При цьому умовний час перемішування відповідає проміжку часу від початку перемішування до досягнення рівномірності суміші і знаходиться в межах 30–600 секунд, а оптимальне досягнення міцності досягається в межах 30–240 секунд перемішування бетонної суміші. Нормативний документ [4] регламентує тривалість перемішування суміші у стаціонарному циклічному змішувачі, яка знаходиться в інтервалі від 50 до 120 секунд і залежить від щільності заповнювача і рухливості суміші. Регламент для виготовлення високорухливих сумішей [5, п. 3.16] передбачає, що час перемішування бетонної суміші повинен бути не менше 4–5 хвилин, а при використанні додатків фібри – не менше 7 хвилин, з яких 5 хвилин – це час сухого змішування компонентів. Автори [6] в результаті випробувань зробили висновки, що час перемішування 45 секунд для бетонних сумішей, які призначені для будівництва покриттів доріг і аеродромів, недостатній, так як розкид значень достатньо великий і виходить за нижню та верхню межу, як для параметра повітряприймання, так і при рухомості сумішей. При перемішуванні бетонної суміші 90 секунд стабілізуються показники повітряприймання та рухомості. Час перемішування 120 секунд по розкиду результатів співпадає з часом перемішування 90 секунд, тому більш довге перемішування не доцільне. Нормативний документ [7, п. 5.2.2] визначає, що порядок завантаження компонентів, тривалість перемішування бетонної суміші мають бути встановлені для конкретних матеріалів і умов використовуваного бетонозмішувального обладнання шляхом оцінки рухливості бетонної суміші, однорідності і міцності бетону в конкретному замісі. **Мета статті** полягає в дослідженні технологічного фактору отримання якісних бетонних сумішей в залежності від часу їх перемішування. При цьому слід визначити закономірність зміни міцнісних та деформативних характеристик конструкційних бетонів в залежності від часу перемішування сумішей. **Висновки.** Встановлено, що одним з основних технологічних факторів, які значно впливають на якість бетонних сумішей є тривалість перемішування бетонної суміші. Проведені дослідження кубової та призмової міцності конструкційних бетонів, отриманих при часі перемішування суміші від 90 до 480 с. Класи бетону, визначені за результатами кубової міцності, отримані на основі вирахування коефіцієнтів варіації міцності при різних часах перемішування суміші, виявились однаковими і склали C16/20 (B20). Класи бетону, визначені за результатами призмової міцності, виявились різними, при цьому найбільші показники класу бетону C30/35 (B35) і C25/30 (B30) виявились у бетонів складів № 1 і 3 при часі перемішування суміші 480 і 180 с відповідно.

В цьому випадку, отриманий результат перевищення призмової міцності над кубіковою міцністю не є типовим, а підтвердження або спростування визначених класів бетону за міцністю можна отримати в результаті дослідження деформативних характеристик бетонів шляхом визначення їх модуля пружності.

Ключові слова: бетонна суміш; час перемішування суміші; конструкційний бетон; міцність бетону; клас бетону

INFLUENCE OF MIXING TIME OF CONCRETE MIXTURES ON THE STRENGTH CHARACTERISTICS OF STRUCTURAL CONCRETE

KONOPLIANYK O.Yu.¹, *Cand. Sc. (Tech.), Assoc. Prof.*,
ZHUK D.V.^{2*}, *Postgrad. Stud.*

¹ Department of Reinforced Concrete and Masonry Structures, Ukrainian State University of Science and Technologies, ESI "Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture", 24-a, Architect Oleh Petrov St., Dnipro, 49005, Ukraine, tel. +38 (067) 762-24-55, e-mail: konoplianyk.alexander@gmail.com, ORCID ID: 0000-0003-4664-8809

^{2*} Department of Reinforced Concrete and Masonry Structures, Ukrainian State University of Science and Technologies, ESI "Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture", 24-a, Architect Oleh Petrov St., Dnipro, 49005, Ukraine, tel. +38 (096) 834-19-31, e-mail: dmitrij.zhuk.98d@gmail.com, ORCID ID: 0009-0001-2454-4980

