

УДК 624.012.45

ВПЛИВ ТЕХНОЛОГІЇ ЗАВАНТАЖЕННЯ ТА ПЕРЕМІШУВАННЯ КОМПОНЕНТІВ БЕТОННИХ СУМІШЕЙ НА МІЦНІСНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ КОНСТРУКЦІЙНИХ БЕТОНІВ

INFLUENCE OF COMPONENT LOADING AND MIXING TECHNOLOGY ON THE STRENGTH CHARACTERISTICS OF STRUCTURAL CONCRETES

Конопляник О.Ю., к.т. н., доцент, ORCID ID: 0000 – 0003 - 4664 - 8809, Жук Д.В., аспірант, ORCID ID: 0009-0001-2454-4980, (Український державний університет науки і технологій, Навчально-науковий інститут «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», м. Дніпро)

Konoplianiuk Alexander, Ph.D., Associate Professor, ORCID: 0000-0003-4664-8809, Zhuk Dmitriy, Postgrad. Student, ORCID: 0009-0001-2454-4980, (Ukrainian State University of Science and Technologies, Educational and scientific institute "Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture", Dnipro).

Аналіз сучасного стану розробки та дослідження бетонів показав, що одним з технологічних факторів підвищення якості бетонних сумішей є певний порядок подачі та перемішування компонентів суміші, який значно впливає на міцнісні характеристики отриманого бетону.

В результаті проведених досліджень міцності конструкційних бетонів, отриманих за трьома технологіями подачі і перемішування бетонних сумішей, визначена можливість отримання гарантованого класу конструкційного бетону не менш C18/22,5 (B22,5).

This scientific work continues previous research related to the classification of structural concretes based on their strength and deformational characteristics under an optimal mixing time of 180 seconds. As a result of strength tests on cube and prism specimens, concrete classes by axial compressive strength were established, not less than C16/20 (B20).

The analysis of the current state of concrete development and research has shown that one of the technological factors for improving the quality of concrete mixtures is the specific sequence of feeding and mixing the components, which significantly influences the strength characteristics of the resulting concrete.

In laboratory conditions, investigations were carried out on the strength and class of concrete under two experimental technologies of loading and mixing the components of the concrete mixture, with the optimal mixing time of 180 s. For this purpose, 16 cube specimens of 100 × 100 × 100 mm and 12 prism specimens of 100 × 100 × 400 mm were manufactured and tested. The obtained strength values of the experimental structural concretes and their class determination were compared with analogous strength indicators of concrete produced using the conventional technology of loading and mixing the components under the same optimal mixing time of 180 s.

The results of the strength tests of concretes indicated that, in order to achieve a guaranteed class of structural concrete not less than B22.5 (class C not standardized) at the optimal mixing time of 180 s, it is necessary to apply the following technology of loading and mixing the components of the concrete mixture. According to this technology, first, 1 volumetric part of water and 5 volumetric parts of cement are added into the mixer and mixed for 30 s. Then, with the mixer stopped, 10 volumetric parts of sand and 2.5 volumetric parts of water are added, followed by mixing for 30 s. Finally, with the mixer drum rotating, 15 volumetric parts of crushed stone are added, and the entire mixture is mixed for 180 s until a homogeneous mass is obtained.

Ключові слова: бетонна суміш; технологія загрузки, час перемішування суміші; конструкційний бетон; міцнісні характеристики, клас бетону. Concrete mixture, loading technology, mixture mixing time, structural concrete, strength characteristics, strength class of concrete.

Вступ. Бетон є одним із найважливіших будівельних матеріалів сучасності, який широко застосовується у зведенні конструкцій різного призначення. Його якість та експлуатаційні властивості значною мірою визначаються технологічними параметрами приготування бетонної суміші.

Особливу роль у формуванні міцнісних характеристик конструкційного бетону відіграють технологічні фактори, такі як час перемішування бетонної суміші, порядок завантаження та перемішування компонентів, частота обертання лопатей бетономішувача та інші. Від правильності вибраних технологічних операцій залежить якість бетонної суміші, що впливає на підвищення міцності та покращення деформативних характеристик бетонів.

