

DOI: 10.32347/2076-815X.2024.85.526-536

УДК 624.012

докт. техн. наук, професор **Радкевич А.В.**,
anatolij.radkevich@gmail.com, ORCID: 0000-0001-6325-8517,
канд. техн. наук., доцент **Нетеса А.М.**,
andreynetesa@meta.ua, ORCID ID: 0000-0002-3364-3446,
Український державний університет науки і технологій, м. Дніпро,
канд. техн. наук., доцент **Ткач Т.В.**,
tkach.taisiia@pdaba.edu.ua, ORCID ID: 0000-0002-9433-7514,
Придніпровська державна академія будівництва та архітектури, м. Дніпро

АНАЛІЗ НАБОРУ МІЦНОСТІ ЗБІРНИМИ ЗАЛІЗОБЕТОННИМИ ЕЛЕМЕНТАМИ В ЗИМОВИХ УМОВАХ

Незважаючи на суттєве домінування монолітного будівництва над збірним, останній спосіб залишається актуальним для інфраструктурного, промислового та громадського будівництва на території України. З огляду на виклики сьогодення, військові дії, енергетичні складнощі, підвищується необхідність прискорення темпів будівництва будівель і споруд, в тому числі в зимових умовах. Цього можна досягти використанням збірних залізобетонних конструкцій, збирання яких потребує мінімальних енерговитрат та логістичних операцій. З огляду на необхідність максимального прискорення циклу виготовлення збірних конструкцій на заводах будівельної індустрії, постачання готової продукції (збірних залізобетонних елементів) на об'єкти будівництва виконується у віці 10-15 діб, при наборі 50-70% проєктної міцності. Подальша витримка і набір міцності прогнозується в умовах, що відрізняються від нормативних, що може знижувати швидкість набору міцності. В межах дослідження виконано вимір міцності збірних залізобетонних елементів, монтаж та витримка яких виконувались в зимових умовах. Вимір виконувався неруйнівним механічним методом (метод пружинного відскоку) електронним склерометром, по більш ніж 50 залізобетонним конструкціям (плитам). Проаналізовано міцність елементів шляхом виміру поверхневої міцності в 10 точках (для кожного елементу), з виключенням явно помилкових значень, розрахунком середньої міцності, визначенням коефіцієнту варіації та середньоквадратичної похибки. Встановлено зниження міцності деяких елементів в результаті витримки в умовах від'ємних температур до моменту набору проєктної міцності. Складено перелік заходів, вживання яких дозволить уникнути зниження міцності та відновити процес набору проєктної міцності.

Ключові слова: залізобетон; набір міцності; зимові умови; склерометр; ударний метод; неруйнівний контроль.

Постановка проблеми. Останні десятиріччя в Україні та світі спостерігається підвищення темпів зведення будівель і споруд. Зацікавленість інвесторів до якнайшвидшого повернення коштів, збільшення попиту на будівельну продукцію, прискорення загального темпу життя обумовлюють пошук нових способів прискорення твердіння бетону як ключового хімічного процесу в будівельній індустрії. Швидкий розвиток хімічної промисловості, зокрема індустрії хімічних домішок до бетонних сумішей, обумовлює можливість управління життям бетонної суміші та бетону. Проте технологічні особливості можуть вимагати більш ретельного підбору даних компонентів, дотримання оптимальної технології укладання, витримки та догляду за бетоном, а також інших дій щодо забезпечення належної якості будівельної продукції.

Аналіз останніх досліджень показує перевагу монолітного будівництва над збірним на території України, зокрема в області житлового та громадського будівництва [15-27]. Проте інфраструктурне, транспортне будівництво потребує значної частки збірного залізобетону. З огляду на військові дії на території України, відповідно ускладненість логістичних ланцюгів, обмеження енергетики, необхідність швидкого будівництва (або відновлення) об'єктів дорожнього та інфраструктурного будівництва, залишається актуальною задача перевірки ефективності улаштування збірних залізобетонних елементів та споруд. Проте фіксується необхідність встановлення мінімального ефективного терміну витримки залізобетонних елементів в умовах заводу та забезпечення найшвидшого їх перевезення до місця монтажу з метою скорішого монтажу в проектне положення та відповідно завершення будівництва об'єкта в цілому і введення в експлуатацію.