Abstract. Problem statement. Currently, in Ukraine, the vast majority of buildings and structures are built using structural concrete. The growing demand for monolithic concrete poses the task of ensuring the quality characteristics of concrete mixtures, which significantly affect the strength and deformation characteristics of structural concrete. One of the directions for achieving high quality concrete mixtures is the technological direction, which includes the use of modern concrete mixers and optimal technology for mixing the mixture components. **Analysis of the current state** of development and research of concretes has shown that one of the technological factors for mixing a concrete mixture is the choice of the optimal mixing time of the mixture, which significantly affects the strength characteristics of the resulting concrete. **Analysis of publications** has shown that its duration has a significant impact on the quality of mixing, which in cyclic mixers is determined from the moment of loading all materials to the beginning of unloading [1]. With insufficient mixing duration, the homogeneity of concrete deteriorates and its strength decreases. Increasing the mixing time leads to obtaining a homogeneous concrete mixture, but has little effect on the strength of concrete, which increases insignificantly. Practical studies by Chalon [2] show that the homogeneity of the concrete mixture is determined by the compressive strength of concrete samples after a certain mixing time, and the most noticeable effect of increasing the strength of samples is observed when mixing the mixture in the interval of 1–2 minutes. However, increasing the mixing time to 10 minutes leads to only a slight increase in the strength of concrete samples. The authors [3], based on research, present the achievement of mixture uniformity in the form of a graph depending on the conditional mixing time. In this case, the conditional mixing time corresponds to the time interval from the start of mixing to achieving mixture uniformity and is within 30–600 seconds, and the optimal achievement of strength is achieved within 30–240 seconds of mixing the concrete mixture. The regulatory document [4] regulates the duration of mixing the mixture in a stationary cyclic mixer, which is in the range from 50 to 120 seconds and depends on the density of the aggregate and the mobility of the mixture. The regulation for the production of high-mobility mixtures [5, p. 3.16] provides that the mixing time of the concrete mixture should be at least 4–5 minutes, and when using fiber additives – at least 7 minutes, of which 5 minutes is the time of dry mixing of the components. The authors [6], as a result of tests, concluded that the mixing time of 45 seconds for concrete mixtures intended for the construction of road and airfield surfaces is insufficient, since the spread of values is quite large and goes beyond the lower and upper limits, both for the air entrainment parameter and for the mobility of the mixtures. When mixing the concrete mixture for 90 seconds, the air entrainment and mobility indicators stabilize. The mixing time of 120 seconds according to the scatter of the results coincides with the mixing time of 90 seconds, therefore longer mixing is not advisable. The regulatory document [7, p. 5.2.2] determines that the order of loading the components, the duration of mixing the concrete mixture should be established for specific materials and conditions of the concrete mixing equipment used by assessing the mobility of the concrete mixture, the homogeneity and strength of concrete in a specific batch. **The purpose of the article** is to study the technological factor of obtaining high-quality concrete mixtures depending on the time of their mixing. In this case, it is necessary to determine the pattern of changes in the strength and deformation characteristics of structural concretes depending on the time of mixing the mixtures. **Conclusions.** It was established that one of the main technological factors that significantly affect the quality of concrete mixtures is the duration of mixing the concrete mixture. Studies of the cubic and prismatic strength of structural concretes obtained with a mixing time of the mixture from 90 to 480 s were conducted. The concrete classes determined by the results of cubic strength, obtained on the basis of the calculated coefficients of variation of strength at different times of mixing the mixture, turned out to be the same and amounted to C16/20 (B20). The concrete classes determined by the results of prismatic strength turned out to be different, with the highest indicators of the concrete class C30/35 (B35) and C25/30 (B30) being found in concretes of

compositions no. 1 and 3 at a time of mixing the mixture of 480 and 180 s, respectively. In this case, the obtained result of exceeding the prismatic strength over the cubic strength is not typical, and confirmation or refutation of the determined concrete classes by strength can be obtained as a result of studying the deformation characteristics of concretes by determining their modulus of elasticity.

Keywords: *concrete mixture; mixing time; structural concrete; concrete strength, concrete class*

Постановка проблеми. В теперішній час в Україні переважна кількість будівель і споруд будується з використанням конструкційного бетону. Зростаючий попит на монолітний бетон ставить перед виробниками завдання забезпечення якісних характеристик бетонних сумішей, які в значній мірі впливають на міцнісні та деформативні характеристики конструкційних бетонів. Одним із напрямків досягнення високої якості бетонних сумішей – є технологічний напрямок, який включає в себе використання сучасних бетонозмішувачів та оптимальну технологію перемішування компонентів суміші.

Аналіз сучасного стану розробки та дослідження бетонів показав, що одним з технологічних факторів перемішування бетонної суміші – є вибір оптимального часу перемішування суміші, який значно впливає на міцнісні характеристики отриманого бетону.

Аналіз публікацій показав, що значний вплив на якість перемішування має його тривалість, яка в змішувачах циклічної дії визначається з моменту завантаження всіх матеріалів до початку вивантаження [1]. При недостатній тривалості перемішування погіршується однорідність бетону та знижується його міцність. Збільшення тривалості перемішування веде к отриманню однорідної бетонної суміші, але мало впливає на міцність бетону, яка збільшується не суттєво. Практичні дослідження Шалона [2] свідчать, що однорідність бетонної суміші визначається межею міцності бетонних зразків на стиск після певного часу перемішування, а найбільш помітний ефект підвищення міцності зразків спостерігається при перемішуванні суміші в інтервалі 1–2 хвилин. Проте збільшення часу перемішування до 10 хвилин призводить лише до незначного підвищення міцності бетонних зразків.

Автори [3] на основі досліджень досягнення рівномірності суміші представляють в вигляді графіку залежності від умовного часу перемішування. При цьому умовний час перемішування відповідає проміжку часу від початку перемішування до досягнення рівномірності суміші і знаходиться в межах 30–600 секунд, а оптимальне досягнення міцності досягається в межах 30–240 секунд перемішування бетонної суміші. Нормативний документ [4] регламентує тривалість перемішування суміші у стаціонарному циклічному змішувачі, яка знаходиться в інтервалі від 50 до 120 секунд і залежить від щільності заповнювача і рухливості суміші. Регламент для виготовлення високорухливих сумішей [5, п. 3.16] передбачає, що час перемішування бетонної суміші повинен бути не менше 4–5 хвилин, а при використанні додатків фібри – не менше 7 хвилин, з яких 5 хвилин – це час сухого змішування компонентів. Автори [6] в результаті випробувань зробили висновки, що час перемішування 45 секунд для бетонних сумішей, які призначені для будівництва покриттів доріг і аеродромів, недостатній, так як розкид значень достатньо великий і виходить за нижню та верхню межу, як для параметра повітряприймання, так і при рухомості сумішей. При перемішуванні бетонної суміші 90 секунд стабілізуються показники повітряприймання та рухомості. Час перемішування 120 секунд по розкиду результатів співпадає з часом перемішування 90 секунд, тому більш довге перемішування не доцільне. Нормативний документ [7] визначає, що порядок завантаження компонентів, тривалість перемішування бетонної суміші мають бути встановлені для конкретних матеріалів і умов використання бетонозмішувального обладнання шляхом

оцінки рухливості бетонної суміші, однорідності і міцності бетону в конкретному замісі.

Мета роботи полягає в дослідженні технологічного фактору отримання якісних бетонних сумішей в залежності від часу їх перемішування. При цьому слід визначити закономірність зміни міцнісних характеристик конструкційних бетонів в залежності від часу перемішування сумішей.