Аналіз останніх досліджень. Дана наукова робота є продовженням досліджень [1,2], які пов'язані з визначенням класу конструкційних бетонів за їх міцнісними та деформативними характеристиками при визначеному оптимальному часі перемішування бетонної суміші. Аналіз публікацій показав

значний вплив на міцнісні та деформативні характеристики бетонів багатостадійного порядку загрузки компонентів та їх перемішування в бетонозмішувачі. Так експериментальні дослідження, зокрема Zhao et al. (2022), показали, що використання трістадійного підходу до змішування (спочатку заповнювачі з частиною води, потім цемент, потім решта води та добавки) у поєднанні з вібраційним змішуванням дозволяє підвищити щільність, однорідність і міцність бетону на стиск на 7–10% порівняно зі стандартною схемою змішування [3]. Дослідження Teichmann et al. (2024) підтверджують, що двостадійний підхід до змішування (спочатку частина води з заповнювачами, потім цемент і решта води) дозволяє знизити вміст цементу без втрати міцності, що важливо для екологічної та економічної оптимізації складу бетону [4]. У національних стандартах України [5–6] підкреслюється важливість фактору, який пов'язаний з подачею компонентів суміші в бетонозмішувач та вибору технології її перемішування. Так в нормативний документі [5] в розділах про технологію приготування бетонних сумішей наголошується на важливості правильного порядку завантаження компонентів для забезпечення однорідності та уникнення грудкування цементу. Стандарт [6] регламентує контроль міцності та якості бетонів, зазначаючи, що технологія змішування включно з порядком завантаження є критичним фактором для отримання проектної міцності.

Мета роботи полягає в дослідженні міцнісних характеристик конструкційних бетонів в залежності від трьох вибраних технологій загрузки та перемішування компонентів бетонної суміші.

Результати дослідження. Для дослідження міцнісних характеристик конструкційних бетонів приймали наступні технології загрузки та перемішування компонентів бетонної суміші:

I технологія (відома, яка застосована згідно з дослідженнями [1]). Згідно технології I з початку 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 води і всю суміш перемішували протягом 180 с до отримання однорідної маси.

II технологія (дослідна). Згідно технології II з початку в бетонозмішувач додавали 1 об'ємну частину (об, ч) води та 5 об, ч цементу і цю суміш перемішували протягом 30 с. Потім при виключеному бетонозмішувачі додавали 10 об, ч піску і 2,5 об, ч води з подальшим перемішуванням отриманої суміші протягом 30 с. Далі, при обертанні чаші бетонозмішувача додавали 15 об, ч щебню і всю суміш перемішували протягом 180 с до отримання однорідної маси.

III технологія (дослідна). Згідно технології III з початку в бетонозмішувач додавали 10 об, ч піску та 5 об, ч цементу і цю суміш перемішували протягом 30 с. Потім при виключеному бетонозмішувачі додавали 3,5 об, ч води з

подальшим перемішуванням отриманої суміші протягом 30 с. Далі, при обертанні чаші бетонозмішувача додавали 15 об, ч щебню і всю суміш перемішували протягом 180 с до отримання однорідної маси.

В процесі дослідження технологій подачі і перемішування компонентів бетонної суміші використовували склад оптимальної суміші який був встановлений в результаті проведених досліджень [1] і який складався з: щебню фракції 10–20 мм, піску річкового з модулем крупності $M_{кр} = 1,7$, цементу М400 та води.

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 використання 3-х технологій було виготовлено 22 зразки-куби: 6 зразків-кубів за відомою технологією І (склади позначені № 3_{1-3₆}) та 16 зразків-кубів за дослідними технологіями ІІ і ІІІ (склади позначені № 5_{1-5₈} та 6_{1-6₈} відповідно). Зразків призм було виготовлено в кількості 18 (по 6 зразків кожної з технологій).

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 $t = 18,6-23,6$ °С при вологості повітря 56–69 %.

Усі бетонні зразки 3-х технологічних партій зберігались в умовах лабораторії протягом 28 діб при температурі повітря 18,2–23 °С і вологості 91–93%.

Міцність бетону на стиск в МПа визначали в лабораторних умовах на зразках-кубах згідно нормативного документу [7]. 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. При визначенні показників міцності бетону нормативний документ [7, п. 8.4] передбачає з шістьох та восьми випробувань зразків до розрахунку міцності не враховувати дві самі менші результати.

Густину зразків в кг/м³ визначали згідно нормативного документу [8] 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-кубів складу 5, виготовлених при другій технології загрузки та перемішування компонентів бетонної суміші, а на рисунках 2 і 3 наведені характер руйнування та структура внутрішньої поверхні цих зразків.