Формулювання цілей. Метою даної статті є аналіз процесів набору бетоном збірних елементів міцності в умовах зимового монтажу, витримки, в тому числі за від'ємних температур повітря навколишнього середовища. На основі зібраних статистичних даних планується формулювання рекомендацій щодо підвищення надійності виконання робіт, прискорення набору бетоном міцності, покращення технології улаштування збірних елементів та актуалізація використання збірних залізобетонних елементів для сучасного будівництва на території України.

Актуальність і новизна статті полягає в задоволенні важливої потреби підвищення надійності улаштованих залізобетонних елементів шляхом забезпечення проектною міцністю бетону при мінімальній витримці в умовах

заводу та якнайшвидшому транспортуванні і монтажі. Визначення проблемних процесів набору бетоном міцності в несприятливих умовах навколишнього середовища дозволить більш раціонально проєктувати процеси доставки збірних залізобетонних елементів до місця монтажу, послідує монтаж та витримку з метою забезпечення належного набору міцності.

Мета і методи досліджень. Досягнення мети статті передбачено виконати шляхом технічного обстеження змонтованих залізобетонних елементів, поставка яких до місця монтажу, монтаж і витримка відбувались в зимових умовах. Прогнозується, що вимір поточної міцності бетону елементів та порівняння її з нормативною міцністю дасть можливість оцінити набір міцності в несприятливих умовах та визначить необхідні операції для покращення процесу набору міцності для аналогічних елементів.

Результати. В рамках досліджень виконувалось технічне обстеження залізобетонних елементів. Об'єкти досліджень являють собою плитні залізобетонні елементи (товщина значно менша за довжину і ширину), які були виготовлені на одному з заводів будівельної індустрії протягом січня 2024 року. Після виготовлення і витримки, при віці 13-15 діб вимірялась поточна міцність бетону, та елементи поставлялись до місця монтажу. Певний час (до безпосередньо операцій монтажу) елементи витримувались в навколишньому середовищі. Далі виконувався монтаж, засипання ґрунтом (умови згідно технічних особливостей експлуатації елементів) та витримка до початку експлуатації за основним призначенням. В межах досліджень проводився додатковий вимір міцності поверхневого шару бетону протягом березня 2024 року (вік елементів 2-2,5 місяці з дати виготовлення), отримані показники міцності порівнювались з проєктними. Фіксувались також особливості витримки елементів після монтажу, якщо це було можливо.

За результатами виконаних робіт складались порівняльні таблиці по окремим елементам. Порівняння виконувалось окремо для бетонів різних класів за міцністю. Фіксувалась поточна міцність, % від нормативної (проєктної) міцності та інші показники.

Виміри безпосередньо на місці проводились електронним склерометром «ОНИКС-2.5» з наступними параметрами (таблиця 1).

Вимір міцності бетону здійснювався згідно ДСТУ Б В.2.7-220:2009. Вимір міцності кожного елемента здійснювався шляхом нанесення серії ударів (10 ударів в межах серії) по поверхні залізобетонного елемента. Прилад автоматично фіксував середнє значення по серії, коефіцієнт варіації та середньоквадратичне відхилення [1-14]. У електронного склерометра наявна функція автоматичного бракування результатів вимірів, що відрізняються від середніх більше ніж на 25% як помилкових. Під час вимірів також вручну

видалялись явно неправдиві значення (наприклад, при випадковому потраплянні бойка склерометра по поверхні зерна щебню, закладної деталі, раковині на поверхні бетону, тощо).

Таблиця 1.