Виклад матеріалу. Оскільки отримання якісних бетонних сумішей технологічно

можливе лише при застосуванні новітніх бетонозмішувачів та оптимально підібраних складів бетонних сумішей, то дослідження впливу часу перемішування суміші на міцнісні характеристики бетонів проводили на бетонозмішувачі марки «Айріх» який дозволяє виготовлювати бетонні суміші певної консистенції. Загальний вигляд бетонозмішувача марки «Айріх» наведений на рисунку 1.



Рис. 1. Загальний вигляд бетонозмішувача марки «Айріх»

В загальному вигляді бетонозмішувач складається з шафи управління та резервуара бетонозмішувача. Згідно завдання задається частота обертання змішувача та лопатей системи, а також кут похилу змішувача.

Бетонозмішувач марки «Айріх» забезпечує наступні технічні характеристики: об'єм барабану (чаші) – 40 дм³, частота обертання лопатей – 104–1 977 об/хв, частота обертання чаші – 14–88 об/хв, кут нахилу чаші від горизонталі – 0–60°.

Для проведення досліджень встановлювали наступні параметри бетонозмішувача. Чашу бетонозмішувача розташовували під кутом 60° від горизонталі. Задавали частоту обертання

чаші 29 об/хв, а частоту обертання лопатей – 450 об/хв.

Так як було прийнято досліджувати вплив часу перемішування бетонної суміші на якість бетону, то проводили 4 заміси с однаковим дозуванням компонентів, але час перемішування суміші приймали різним – 480, 300, 180 та 90 секунд.

Використовували склад оптимальної бетонної суміші який був встановлений в результаті пробних замісів, який складався з: щебіню фракції 10–20 мм, піска річкового з модулем крупності $M_{кр} = 1,7$, цементу М400 та води.

Технологія виготовлення суміші була обрана наступною. Спочатку в бетонозмішувач додавали сипучі компоненти в послідовності пісок, щебінь, цемент і цю суміш перемішували протягом 1

хв. Потім при обертанні чаші бетонозмішувача додавали необхідну кількість рідини і всю суміш перемішували на протязі 90–480 с до отримання однорідної маси.

Так як перед проведенням досліджень впливу часу змішування суміші були підібрані пропорції В/Ц, то під час експерименту не було необхідності зупиняти процес перемішування.

Виготовлену в бетонозмішувачі суміш видавали в металеву ємність і подавали до міста укладки. Суміш укладали в металеві форми, розмірами 100×100×100 мм та 100×100×400 мм, які попередньо були встановлені на піддонах безпосередньо біля бетонозмішувача. Усього в результаті 4-х замісів було виготовлено 24 зразки-куби (чотири склади по 6 зразків, склади позначені № 1–4) та 18 зразків-призм.

Бетонну суміш засипали в форми і формували методом ручного ущільнення. Під час виготовлення кожної партії бетонних зразків відслідковувалась температура і вологість повітря. Температура повітря під час виготовлення сумішей складала $t = 18,0\text{--}18,8\text{ }^{\circ}\text{C}$ при вологості повітря 60–63 %.

Усі бетонні зразки 4-х партій зберігались в умовах лабораторії на протязі 28 діб при температурі повітря 18–22 °С і вологості 91–93%.

Міцність бетону на стиск в МПа визначали в лабораторних умовах на зразках-кубах згідно нормативного документу [8]. Зразки-куби розмірами 100×100×100 мм доводили до руйнування на пресі П-125. Швидкість підйому навантаження складала 4 кН за секунду.

Межу міцності на стиск визначали шляхом відношення руйнівного навантаження до площі поперечного перерізу зразка.

Густину зразків в кг/м³ визначали згідно нормативного документу [9] шляхом їх контрольного зважування та відношення цієї ваги до об'єму зразка. Об'єм зразка визначали шляхом його розмітки та вимірювання розмірів в характерних перерізах.

Після випробування кожної партії зразків-кубів оцінювали характер їх руйнування і структуру внутрішньої поверхні бетону

В таблиці 1 наведені результати визначення міцності та густини бетонних зразків, виготовлених при часі перемішування суміші 180 с.

На рисунках 2 і 3 наведені характер руйнування зразків-кубів складу № 3, виготовлених при часі перемішування суміші 180 с.

Таблиця 1

Результати визначення міцності та густини бетонних зразків розмірами 100×100×100 мм, виготовлених при часі перемішування бетонної суміші 180 с

Маркування зразків	Маса зразка, m , г	Довжина зразка, $a_{\text{ср}}$, мм	Ширина зразка, $b_{\text{ср}}$, мм	Висота зразка, $h_{\text{ср}}$, мм	Площа зразка, S , см ²	Об'єм зразка, V , см ³	Густина, ρ , г/см ³	Руйнівне зусилля P , кН	Міцність на стиск, R_m , МПа
З ₁	2 272	99,58	100,3	99,99	99,87	998,61	2,275	250,3	25,06
З ₂	2 302	100,05	99,9	100,19	99,95	1001,37	2,299	240,72	24,08
З ₃	2 253	99,85	99,9	99,81	99,75	995,63	2,263	240,43	24,10
З ₄	2 268	100,18	99,45	100,03	99,62	996,49	2,276	254,87	25,58
З ₅	2 260	100,38	99,45	100,09	99,82	999,10	2,262	233,22	23,36
З ₆	2 275	99,15	100,225	100,41	99,37	997,83	2,280	227,5	22,89

**Примітка.* Жовтим кольором виділені бетонні зразки-куби з найменшою міцністю, які не враховуються при розрахунку загальної міцності бетону.