Таблиця 1

Результати визначення міцності та густини бетонних зразків виготовлених при другій технології загрузки та перемішування компонентів бетонної суміші

Маркування зразків	Маса зразка, m , г	Довжина зразка, $a_{ср}$, мм	Ширинна зразка, $b_{ср}$, мм	Висота зразка, $h_{ср}$, 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
5 ₁	2302,30	100,40	99,80	99,40	100,20	995,98	2,312	326,7	32,61
5 ₂	2320,35	99,65	100,35	99,89	100,00	998,86	2,323	276,25	27,63
5 ₃	2390,10	101,90	99,825	99,71	101,72	1014,29	2,356	325,2	31,97
5 ₄	2360,95	100,65	99,825	100,09	100,47	1005,62	2,348	311,7	31,02
5 ₅	2386,50	101,75	100,30	99,74	102,06	1017,87	2,345	297,5	29,15
5 ₆	2416,10	100,98	100,325	100,73	101,30	1020,38	2,368	369,75	36,5
5 ₇	2361,35	99,98	101,025	100,13	101,00	1011,26	2,335	287,25	28,44
5 ₈	2336,00	101,30	100,175	99,68	101,48	1011,47	2,309	245,65	24,21

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

Як видно з табл.1 показники густини бетонних зразків складу 5 становлять 2,309 - 2,368 $г/см^3$, а їх міцність при стиску дорівнює 24,21-36,5 МПа. В складі бетону 5 (II технологія загрузки та перемішування компонентів бетонної суміші) всі зразки мали типовий характер руйнування (рис.2).



Рис. 2. Загальний вигляд бетонних зразків складу 5 після руйнування (II технологія загрузки та перемішування компонентів бетонної суміші)



Рис. 3. Типовий характер руйнування і структура внутрішньої поверхні зразків складу 5

Візуальний аналіз структури внутрішньої поверхні зразків (рис.3) показав, що ця структура рівнощільна. В'язуча речовина рівномірно розподілена між зернами заповнювача. Адгезія в'язучої речовини до зерен заповнювача добра. Відкрита пористість в'язучої речовини мінімальна.

В таблиці 2 наведені результати визначення міцності та густини бетонних зразків-кубів складу 6, виготовлених при третій технології загрузки та перемішування компонентів бетонної суміші, а на рисунках 4 і 5 наведені характер руйнування та структура внутрішньої поверхні цих зразків.

Таблиця 2

Результати визначення міцності та густини бетонних зразків виготовлених при третій технології загрузки та перемішування компонентів бетонної суміші

Маркування зразків	Маса зразка, m , г	Довжина зразка, a , $a_{\text{ср}}$, мм	Ширина зразка, b , $b_{\text{ср}}$, мм	Висота зразка, h , $h_{\text{ср}}$, мм	Площа зразка, S , $S_{\text{ср}}$, см^2	Об'єм зразка, V , $V_{\text{ср}}$, см^3	Густина, ρ , $\text{г}/\text{см}^3$	Руйнівне зусилля P , кН	Міцність на стиск, R_m , МПа
б ₁	2361,35	100,78	100,025	100,13	100,80	1009,26	2,340	274,38	27,22
б ₂	2309,15	100,05	99,875	99,44	99,92	993,63	2,324	224,38	22,46
б ₃	2349,75	99,48	100,775	100,05	100,25	1002,96	2,343	305,0	30,42
б ₄	2369,35	100,65	100,725	99,85	101,38	1012,28	2,341	293,75	28,98
б ₅	2336,80	100,70	99,65	99,98	100,35	1003,22	2,329	230,63	22,98

Продовження табл.2.									
6 ₆	2343,40	100,45	100,025	100,06	100,48	1005,38	2,331	274,25	27,29
6 ₇	2330,70	100,18	100,925	99,69	101,10	1007,86	2,313	185,0	18,3
6 ₈	2351,20	101,03	100,375	100,43	101,40	1018,35	2,309	206,88	20,4

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

Як видно з табл.2 показники густини бетонних зразків складу 6 становлять 2,309 – 2,343 г/см³, а їх міцність при стиску дорівнює 18,3-30,42 МПа. В складі бетону 6 (III технологія заправки та перемішування компонентів бетонної суміші) всі зразки мали типовий характер руйнування (рис.4).