Технічні параметри електронного склерометру «ОНИКС-2.5»

Діапазон виміру міцності, МПа	1...150
Межі похибки виміру міцності, %	+/- 8
Енергія удару, Дж	0,12
Дисплей LCD, роздільна здатність	128x64
Пам'ять результатів	14600
Габаритні розміри, мм	
- Електронного блоку	150x76x27 мм
- Склерометра	Ø30x165 мм
Маса, кг	
- Електронного блоку	0,15
- Склерометра	0,16

Далі складалася порівняльна таблиця, в якій наводились планові (проектні) та істинні (реальні) параметри міцності. Додатково розраховувався поточний % міцності від проектної – тільки для тих залізобетонних елементів, реальна (поточна) міцність яких виявилась меншою за проектну.

Приклад результатів вимірів – див. таблицю 2.

За результатами обстеження понад 55 елементів встановлено наступні закономірності:

- міцність понад 91% елементів, зокрема 100% елементів з бетону класу С20/25, F200, W4 на момент вимірів становила понад 100% проектної;

- міцність 9% елементів, зокрема 28% елементів з бетону класу С32/40, F200, W4 на момент вимірів становила від 84,9% до 94,6% проектної;

- причина зниження міцності панелей, вказаних в табл. 3, швидше за все, полягає в особливостях зберігання елементів перед монтажем. На поверхні панелей наявні залишки ґрунту, що свідчить про розташування їх безпосередньо на ґрунті після вивантаження перед безпосереднім монтажем. З огляду на погодні умови під час монтажу (мінімальна кількість опадів, вітер, від'ємна температура), можлива причина – замерзання бетону при мінімальній вологості та призупинення процесу гідратації цементу. Після встановлення додатної температури навколишнього середовища процес твердіння бетону відновився, але проходив з меншою інтенсивністю.

Таблиця 2.

Результати виміру міцності бетону поверхневого шару

№ точки	Місце розташування	Фактична міцність, МПа	Фактичний клас	Середня міцність, МПа V, % W, % клас бетону	Проектний клас бетону за міцністю
Споруда №1					
1.	ЗБ елемент №1	44,1	C25/30	45,8 МПа V=8,5% W=23,4% C30/35	C32/40
2.		43,8	C25/30		
3.		48,9	C30/35		
4.		46,2	C30/35		
5.		49,7	C30/35		
6.		52,9	C32/40		
7.		42,2	C25/30		
8.		46,1	C30/35		
9.		42,0	C25/30		
10.		42,3	C25/30		
11.	ЗБ елемент №2	37,9	C20/25	50,4 МПа V=14,1% W=47,2% C30/35	C20/25
12.		45,6	C25/30		
13.		56,3	C32/40		
14.		49,0	C30/35		
15.		61,7	C32/40		
16.		55,6	C32/40		
17.		43,5	C25/30		
18.		52,8	C32/40		
19.		47,0	C30/35		
20.		54,9	C32/40		

Таблиця 3.

Показники міцності окремих елементів

Конструкція	Клас бетону реальний			Клас бетону проектний	
	Позначення	МПа	% проектного	Позначення	МПа
Панель №1	C30/35	45,8	84,9	C32/40	53,9
Панель №2	C30/35	46,3	85,8	C32/40	53,9
Панель №17	C30/35	51,0	94,6	C32/40	53,9
Панель №24	C30/35	50,8	94,2	C32/40	53,9
Панель №38	C30/35	50,9	94,4	C32/40	53,9

Висновки та рекомендації. За результатами обстеження встановлено прийнятний рівень швидкості набору бетоном збірних елементів міцності, навіть в умовах від'ємних навколишніх температур зимового монтажу і витримки. Для елементів з порушенням вимог щодо витримки перед монтажем, а також за умови від'ємних навколишніх температур, спостерігається призупинення набору міцності, проте набір міцності відновлюється з настанням стабільних додатніх температур за умови сприятливої вологості повітря. З метою інтенсифікації набору бетоном міцності в зимових умовах рекомендується вживати наступних заходів:

- забезпечувати доставку, монтаж і витримку залізобетонних елементів за додатної температури навколишнього середовища;

- вживати заходів щодо додаткового прогріву (обігріву) елементів з контролем вологості;

- витримувати елементи в умовах заводу або проміжного складу довший час для збільшення набраної міцності (обов'язково за умови забезпечення сприятливих умов твердіння);

- контролювати поточну міцність залізобетонних елементів періодично до повного набору проектної міцності.