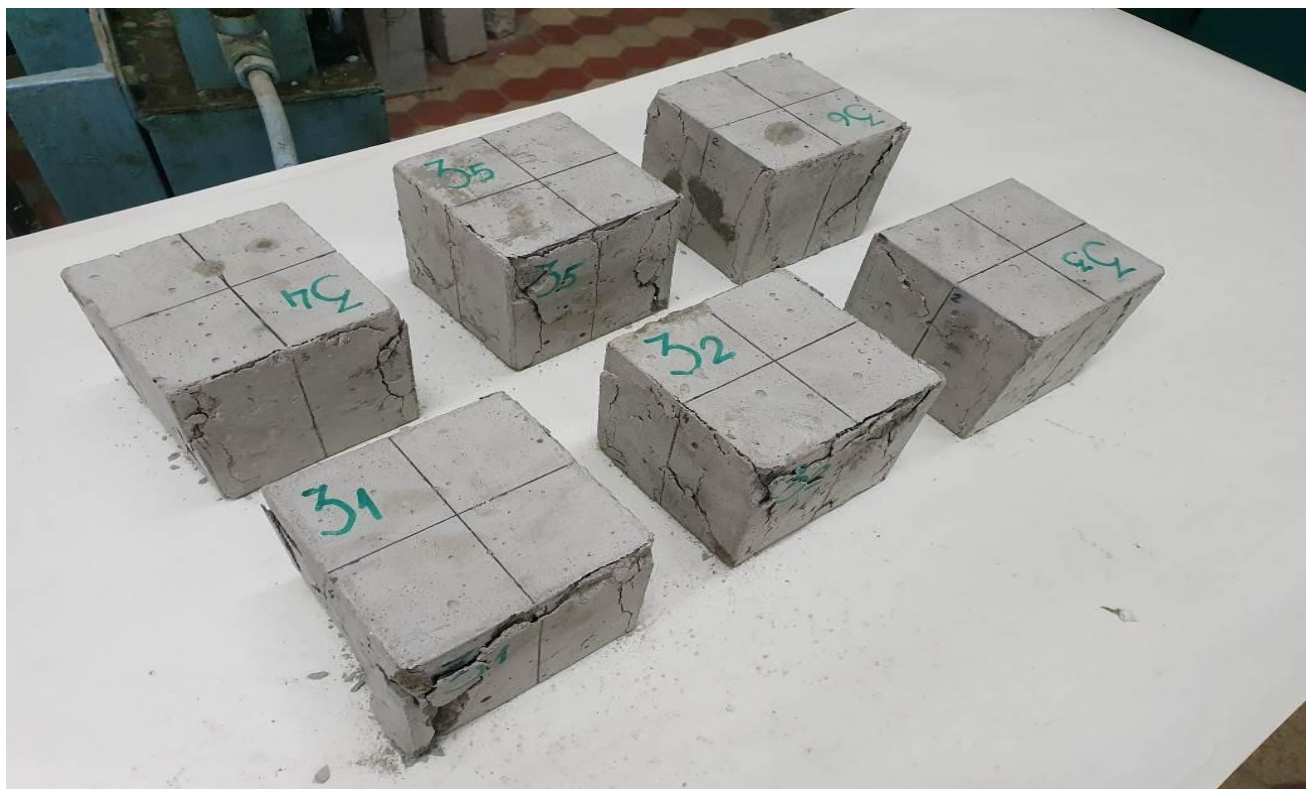


Рис. 2. Загальний вигляд бетонних зразків складу №3 (час перемішування суміші 180 с) після руйнування