Рис. 4. Загальний вигляд бетонних зразків складу 6 після руйнування (III технологія заправки та перемішування компонентів бетонної суміші)



Рис. 5. Типовий характер руйнування і структура внутрішньої поверхні зразків складу 6

Візуальний аналіз структури внутрішньої поверхні зразків (рис.5) показав, що ця структура рівнощільна. В'язуча речовина рівномірно розподілена між зернами заповнювача. Адгезія в'язучої речовини до зерен заповнювача добра. Однак відкрита пористість в'язучої речовини підвищується в порівнянні з пористістю аналогічної речовини бетону складу 5. На поверхні в'язучої речовини спостерігаються окремі тріщини.

Результати випробувань міцності зразків-кубів розмірами 100×100×100 мм дозволили нам систематизувати залежність показників середньої міцності та густини в залежності від прийнятих технологій заправки та перемішування компонентів бетонної суміші.

На рисунках 6 і 7 представлені діаграми залежності середньої міцності та густини в залежності від прийнятих технологій заправки та перемішування компонентів бетонної суміші.



Рис. 6. Діаграми залежності середньої міцності бетонних зразків від технології заправки та перемішування компонентів бетонної суміші

Як видно з рис. 6, найбільшу середню міцність при стиску, яка дорівнює 31,62 МПа, мають зразки-куби бетону складу 5 при другій (дослідній) технології заправки та перемішування компонентів бетонної суміші. При третій (дослідній) технології заправки та перемішування компонентів бетонної суміші середня міцність зразків-кубів бетону складу 6 зменшується до 24,76 МПа, що практично не відрізняється від середньої міцності зразків-кубів бетону складу 3, виготовлених по першій (відомій) технології заправки та перемішування компонентів бетонної суміші [1].

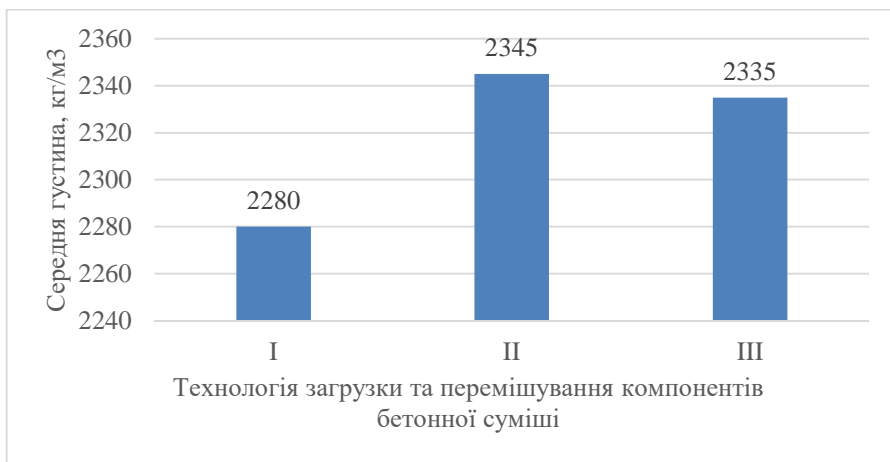


Рис.7. Діаграми залежності середньої густини бетонних зразків від технології загрузки та перемішування компонентів бетонної суміші

Як видно з рис. 7, найбільшу середню густина, яка дорівнює 2345 кг/м^3 , мають зразки-куби бетону складу 5 при другій (дослідній) технології загрузки та перемішування компонентів бетонної суміші. При третій (дослідній) технології загрузки та перемішування компонентів бетонної суміші середня густина зразків-кубів бетону складу 6 незначно зменшується до 2335 кг/м^3 . Середня густина зразків-кубів обох дослідних технологій загрузки та перемішування компонентів бетонної суміші значно перевищує середню густина зразків бетону складу 3, виготовлених по першій (відомій) технології загрузки та перемішування компонентів бетонної суміші [1].

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 [7, табл. 5] дорівнює 0,95.

Оскільки кількість зразків-кубів для випробування в кожному складі бетону дорівнювала 8, то це дало можливість призвести математичну обробку результатів досліджень, визначити коефіцієнт варіації за міцністю бетону при стиску та клас бетону. Визначений в результаті досліджень клас бетону порівнювали з прийнятим в нормах на проектування [9, табл. 3.1] коефіцієнтом варіації, який дорівнює 13,5 %.

Загальні результати визначення середньої міцності при стиску, середньої густини та класу бетону в залежності від прийнятої технології загрузки та перемішування компонентів бетонної суміші наведені в табл.3.