Проте через особливості ударного методу неруйнівного контролю міцності бетону здійснюється фактично вимір поверхневої міцності залізобетонного елементу. Тому перед вживанням додаткових заходів рекомендовано виконати вимір міцності іншими методами, в тому числі ультразвуковим методом за ДСТУ Б В.2.7-226:2009, а також методом виривання анкеру за ДСТУ Б В.2.7-220. В залежності від ступеня відповідальності елементів та поточного значення міцності, визначення неруйнівними методами, можливе послідує визначення міцності за відібраними зразками перед встановленням остаточних висновків.

Перелік використаних джерел

1. ДБН В.2.6-98:2009. Бетонні та залізобетонні конструкції. Основні положення. [Чинний з 2011.07.01]. Київ: Мінрегіонбуд України, ДП «Укрархбудінформ», 2011. 71 с.

2. ДБН В.1.2-2:2006. Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Навантаження та впливи. Норми проектування [Чинні від 2007-01-01]. Вид. офіц. Київ: Мінрегіонбуд України, 2006. 78 с. (Державні будівельні норми України).

3. ДСТУ-Н Б EN 1992-1-1:2010. Проектування залізобетонних конструкцій Частина 1-1. Загальні правила і правила для споруд.

4. ДСТУ Б В.2.7-223:2009. Будівельні матеріали. Бетони. Методи визначення міцності за зразками, відібраними з конструкцій. [Введене вперше (зі скасуванням ГОСТ 22690-88); чинний з 2010-09-01]. Київ: Мінрегіонбуд України, 2010. 12 с. (Національний стандарт України).