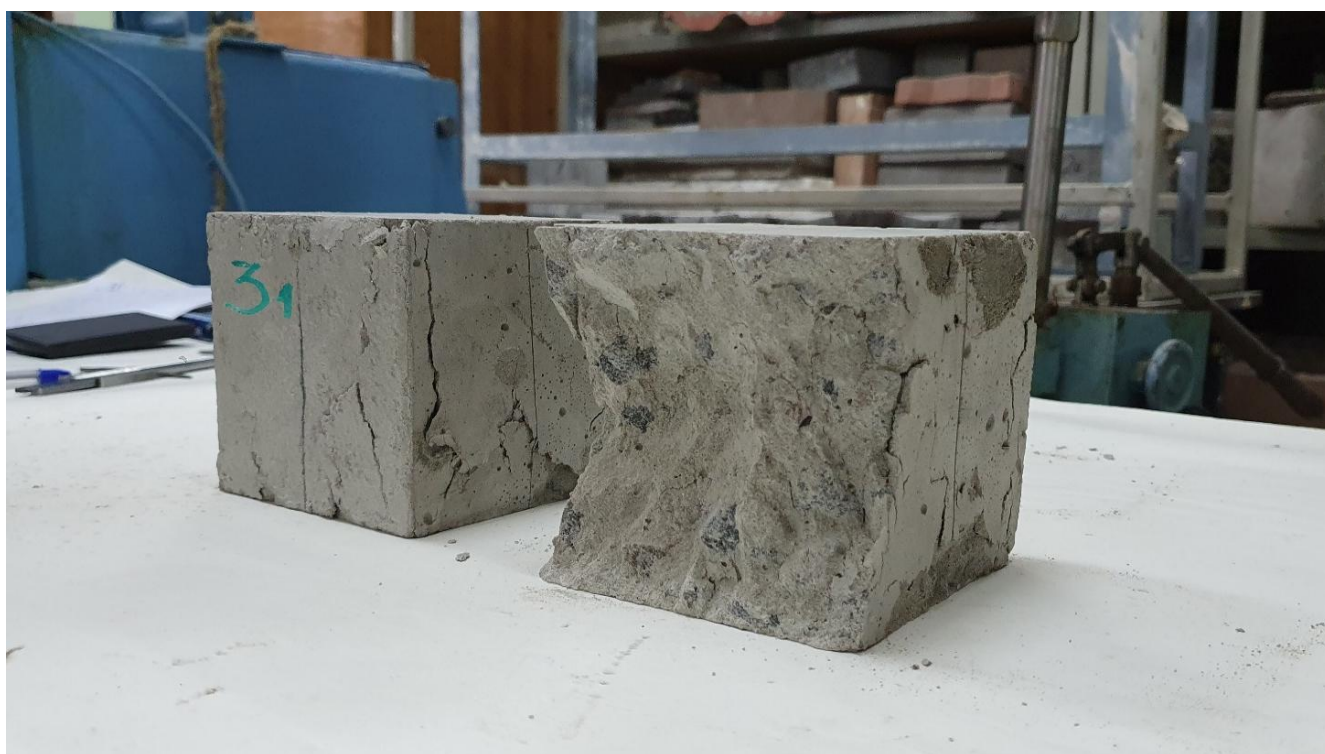


Рис. 3. Типовий характер руйнування і структура внутрішньої поверхні зразків складу № 3

В складі бетону № 1 (час перемішування суміші 480 с) один зразок мав нетиповий характер руйнування, в складах бетону № 2–4 (час перемішування суміші 300, 180 і

90 с відповідно) усі зразки мали типовий характер руйнування

Структура внутрішньої поверхні зразків складів № 1–4 свідчить про рівномірне розташування зв'язки між зернами

заповнювача. Однак при цьому слід виділити підвищену пористість усіх зв'язок.

Результати випробувань міцності зразків-кубів розмірами $100 \times 100 \times 100$ мм дозволили нам систематизувати залежність показників міцності та густини конструкційних бетонів. Оскільки при випробуванні міцності зразків-кубів складу № 1 серед шести зразків маємо один з нетиповим характер руйнування, то згідно [8, п. 8.4] міцність зразків бетону з нетиповим руйнуванням в серії зразків не враховується. А в серії зразків-кубів складів

№ 2–4, які мають типовий характер руйнування, при визначенні показників міцності нормативний документ [8, п. 8.4] передбачає з шістьох та випробувань зразків до розрахунку міцності брати лише чотири самі більші. Середня густина усіх складів визначається аналогічно міцності - за густиною тих зразків, що прийняті до розрахунку міцності. На рисунках 4 і 5 представлені діаграми залежності міцності бетону, визначеної на зразках-кубах розмірами $100 \times 100 \times 100$ мм, від часу перемішування бетонної суміші.

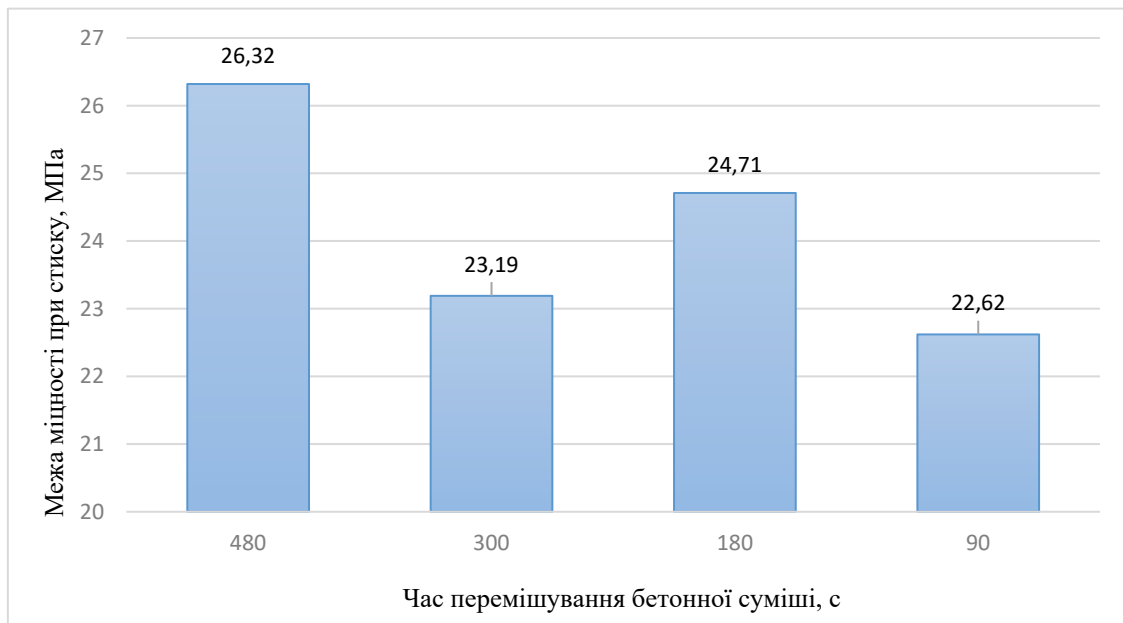


Рис. 4. Діаграми залежності міцності бетону від часу перемішування бетонної суміші