Таблиця 3

Загальні результати визначення середньої міцності при стиску, середньої густини та класу конструкційного бетону

№ п/п	Показники	Номер складу		
		Технологія загрузки та перемішування компонентів бетонної суміші, с		
		3 I (відома)	5 II (дослідна)	6 III (дослідна)
1	Межа міцності при стиску, R ($F_{c.cube}$) · 0,95, МПа	23,47	30,03	23,52
2	Середня густина, ρ , кг/м ³	2280	2345	2335
3	Визначений коефіцієнт варіації за міцністю, V_m , %	4,22	12,25	17,49
4	Клас бетону за міцністю на стиск згідно визначеного коефіцієнта варіації V_m , %	C16/20 (B20)	C18/22,5 (B22,5)	C12/15 (B15)
5	Клас бетону за міцністю на стиск згідно стандартного коефіцієнта варіації $V_m = 13,5$ %	C12/15 (B15)	C18/22,5 (B22,5)	C12/15 (B15)

Як видно з табл. 2, середня міцність при стиску конструкційного бетону, виготовленого при різних технологіях загрузки та перемішування компонентів бетонної суміші дорівнює 23,47–30,03 МПа. При цьому, найбільшу міцність 30,03 МПа має бетон складу 5, виготовлений при другій (дослідній) технології загрузки та перемішування компонентів бетонної суміші. При третій (дослідній) технології загрузки та перемішування компонентів бетонної суміші середня міцність бетону складу 6 зменшується до 23,52 МПа, що практично не відрізняється від середньої міцності бетону складу 3, виготовлених по першій (відомій) технології загрузки та перемішування компонентів бетонної суміші [1].

Найбільший коефіцієнт варіації міцності бетону при стиску 17,49 % має бетон складу 6 (III технологія загрузки та перемішування компонентів бетонної суміші), що більше ніж прийнятий в нормах на проектування [9, табл. 3.1] коефіцієнт варіації, який дорівнює 13,5 %. Коефіцієнти варіації міцності бетону складів 3 (I технологія загрузки та перемішування компонентів бетонної суміші) та 5 (II технологія загрузки та перемішування компонентів бетонної суміші) дорівнюють 4,22 і 12,25%, що менше прийнятого в нормах коефіцієнта варіації, який дорівнює 13,5 %.

Згідно отриманих коефіцієнтів варіації міцності бетону, шляхом розрахунку встановлювали фактичні класи бетону, отримані при різних технологіях загрузки та перемішування компонентів бетонної суміші. Найбільший клас бетону по міцності на стиск C18/22,5 (B22,5) має бетон складу 5 (II технологія загрузки та перемішування компонентів бетонної суміші). Дана II технологія дозволяє підвищити клас бетону по міцності на

стиск відносно відомої I технології загрузки та перемішування компонентів бетонної суміші. Використання III технологія загрузки та перемішування компонентів бетонної суміші веде до зниження класу бетону по міцності на стиск до C12/15(B15).

Оскільки клас бетону можливо визначати також за призмовою міцністю [16], то провели додаткові дослідження міцності призм шляхом їх руйнування.

Призмову міцність бетонів визначали шляхом випробування зразків-призм розмірами 100×100×400 мм. Випробування зразків-призм проводили згідно з рекомендаціями нормативного документу [10]. Зразки-призми розмірами 100×100×400 мм доводили до руйнування на пресі П-125 зі швидкістю підйому навантаження 4 кН за секунду. Призмову 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

За результатами випробувань визначали середню призмову міцність зразків на вісьовий стиск. При визначенні середніх значень призмової міцності в серії з шістьох зразків відбракували аномальні (ті, що сильно відхиляються) результати випробувань, якщо коефіцієнт варіації призмової міцності бетону при стиску був більше 13,5% (технологія II) та з шістьох випробувань зразків до розрахунку міцності не враховувати два самих менших результати, якщо коефіцієнт варіації призмової міцності бетону при стиску був менше 13,5% (технології I та III).

Результати визначення призмової міцності та класу конструкційного бетону наведені в таблиці 4, а на рисунках 8 і 9 наведені характер руйнування зразків-призм складів 5(5₉) і 6 виготовлених за другою та третьою технологією загрузки та перемішування компонентів бетонної суміші.