5. ДСТУ Б В.2.7-224:2009. Будівельні матеріали. Бетони. Правила контролю міцності. [Введено вперше (зі скасуванням ГОСТ 18105-86); чинний з 2010-09-01]. Київ: Мінрегіонбуд України, 2010. 23 с. (Національний стандарт України).
6. ДСТУ Б В.2.7-220:2009. Будівельні матеріали. Бетони. Визначення міцності механічними методами неруйнівного контролю. [Введено вперше (зі скасуванням ГОСТ 22690-88); чинний з 2010-09-01]. Київ: Мінрегіонбуд України, 2010. 20 с. (Національний стандарт України).
7. ДСТУ Б В.2.7-226:2009. Будівельні матеріали. Бетони. Ультразвуковий метод визначення міцності. [Введено вперше (зі скасуванням ГОСТ 17624-87); чинний з 2010-09-01]. Київ: Мінрегіонбуд України, 2010. 27 с. (Національний стандарт України).
8. ДСТУ Б В.2.7-217:2009. Будівельні матеріали. Бетони. Методи визначення призмової міцності, модуля пружності і коефіцієнта Пуассона. [Введено вперше (зі скасуванням ГОСТ 24452-80); чинний з 2010-09-01]. Київ: Мінрегіонбуд України, 2010. 16 с. (Національний стандарт України).
9. ДСТУ Б В.2.6-156:2010. Бетонні та залізобетонні конструкції з важкого бетону. Правила проектування. [Чинний з 2011.06.01]. Київ: Мінрегіонбуд України, 2011. 118 с.
10. ДСТУ 9208:2022. Бетони важкі. Технічні умови. Київ: ДП «Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій», 2023р.
11. ДСТУ-Н Б В.1.2-18. 2016. «Настанова щодо обстеження будівель і споруд для визначення та оцінки їх технічного стану», Київ ДП УкрНДНЦ 2017, с. 43.
12. ДСТУ Б В.2.7-46:2010. Будівельні матеріали. Цементи загальнобудівельного призначення. Технічні умови. [На заміну ДСТУ Б В.2.7-46-96; чинний від 2011-09-01]. Вид. офіц. Київ: Мінрегіонбуд України, 2010. 13 с.
13. ДСТУ Б EN 197-1:2015. Цемент. Ч. 1. Склад, технічні умови та критерії відповідності для звичайних цементів. [На заміну ДСТУ Б. EN 197-1:2008; чинний від 2016-07-01]. Вид. офіц. Київ: Мінрегіонбуд України, 2016. 23 с.
14. Порядок проведення обстеження прийнятих в експлуатацію об'єктів будівництва: постанова Кабінету Міністрів України № 257 від 12 квітня 2017 р. Київ, 2017.
15. Бабаєв В.М., Бамбура А.М., Пустовойтова О.М. та ін. Практичний розрахунок елементів залізобетонних конструкцій за ДБН В.2.6-98:2009 у порівнянні з розрахунками за СНиП 2.03.01-84* і EN 1992-1-1 (Eurocode 2) за заг. ред. В.С. Шмуклера. Харків: Золоті сторінки, 2015. 208 с.
16. Войцехівський О.В., Журавський О.Д., Байда Д.М. Розрахунок залізобетонних конструкцій з використанням спрощених діаграм деформування матеріалів (за ДСТУ Б.В.2.6-156:2010). Ч.1. Розрахунок за I групою граничних станів. Київ: КНУБА, 2017. 168 с.
17. Дворкін Л.Й., Лаповська С.Д. Будівельне матеріалознавство: підруч. Рівне: НУВГП, 2016. 448 с.
18. Дворкін, Л.Й., Житковський, В.В., Марчук, В.В., Степасюк, Ю.О., & Скрипник, М.М. (2017). Ефективні технології бетонів та розчинів із за-стосуванням техногенної сировини. Рівне: НУВГП.
19. Дубов Т.М. Бетони з використанням цементної суспензії, активованої в електромагнітному полі. Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису: дис. на здоб. наук. ступ. канд. техн. наук (доктора філософії) за спеціальністю 05.23.05 – Будівельні матеріали та вироби (19 – Архітектура та будівництво). ДВНЗ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», Дніпро, 2020. 153 с.
20. Кривенко П.В., Пушкарьова К.К., Барановський В.Б., Кочевих М.О., Гасан Ю.Г., Константинівський Б.Я., Ракша В.О. Будівельне матеріалознавство. За ред. П.В. Кривенко. Київ: Ліра-К, 2015. 624 с.
21. Куліков П.М., Плоский В.О., Гетун Г.В. Архітектура будівель та споруд Книга 5. Промислові будівлі: Підручник для вищих навчальних закладів / Куліков П.М., Плоский

В.О., Гетун Г.В. – Кам'янець-Подільський: Видавництво «Ліра-К», Друкарня «Рута», 2020 р. – 820 с.: іл.

22. Куліков П.М., Плоский В.О., Гетун Г.В. Конструкції будівель і споруд Книга 1: Підручник для вищих навчальних закладів / Куліков П.М., Плоский В.О., Гетун Г.В. – Кам'янець-Подільський: Видавництво «Ліра-К», Друкарня «Рута», 2021 р. – 880 с.: іл.

23. Осипенко В.І., Поздєєв С.В., Тищенко І.Ю. Будівельні матеріали та їх поведінка при дії високих температур: навч. посіб. Черкаси, 2011. 170 с.

24. Пушкарьова, К.К., Дворкін, Л.Й., & Градобоев, О.В. (2014). Енергоресурсозберігаючі мінеральні в'язучі речовини та композиційні будівельні матеріали на їх основі. Київ: Задруга.

25. ASTM C33/C33M-18. Standard Specification for Concrete Aggregates, ASTM International. West Conshohocken, PA. 2018.

26. Stark, J. (2008). Alkali-Kieselsäure-Reaktion. Bauhaus Universität Weimar.

27. АТТМА. Air permeability testing. 2015. Дата оновлення: 21.02.18. https://www.designingbuildings.co.uk/wiki/Air_permeability_testing.