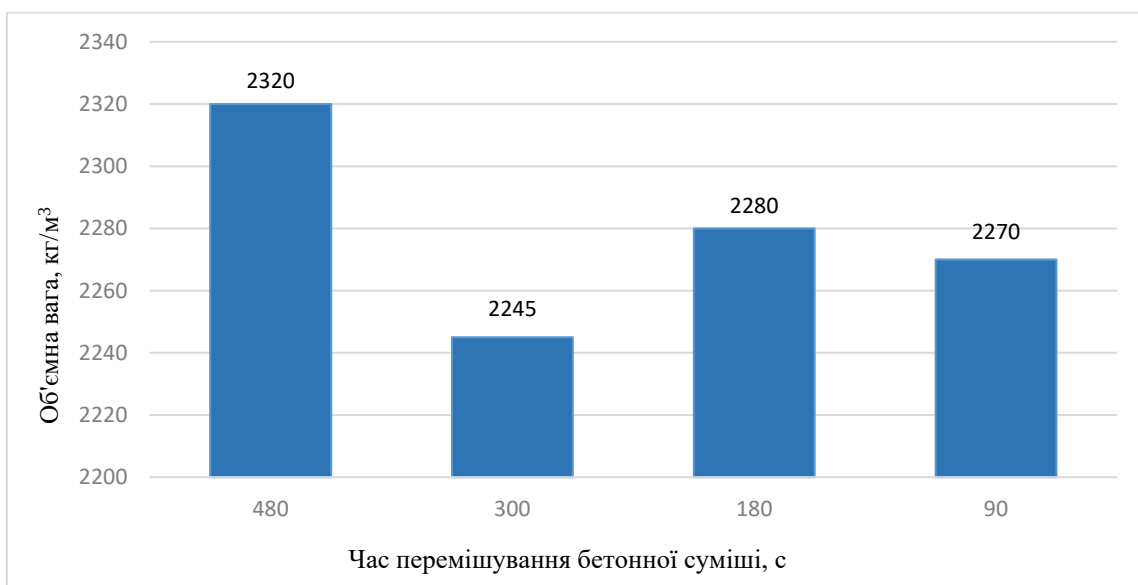


Рис. 5. Діаграми залежності міцності бетону від часу перемішування бетонної суміші

Як видно з рисунку 4, найбільшу міцність при стиску, яка дорівнює 26,32 МПа, має бетон складу № 1 при часі перемішування суміші 480 секунд. При часі перемішування суміші 180 с міцність бетону складу № 3 зменшується до 24,71 МПа. А міцність бетону складів № 2 і 4 при часі перемішування суміші 300 і 90 с відрізняється незначно і дорівнює 23,19 і 22,62 МПа відповідно.

Такий характер розподілу міцності на пряму залежить від середньої густини бетонів (рис. 5). На нашу думку, при підвищеному часі перемішування (480 с) відбувається повне ущільнення компонентів суміші. При зменшенні часу змішування до 300 с відбувається зменшення міцності з одночасним зменшенням середньої густини бетону. Далі характер зміни міцності і густини бетонів не можна пояснити прямо пропорційною залежністю міцність – густина, так як на діаграмах залежності з'являється пік підвищення міцності при часі перемішування суміші 180 с. Тому для підтвердження, або спростування отриманого характеру зміни міцності на стиск необхідно провести випробування призмової міцності бетонів шляхом

дослідження міцності зразків - призм розмірами 100×100×400 мм.

Для узагальнення результатів визначення міцності бетону, показники отриманих результатів випробувань кубів з розмірами ребра 100 мм повинні бути приведені до міцності стандартних зразків-кубів з розміром ребра 150 мм. В цьому випадку, отримані показники міцності зразків-кубів з розміром ребра 100 мм повинні бути помножені на масштабний коефіцієнт α , який згідно [8, табл. 5] дорівнює 0,95.

Окрім цього, оскільки кількість зразків - кубів для випробування в кожному складі бетону дорівнювала 6-ти, то це дало можливість призвести математичну обробку результатів досліджень, визначити коефіцієнт варіації за міцністю бетону на стиск та клас бетону.

Визначений в результаті досліджень клас бетону порівнювали з прийнятим в нормах на проектування [10, с. 19–20, 11, табл. 3.1] коефіцієнтом варіації, якій дорівнює 13,5 %.

Загальні результати визначення міцності, середньої густини та класу конструкційного бетону наведені в таблиці 2.

Таблиця 2

Загальні результати визначення міцності, середньої густини та класу конструкційного бетону

№ п/п	Показники	Номер складу			
		Час перемішування бетонної суміші, с			
		<u>1</u> 480	<u>2</u> 300	<u>3</u> 180	<u>4</u> 90
1	Межа міцності при стиску, $R(F_{c,cube}) \cdot 0,95$, МПа	25,0	22,03	23,47	21,49
2	Середня густина, ρ , кг/м ³	2 320	2 245	2 280	2 270
3	Визначений коефіцієнт варіації за міцністю, V_m , %	14,5	4,18	4,22	2,86
4	Клас бетону за міцністю на стиск згідно визначеного коефіцієнта варіації V_m , %	C16/20 (B20)	C16/20 (B20)	C16/20 (B20)	C16/20 (B20)
5	Клас бетону за міцністю на стиск згідно стандартного коефіцієнта варіації $V_m = 13,5$ %	C16/20 (B20)	C12/15 (B15)	C12/15 (B15)	C12/15 (B15)

Як видно з таблиці 2, середня міцність на стиск бетонних зразків-кубів дорівнює 21,49–25,0 МПа. При цьому, найбільшу міцність 25,0 МПа має бетон складу № 1 при часі перемішування суміші 480 с, а найменшу – 21,49 МПа має бетон складу № 4 при часі перемішування суміші 90 с.

Найбільший коефіцієнт варіації міцності бетону при стиску 14,5 %, який визначений на партії з 6 зразків має бетон складу № 1 при часі перемішування суміші 480 с, що більше ніж прийнятий в нормах на проектування [10, с. 19–20, 11, табл. 3.1] коефіцієнт варіації, якій дорівнює 13,5 %. Коефіцієнти варіації міцності бетону складів

№ 2–4 при часі перемішування суміші 300, 180 і 90 с знаходяться в межах від 2,86 до 4,22 %, що значно менше прийнятого в нормах на проектування коефіцієнта варіації, якій дорівнює 13,5 %.

Згідно отриманих коефіцієнтів варіації міцності бетону, шляхом розрахунку встановлювали фактичні класи бетону, отримані при різних часах перемішування суміші. В нашому випадку усі класи бетону виявились однаковими і становили С16/20 (В20).