Таблиця 4

Результати визначення призмової міцності та класу конструкційного бетону

№ п/п	Показники	Номер складу		
		Технологія загрузки та перемішування компонентів бетонної суміші		
		3 I (відома)	5 II (дослідна)	6 III (дослідна)
1	Призмova міцність на вісьовий стиск, $f_{ck,prism} (R_b)$, МПа	21,2	17,19	17,93
2	Визначений коефіцієнт варіації за міцністю, $V_m, \%$	9,44	18,82	13,33
3	Клас бетону за міцністю на вісьовий стиск C(B)	C20/25 (B25)	C18/22,5 (B22,5)	C18/22,5 (B22,5)

Як видно з табл.4 призмova міцність бетонних зразків розміром $100 \times 100 \times 400$ мм на вісьовий стиск складала 17,19 - 21,2 МПа. Найбільший показник призмovoї міцності 21,2 МПа має бетон складу 3 при першій (відомій) технології загрузки та перемішування компонентів бетонної суміші, а найменший - 17,19 МПа має бетон складу 5 при другій (дослідній) технології загрузки та перемішування компонентів бетонної суміші. Визначені за призмovoю міцністю коефіцієнти варіації міцності бетону знаходяться в межах 9,44 -18,82 %, при цьому коефіцієнт варіації міцності бетону виготовленого за технологією II більше ніж прийнятий в нормах на проектування коефіцієнт варіації 13,5 %, а коефіцієнти варіації міцності бетонів, виготовлених за технологіями I і III відповідно менше прийнятого в нормах на проектування коефіцієнта варіації.

Визначені за показниками призмovoї міцності з урахуванням коефіцієнта варіації класи конструкційних бетонів становлять: C20/25 (B25) у відомого бетону складу 3, виготовленого за першою технологією загрузки та перемішування компонентів бетонної суміші та C18/22,5 (B22,5) у дослідних бетонів складів 5 і 6, виготовлених за другою та третьою технологією загрузки та перемішування компонентів бетонної суміші.



Рис.8. Характер руйнування бетонної призми складу 5(5%), виготовленої за другою технологією загрузки та перемішування компонентів бетонної суміші, по гранях I-II і III-IV

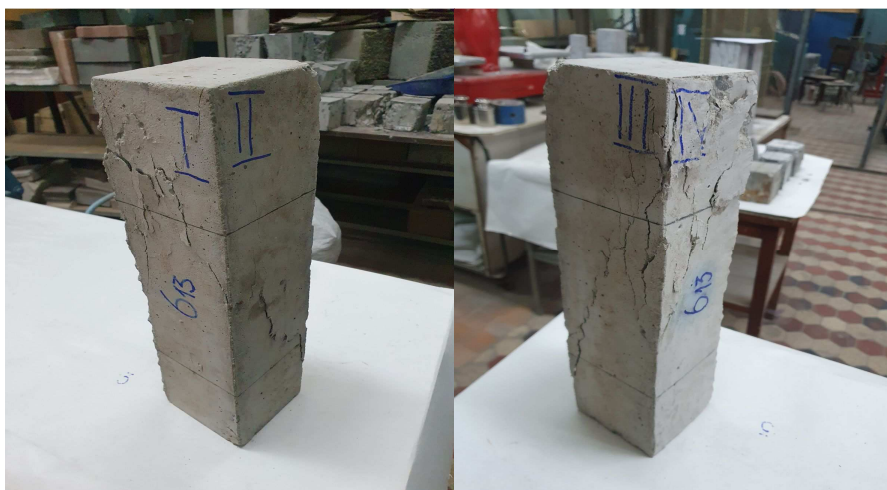


Рис. 9. Характер руйнування бетонної призми складу б(613), виготовленої за третьою технологією загрузки та перемішування компонентів бетонної суміші, по гранях I-II і III-IV

Слід відзначити збіг отриманих результатів визначення класу бетону за кубіковою та призмовою міцністю у дослідного бетону складу 5 (технологія II), та перевищення показників класу бетону, визначених за призмовою міцністю по відношенню до кубікової міцності у відомого бетону складу 3 (технологія I) та дослідного бетону складу 6 (технологія III).

Висновки та рекомендації. Встановлено, що одним з основних технологічних факторів, які значно впливають на якість бетонних сумішей є технологія загрузки та перемішування компонентів бетонної суміші. Проведені дослідження кубікової та призмової міцності конструкційних бетонів, отриманих при трьох різних технологіях загрузки та перемішування компонентів бетонної суміші. Найбільший клас бетону C18/22,5 (B22,5), визначений за результатами дослідження кубікової міцності і отриманий на основі вирахованих коефіцієнтів варіації міцності бетону, виявився у бетону, який був виготовлений за другою (дослідною) технологією загрузки та перемішування компонентів бетонної суміші. Класи бетонів за результатами дослідження кубікової міцності, які були виготовлені за першою (відомою) та третьою (дослідною) технологією загрузки та перемішування компонентів бетонної суміші зменшуються і становлять C16/20 (B20) та C12/15 (B15) відповідно.