Doctor of Technical Science, Professor **Anatolii Radkevich**,
PhD., associate **Andrii Netesa**,
Ukrainian State University of Science and Technologies, Dnipro,
PhD., associate Professor **Taisiia Tkach**,
Prydniprovskia State Academy of Civil Engineering
and Architecture, Dnipro, Ukraine

ANALYSIS OF STRENGTH GAIN BY PRECAST CONCRETE ELEMENTS IN WINTER CONDITIONS

Despite the significant dominance of monolithic construction over prefabricated construction, the latter method remains relevant for infrastructure, industrial and public construction in Ukraine. Given the challenges of today, military operations, energy difficulties, there is a growing need to accelerate the pace of construction of buildings and structures, including in winter conditions. This can be achieved through the use of precast concrete structures, the assembly of which requires minimal energy and logistics. Given the need to speed up the precast manufacturing cycle at construction plants as much as possible, finished products (precast concrete elements) are delivered to construction sites within 10-15 days, when they have reached 50-70% of their design strength. Further aging and strength gain is predicted under conditions that differ from the normative ones, which can reduce the rate of strength gain. As part of the study, the strength of precast concrete elements was measured, which were installed and aged in winter conditions. The measurement was performed by a non-destructive mechanical method (spring rebound method) with an electronic sclerometer, on more than 50 reinforced concrete structures (slabs). The strength of the elements was analysed by measuring the surface strength at 10 points (for each element), with the exclusion of obviously

erroneous values, calculating the average strength, determining the coefficient of variation and the root mean square error. It was found that the strength of some elements decreased as a result of exposure to negative temperatures until the design strength was reached. A list of measures has been compiled to avoid a decrease in strength and restore the process of gaining design strength.

Keywords: reinforced concrete; strength gain; winter conditions; sclerometer; impact method; non-destructive testing.

REFERENCES

1. DBN V.2.6-98:2009. Betonnita zalizobetonny konstrukciyi. Osnovni polozhennya [Concrete and reinforced concrete structures. Basic provisions]. [Chynni 2011.07.01]. Kyiv: Minregionbud Ukrainy, Derjavne pidpriemstvo «Ukrarhbudininform», 2011, 71 p. {in Ukrainian}.
2. DBN V.1.2-2: 2006. Sistema zabezpechenya nadijnosti ta bezpeki budivel'nih ob'ektiv. Navantazhennya ta vplivi. Normi proektuvannya [The system to ensure the reliability and safety of construction sites. Loads and Impacts. Design Standards]. [Valid from 2007-01-01]. Official edition. Kyiv: Ministry of Regional Construction of Ukraine, 2006, 78 p. (State Building Codes of Ukraine). {in Ukrainian}.
3. DSTU-N B EN 1992-1-1:2010. Proektuvannya zalizobetonnih konstrukcij. Chastina 1-1. Zagalni pravila i pravila dlya sporud. {in Ukrainian}.
4. DSTU B V.2.7-223:2009. Budivel'ni materialy. Betony metody vyznachennya mitsnosti za zrazkamy, vidibranymy z konstruktsiy [DSTU B V.2.7-223:2009. Building materials. Concrete methods for determining the strength of samples taken from structures]. Introduced for the first time (with the abolition of GOST 22690-88); valid from 2010-09-01. Kyiv: Ministry of Regional Development of Ukraine, 2010, 12 p. (National Standard of Ukraine). {in Ukrainian}.
5. DSTU B V.2.7-224:2009. Budivel'ni materialy. Betony pravyla kontrolyu mitsnosti [DSTU B V.2.7-224: 2009. Building materials. Concrete strength control rules]. Kyiv: Ministry of Regional Development of Ukraine, 2010, 23 p. (National Standard of Ukraine). {in Ukrainian}.
6. DSTU B V.2.7-220:2009. Betony. Vyznachennya mitsnosti mekhanichnymy metodamy neruynivnoho kontrolyu [DSTU B V.2.7-220:2009. Building materials. Concretes. Determination of strength by mechanical methods of non-destructive testing]. Introduced for the first time (with cancellation of GOST 22690-88); effective from 2010-09-01. Kyiv: Ministry of Regional Development of Ukraine, 2010, 20 p. (National Standard of Ukraine). {in Ukrainian}.
7. DSTU B V.2.7-226:2009. Betony. Ul'trazvukovyy metod vyznachennya mitsnosti [DSTU B V.2.7-226:2009. Concrete. Ultrasonic method for determining the strength]. Effective from 2010-09-01. Kyiv: SE Ukrarhbudininform, 2010, 27 p. (National Standard of Ukraine). {in Ukrainian}.
8. DSTU B V.2.7-217:2009. Budivel'ni materialy. Betony. Metody vyznachennya pryzmovoyi mitsnosti, modulya pruzhnosti i koefitsiyenta Puassona [DSTU B V.2.7-217: 2009. Building materials. Concrete. Methods for determining the prism strength, modulus of elasticity and Poisson's ratio]. Allocated for the first time (with the abolition of GOST 24452-80); valid from