Оскільки, при розрахунку класу бетону, з урахуванням отриманого на основі досліджень зразків-кубів коефіцієнту варіації за міцністю, всі класи бетону виявились однаковими, то досліджували призову міцність бетонів шляхом випробування зразків-призм розмірами 100×100×400 мм. Випробування зразків-призм проводили згідно з рекомендаціями

нормативного документу [12] Усього було випробувано 18 зразків-призм: по 4 зразки у складів бетонів № 1 і 2 , виготовлених при часі перемішування суміші 480 і 300 с та по 5 зразків у складів бетонів № 3 і 4, виготовлених при часі перемішування суміші 180 і 90 с.

Зразки-призми розмірами 100×100×400 мм доводили до руйнування на пресі П-125 зі швидкістю підйому навантаження 4 кН за секунду. Призову міцність на вісьовий стиск визначали шляхом відношення руйнівного навантаження до середньої площі поперечного перерізу зразка.

Після випробування кожної партії зразків-призм оцінювали характер їх руйнування по гранях На рисунку 6 наведений характер руйнування призми складу № 3 (3₁₄), виготовленої при часі перемішування суміші 180 с.



Рис. 6. Характер руйнування бетонної призми складу №3 (3₁₄), виготовленої при часі перемішування суміші 180 с, по гранях I-II і III-IV

Таблиця 3

Результати визначення призової міцності та класу конструкційного бетону

№ п/п	Показники	Номер складу Час перемішування бетонної суміші, с			
		1 480	2 300	3 180	4 90
1	Призова міцність на вісьовий стиск, $f_{ck,prism}(R_b)$, МПа	25,67	18,87	21,2	19,76
2	Визначений коефіцієнт варіації за міцністю, V_m , %	11,37	8,28	9,44	10,0
3	Клас бетону за міцністю на вісьовий стиск C(B)	C30/35 (B35)	C20/25 (B25)	C25/30 (B30)	C20/25 (B25)

За результатами випробувань визначали середню призмову міцність зразків на вісьовий стиск. При визначенні середніх значень призмової міцності в серії зразків відбраковували аномальні (ті, що сильно відхиляються) результати випробувань.

Результати визначення призмової міцності та класу конструкційного бетону наведені в таблиці 3.

Як видно з таблиці 3 призмova міцність бетонних зразків розміром 100×100×400 мм на вісьовий стиск склала 18,87–25,67 МПа. Найбільші показники призмової міцності 25,67 МПа має бетон складу № 1 при часі перемішування суміші 480 с, а найменші – 18,87 МПа має бетон складу № 2 при часі перемішування суміші 300 с. Визначений за показниками призмової міцності клас бетону склав: C30/35 (B35) у бетона складу № 1 та C25/30 (B30) у бетона складу № 3. У бетонів складів № 2 і 4 при часі перемішування суміші 300 і 90 с клас бетону однаковий і дорівнює C20/25(B25). Визначені за призмовою міцністю коефіцієнти варіації міцності бетон знаходяться в межах 8,28–11,37 %, що менше прийнятого в нормах на проектування коефіцієнта варіації 13,5 %, дозволяють говорити про достовірність отриманих результатів досліджень.

Висновки

Встановлено, що одним з основних технологічних факторів, які значно впливають на якість бетонних сумішей є тривалість перемішування бетонної суміші. Проведені дослідження кубікової та призмової міцності конструкційних бетонів, отриманих при часі перемішування суміші від 90 до 480 с. Класи бетону, визначені за результатами кубікової міцності, отримані на основі вирахування коефіцієнтів варіації міцності при різних часах перемішування суміші, виявились однаковими і склали C16/20 (B20). Класи бетону, визначені за результатами призмової міцності, виявились різними, при цьому найбільші показники класу бетону C30/35 (B35) і C25/30 (B30) виявились у бетонів складів № 1 і 3 при часі перемішування суміші 480 і 180 с відповідно. В цьому випадку, отриманий результат перевищення призмової міцності над кубіковою міцністю не є типовим, а підтвердження або спростування визначених класів бетону за міцністю можна отримати в результаті дослідження деформативних характеристик бетонів шляхом визначення їх модуля пружності.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Баженов Ю. М. Технология бетона : учеб. пособ. для технол. спец. строит. вузов. 2-е изд перераб. Москва : Высшая школа, 1987. 415 с.
2. Невиль А. М. Время перемешивания. Свойства бетона. Москва : Стройиздат, 1972. С. 144–147.
3. Paul E. L., Atiemo-Obeng V. A., Kresta S. M. (rec.). Handbook of Industrial Mixing : Science and Practice. Hoboken, NJ : Wiley-Interscience, 2004. 1422 p.
4. ДСТУ Б В.2.7-96-2000 (ГОСТ 7473-94). Суміші бетонні. Технічні умови. [Чинні від 2000.07.01]. Вид. офіц. Київ : Державний комітет будівництва, архітектури та житлової політики України, 2000. 20 с. Державний стандарт України. URL : https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=4671
5. Регламент з приготування високорухливих бетонних сумішей для ремонту тонкостінних гідротехнічних споруд. Затверджено наказом Держводгоспу 29.01.2008, № 12. Київ, 2008.
6. Zhou M., Li H., Ma G., Tan J. Effect of mixing methods on the properties of fresh and hardened concrete. Construction and Building Materials. 2016. Vol. 104. Pp. 1–7.
7. ДСТУ-Н Б В.2.6.-203:2015. Настанова з виконання робіт при виготовленні та монтажі будівельних конструкцій. [Чинні від 2016.04.01]. Вид. офіц. Київ : Мінрегіон України, 2015. 96 с. Державний стандарт України. URL : https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=63372
8. ДСТУ Б В.2.7.-214:2009. Бетони. Методи визначення міцності за контрольними зразками. [Чинні від 2010.09.01]. Вид. офіц. Київ : Мінрегіонбуд України, 2010. 43 с. Державний стандарт України. URL : https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=25943
9. ДСТУ Б В.2.7.-170:2008. Бетони. Методи визначення середньої густини, вологості, водопоглинення, пористості та водонепроникнення. [Чинні від 2009.07.01]. Вид. офіц. Київ : Мінрегіонбуд України, 2009. 38 с. Державний Стандарт України. URL : <https://surl.li/lpouyk>

10. Байков В. Н., Сигалов Э. Е. Железобетонные конструкции. Общий курс. Москва : Стройиздат, 1991. 767 с.