Визначені за показниками призмової міцності з урахуванням коефіцієнта варіації класи конструкційних бетонів дорівнюють: C20/25 (B25) у відомого бетону складу 3, виготовленого за першою технологією загрузки та перемішування компонентів бетонної суміші та C18/22,5 (B22,5) у дослідних бетонів складів 5 і 6, виготовлених за другою та третьою технологією загрузки

та перемішування компонентів бетонної суміші. 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.

В результаті проведених досліджень міцності бетонів визначено, що для отримання гарантованого класу конструкційного бетону не менш **C18/22,5 (B22,5)** при оптимальному часі перемішування бетонної суміші **180 с** необхідно застосовувати **другу технологію** загрузки та перемішування компонентів бетонної суміші. Згідно технології II з початку в бетонозмішувач додають 1 об'ємну частину (об, ч) води та 5 об, ч цементу і цю суміш перемішують протягом 30 с. Потім при виключеному бетонозмішувачі додають 10 об, ч піску і 2,5 об, ч води з подальшим перемішуванням отриманої суміші протягом 30 с. Далі, при обертанні чаші бетонозмішувача додають 15 об, ч щебню і всю суміш перемішують протягом 180 с до отримання однорідної маси.

1. Конопляник О., Жук Д. Вплив часу перемішування бетонних сумішей на міцнісні характеристики конструкційних бетонів. *Український журнал будівництва та архітектури*. 2025. №3(027). С. 81–91. URL: <https://doi.org/10.30838/UJCEA.2312.270425.81.1164>. (дата звернення: 19.02.2026)

Konoplyanyk O., Zhuk D. (2025). Vplyv chasu peremishuvannya betonnykh sumishey na mitsnisi kharakterystyky konstruktivnykh betoniv [The influence of mixing time of concrete mixtures on the strength characteristics of structural concrete]. *Ukrayins'kyi zhurnal budivnytstva ta arkhitektury*, 3(027), pp. 81-91. (in Ukrainian). URL: <https://doi.org/10.30838/UJCEA.2312.270425.81.1164>. (date of access: 19.02.2026)

2. Конопляник О., Жук Д. Вплив часу перемішування бетонних сумішей на деформативні характеристики конструкційних бетонів. *Будівельні конструкції. Теорія і практика*. 2025. вип. 17. С. 119–130. URL: <https://doi.org/10.32347/2522-4182.17.2025.119-130>. (дата звернення: 19.02.2026)

Konoplyanyk O., Zhuk D. (2025). Vplyv chasu peremishuvannya betonnykh sumishey na deformativni kharakterystyky konstruktivnykh betoniv [Influence of mixing time of concrete mixtures on deformation characteristics of structural concrete]. *Budivelni konstruktivni. Teoriya i praktyka*, iss. 17, 119-130. (in Ukrainian). URL: <https://doi.org/10.32347/2522-4182.17.2025.119-130>. (date of access: 19.02.2026)

3. Zhao, K., Zhao, L., Zhang, X., Feng, Z., & Yang, S. An experimental study on the mixing process and properties of concrete based on an improved three-stage mixing approach. *Materials and Structures*. 2022. Vol. 55, iss. 134. URL: <https://doi.org/10.1617/s11527-022-01976-y>. (дата звернення: 19.02.2026)

4. Teichmann, A., Strahm, B., Garrecht, H., Blandini, L. Effects of a two-stage mixing process on the characteristics of concrete: Part I - Hardened concrete. *Results in Materials*. 2024. Vol. 23, no. 100604. URL: <https://doi.org/10.1016/j.rinma.2024.100604>. (дата звернення: 19.02.2026)

5. ДСТУ-Н Б В.2.6-203:2015. Настанова з виконання робіт при виготовленні та монтажі будівельних конструкцій. Чинний від 01.04.2016. Вид. офіц. Київ : Мінрегіон України, 2015. 70 с.

DSTU-N B V.2.6-203:2015. (2015). *Nastanova z vykonannya robit pry vyhotovlenni ta montazhi budivelnnykh konstruksii* [Guideline for execution of works in the manufacture and installation of building structures]. Kyiv: Minrehion Ukrainy. (in Ukrainian)

6. ДСТУ Б В.2.7-224:2009. Будівельні матеріали. Бетони. Правила контролю міцності. На заміну ГОСТ 18105-86 ; чинний від 01.09.2010. Вид. офіц. Київ : Мінрегіонбуд України, 2010. 23 с.