2010-09-01]. Kyiv: Ministry of Regional Development of Ukraine, 2010, 16 p. (National Standard of Ukraine). {in Ukrainian}.

9. DSTU B V.2.6–156:2010. Betonni ta zalizobetonny konstrukciyi z vajkogo betonu. Pravila proektuvanya [Concrete and reinforced concrete structures from heavy concrete. Design rules]. [Chynni 2011.06.01]. Kyiv: Minregionbud Ukrainy, 2011, 118 p. {in Ukrainian}.

10. DSTU 9208:2022. Betony vazhki. Tekhnichni umovy [DSTU 9208:2022. Normal-weight heavy concrete. Specifications]. Kyiv: SE «State Research Institute of Building Constructions», 2023. {in Ukrainian}.

11. DSTU-N B V.1.2-18...2016. Nastanova schodo obstezhennya budivel' i sporud dlya viznachennya ta ocinki ih tehnicnogo stanu [Guidelines for inspection of buildings and structures to determine and assess their technical condition]. Kyiv: SE UkrSRNC, 2017, 43 p. {in Ukrainian}.

12. DSTU B V.2.7-46:2010. Budivel'ni materialy. Cementy zagal'nobudivel'nogo pryznachennya. Tehnichni umovy [Building materials. General construction cements. Specifications]. To replace DSTU B. V.2.7-46-96; valid from 2011-09-01. View. ofits. Kyiv: Ministry of Regional Development of Ukraine Publ., 2010, 13 p. {in Ukrainian}.

13. DSTU B EN 197-1:2015. Cement. Chastina 1. Sklad, tehnicni umovy ta kriterii vidpovidnosti dlya zvichajnih cementiv [Cement. Part 1. Composition, technical conditions, and conformity criteria for conventional cements]. To replace DSTU B EN 197-1:2008; valid from 2016-07-01. View. ofits. Kyiv: Ministry of Regional Development of Ukraine Publ., 2016, 23 p. {in Ukrainian}.

14. Poryadok provedennya obstezhennya pryynyatykh v ekspluatatsiyu ob"yektiv budivnytstva: postanova Kabinetu Ministriv Ukrayiny No 257 vid 12 kvitnya 2017 r. [The procedure for conducting an inspection of construction objects put into operation: Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine no. 257 of April 12, 2017]. Kyiv, 2017. {in Ukrainian}.

15. Babaiev V.M., Bambura A.M., Pustovoitova O.M. and oth. Praktychnyi rozrakhunok elementiv zalizobetonnykh konstrukttsii za DBN V.2.6-98:2009 u porivnianni z rozrakhunkamy za SNyP 2.03.01-84* i EN 1992-1-1 (Eurocode 2) za zah. red. V.S. Shmuklera [Practical calculation of elements of reinforced concrete structures according to DBN V.2.6-98:2009 in comparison with calculations according to SNiP 2.03.01-84* and EN 1992-1-1 (Eurocode 2) for general ed. V.S. Schmuckler]. Kharkiv: Zoloti Storinky Publ., 2015, 208 p. {in Ukrainian}.