11. ДБН В.2.6-98:2009. Конструкції будинків і споруд. Бетонні та залізобетонні конструкції. Основні положення. [Чинні від 2020.06.01]. Вид. офіц. Київ : Мінрегіонбуд України, 2011. 71 с. Державний стандарт України. URL : https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=26677

12. ДСТУ Б В.2.7.-217:2009. Бетони. Методи визначення призмової міцності, модуля пружності і коефіцієнта Пуассона. [Чинні від 2010.09.01]. Вид. офіц. Київ : Мінрегіонбуд України, 2010. 16 с. Державний Стандарт України. URL : https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=26677

REFERENCES

1. Bazhenov Yu.M. *Tekhnologiya betona : ucheb. posobiye dlya tekhnol. spets. stroit. vuzov. 2-ye izd pererab.* [Concrete Technology : textbook allowance for technol. special build universities, 2nd edition revised]. Moscow : Higher School Publ., 1987, 415 p. (in Russian).

2. Neville A.M. *Vremya peremeshvaniya. Svoystva betona* [Mixture time. Properties of concrete]. Moscow : Stroyizdat Publ., 1972, pp. 144–147. (in Russian).

3. Paul E.L., Atiemo-Obeng V.A. and Kresta S.M. (rec.). *Handbook of Industrial Mixing: Science and Practice*. Hoboken, NJ : Wiley-Interscience Publ., 2004, 1422 p.

4. DSTU B V.2.7-96-2000 (HOST 7473-94). *Sumishi betonni. Tekhnichni umovy. Chynni vid 2000.07.01. Vyd. ofits.* Kyiv.: *Derzhavnyy komitet budivnytstva, arkhitektury ta zhytlovoyi polityky Ukrayiny* [DSTU B V.2.7-96-2000 (GOST 7473-94). Concrete mixtures. Technical conditions. Valid from 2000.07.01. Official edition. Kyiv : State Committee for Construction, Architecture and Housing Policy of Ukraine]. 2000, 20 p. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=4671 (in Ukrainian).

5. *Rehlament z pryhotuvannya vysokorukhlyvykh betonnykh sumishey dlya remontu tonkostinnykh hidrotekhnichnykh sporud* [Regulations for the preparation of high-mobility concrete mixtures for the repair of thin-walled hydraulic structures]. Kyiv : Approved by Order of the State Water Resources and Water Resources Administration of 01/29/2008, no. 12. (in Ukrainian).

6. Zhou M., Li H., Ma G. and Tan J. Effect of mixing methods on the properties of fresh and hardened concrete. *Construction and Building Materials*. 2016, vol. 104, pp. 1–7.

7. DSTU-N B V.2.6-203:2015. *Nastanova z vykonannya robot pry vyhotovlenni ta montazhi budivel'nykh konstruktsiy. chynni vid 2016.04.01. Vyd. ofits.* [DSTU-N B V.2.6-203:2015. Instructions for the performance of work during the manufacture and installation of building structures. Valid from 2016.04.01. Official edition]. Kyiv : Minregion of Ukraine, 2015, 96 p. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=63372 (in Ukrainian).

8. DSTU B V.2.7.-214:2009. *Betony. Metody vyznachennya mitsnosti za kontrol'nyy zrazkamy. chynni vid 2010.09.01. Vyd. ofits.* [DSTU B V.2.7.-214:2009. Concrete. Methods for determining strength by control samples. Valid from 2010.09.01. Official edition]. Kyiv : Minregionstroy of Ukraine, 2010, 43 p. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=25943 (in Ukrainian).

9. DSTU B V.2.7.-170:2008. *Betony. Metody vyznachennya seredn'oyi hustyny, volohosti, vodopohlynennya, porystosti ta vodonepronyknennya. chynni vid 2009.07.01. Vyd. ofits.* [DSTU B V.2.7.-170:2008. Concretes. Methods for determining average density, humidity, water absorption, porosity and water permeability. Valid from 2009.07.01. Official edition]. Kyiv : Minregionalbud of Ukraine, 2009, 38 p. URL: <https://surl.li/lpovyk> (in Ukrainian).

10. Baikov V.N. and Sigalov E.Ye. *Zhelezobetonnyye konstruktsii. Obshchiy kurs* [Reinforced concrete structures. General course]. Moscow : Stroyizdat Publ., 1991, 767 p. (in Russian).

11. ДБН В.2.6-98:2009. Конструкції будинків і споруд. Бетонні та залізобетонні конструкції. Основні положення. [Чинні від 2020.06.01]. Вид. офіц. Київ : Мінрегіонбуд України, 2011, 71 p. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=26677 (in Ukrainian).

12. DSTU B V.2.7.-217:2009. *Betony. Metody vyznachennya pryzmovoyi mitsnosti, modulya pruzhnosti i koefitsiyenta Puassona. Chynni vid 2010.09.01. Vyd. ofits.* [DSTU B V.2.7.-217:2009. Concretes. Methods for determining prismatic strength, elastic modulus and Poisson's ratio. Valid from 2010.09.01. Official edition]. Kyiv : Minregionalbud of Ukraine, 2010, 16 p. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=26677 (in Ukrainian).

Надійшла до редакції: 23.03.2025.