DSTU B V.2.7-224:2009. (2010). *Budivelni materialy. Betony. Pravyla kontroliu mitsnosti* [Building materials. Concretes. Strength control rules]. Kyiv: Minrehionbud Ukrainy. (in Ukrainian)

7. ДСТУ Б В.2.7-214:2009. Бетони. Методи визначення міцності за контрольною серією зразків. На заміну ГОСТ 10180-90 ; чинний від 01.09.2010. Вид. офіц. Київ : Мінрегіонбуд України, 2010. 43 с.

DSTU B V.2.7-214:2009. (2010). *Betony. Metody vyznachennia mitsnosti za kontrolnoiu serieiieiu zrazkiv* [Concretes. Methods for determination of strength by control series of samples]. Kyiv: Minrehionbud Ukrainy. (in Ukrainian)

8. ДСТУ Б В.2.7-170:2008. Будівельні матеріали. Бетони. Методи визначення середньої густини, вологості, водопоглинання, пористості і водонепроникності. На заміну ГОСТ 12730.0-78, ГОСТ 12730.2-78, ГОСТ 12730.1-78, ГОСТ 12730.3-78, ГОСТ 12730.5-78, ГОСТ 12730.4-78 ; чинний від 01.07.2009. Вид. офіц. Київ : Мінрегіонбуд України, 2009. 37 с.

DSTU B V.2.7-170:2008. (2009). *Budivelni materialy. Betony. Metody vyznachennia serednoi hustyny, volohosti, vodopohlynannia, porystosti i vodonepryknosti* [Building materials. Concretes. Methods for determination of average density, moisture content, water absorption, porosity and water permeability]. Kyiv: Minrehionbud Ukrainy. (in Ukrainian)

9. ДСТУ EN 206:2022 (EN 206:2013 + A2:2021, IDT). Бетон. Специфікація, продуктивність, виробництво та відповідність. На заміну ДСТУ Б В.2.7-176:2008 ; чинний від 31.12.2023. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2023.

DSTU EN 206:2022 (EN 206:2013 + A2:2021, IDT). (2023). *Beton. Spetsyfikatsiia, produktyvnist, vyrobnystvo ta vidpovidnist* [Concrete. Specification, performance, production and conformity]. Kyiv: DP «UkrNDNTS». (in English)

10. ДСТУ Б В.2.7-217:2009. Будівельні матеріали. Бетони. Методи визначення призмової міцності, модуля пружності і коефіцієнта Пуассона. На заміну ГОСТ 24452-80 ; чинний від 01.01.2010. Вид. офіц. Київ : Мінрегіонбуд України, 2010. 16 с.

DSTU B V.2.7-217:2009. (2010). *Budivelni materialy. Betony. Metody vyznachennia pryzmovoii mitsnosti, modulua pruzhnosti i koefitsiienta Puassona* [Building materials. Concretes. Methods for determining prism strength, modulus of elasticity and Poisson's ratio]. Kyiv: Minrehionbud Ukrainy. (in Ukrainian)

Відомості про статтю:		Article information	
Отримано	17.02.2026	Received	17.02.2026
Отримано у доопрацьованому вигляді	19.03.2026	Received in revised form	19.03.2026
Прийнято	15.04.2026	Accepted	15.04.2026
Опубліковано	31.05.2026	Published	31.05.2026

Політика відкритого доступу

Політика відкритого доступу збірника передбачає безкоштовний та безперешкодний доступ до наукових матеріалів. Усі дані доступні в цифровій або графічній формі в основному тексті статті.

Open access policy

The open access policy of the collection provides free and unhindered access to scientific materials. All data is available in digital or graphical form in the main text of the article.

Конфлікти інтересів

Автори заявляють, що у них немає конфлікту інтересів щодо поточного дослідження, включаючи фінансовий, особистий, авторський чи будь-який інший, який міг би вплинути на дослідження, а також на результати, наведені в цьому документі.

Conflicts of Interest

The authors declare that they have no conflict of interest regarding the current study, including financial, personal, authorial or any other that could be included in the study, as well as the results presented in this document.

Використання штучного інтелекту

Автори підтверджують, що при створенні поточної роботи вони не використовували технології штучного інтелекту.

Use of Artificial Intelligence

The authors confirm that they did not use artificial intelligence technologies in the creation of the current work.