16. Voitsekhivskiy O.V., Zhuravskiy O.D. and Baida D.M. Rozrakhunok zalizobetonnykh konstrukttsii z vykorystanniam sproshchenykh diahram deformuvannia materialiv (za DSTU B V.2.6-156:2010). Chastyna 1. Rozrakhunok za I hrupoiu hranychnykh staniv [Calculation of reinforced concrete structures using simplified diagrams of deformation of materials (according to DSTU B V.2.6-156: 2010). Part 1. Calculation of the I group of limit states]. Kyiv: KNUBA, 2017, 168 p. {in Ukrainian}.

17. Dvorkin L.I. and Lapovska S.D. Budivelne materialoznavstvo: pidruchnyk [Construction materials science: a textbook]. Rivne: NUVHPPubl., 2016, 448 p. {in Ukrainian}.

18. Dvorkin, L.Y., Zhytkovskyi, V.V., Marchuk, V.V., Stepasiuk, Yu.O., & Skrypnyk, M.M. (2017). Efektyvnytekhnohohii betoniv ta rozchyniv iz zastosuvanniam tekhnohennoi syrovyny. Rivne: NUVHP. {in Ukrainian}.

19. Dubov T.M. Betoni z vikoristanniam cementnoi suspensii, aktivovanoi v elektromagnitnomu poli [Concrete with cement suspension, active in the electromagnetic field]. Kvalifikacijna naukova praca na pravah rukopisu. Disertaciya na zdobuttia naukovogo stupenya kandidata tekhnichnih nauk (doktora filosofii) za special'nisty 05.23.05 - budivel'ni materialy ta virobi (19 – Arhitektura ta budivnictvo). DVNZ «Pridniprov's'ka derzhavna akademiya budivnictva ta arhitekturi» [Dissertation on the scientific level of the candidate of technical sciences (Doctor of Philosophy) for specialty 05.23.05 – Educationa Materials and Products (19 – Architecture and Business). SHEI «Prydniprovska State Academy of Civil Engineering and Architecture», Dnipro, 2020, 153 p. {in Ukrainian}.

20. Kryvenko P.V., Pushkaryova K.K., Baranovskyi V.B., Kochevykh M.O., Hasan Y.G., Konstantinivskyi B.Ya. and Raksha V.O. Budivel'ne materialoznavstvo. Za red. P.V. Kryvenko [Building materials science. Edited by P.V. Kryvenko]. Kyiv: Lira-KPubl., 2015, 624 p. {in Ukrainian}.

21. Kulikov P.M., Plosky V.O., Getun G.V. Architecture of buildings and structures Book 5. Industrial buildings: Textbook for higher educational institutions / Kulikov P.M., Plosky V.O., Getun G.V. – Kamianets-Podilskyi: «Lira-K», «Ruta», 2020 – 820 pp.: il. {in Ukrainian}.

22. Kulikov P.M., Plosky V.O., Getun G.V. Constructions of buildings and structures Book 1: Textbook for higher educational institutions / Kulikov P. M., Plosky V.O., Getun G.V. – Kamianets-Podilskyi: «Lira-K», «Ruta», 2021 – 880 pp.: il. {in Ukrainian}.

23. Osypenko V.I., Pozdieiev S.V. and Tyshchenko I.Yu. Budivelni materialy ta yikh povedinka pry dii vysokokh temperatur: navchalnyi posibnyk [Building aterials and their behavior at high temperatures: a study guide]. Cherkasy, 2011, 170 p. {in Ukrainian}.

24. Pushkarova K.K., Dvorkin L.Y. & Hradoboiev O.V. (2014). Enerhoresursozberihaiuchi mineralni viazhuchi rehovyny ta kompozytsiini budivelni materialy na yikh osnovi. Kyiv: Zadruha. {in Ukrainian}.

25. ASTM C33/C33M-18. Standard Specification for Concrete Aggregates. ASTM International, West Conshohocken, PA, 2018. {in English}.

26. Stark, J. (2008). Alkali-Kieselsäure-Reaktion. Bauhaus Universität Weimar. {in English}.

27. ATTMA. (2015). Air permeability testing. Retrieved from https://www.designingbuildings.co.uk/wiki/Air_permeability_testing. {in English}.