

Міністерство освіти і науки України  
Національний університет водного господарства та природокористування

Кафедра технології будівельних виробів і матеріалознавства

**03-09-136М**

### **МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ**

до виконання лабораторних робіт з навчальної дисципліни  
«Стійкість бетону до температурно-вологісних впливів»  
для здобувачів вищої освіти другого (магістерського) рівня  
за освітньою програмою  
«Технології будівельних конструкцій, виробів і матеріалів»  
спеціальності 192 «Будівництво та цивільна інженерія»  
денної та заочної форм навчання

Рекомендовано  
науково-методичною радою  
з якості ННІБА  
Протокол №3 від 18.12.2024 р.

Рівне –2024

Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з навчальної дисципліни «Стійкість бетону до температурно-вологісних впливів» для здобувачів вищої освіти другого (магістерського) рівня за освітньою програмою «Технології будівельних конструкцій, виробів і матеріалів» спеціальності 192 «Будівництво та цивільна інженерія» денної та заочної форм навчання. [Електронне видання] / Ніхаєва Л. І. – Рівне : НУВГП, 2024 – 20 с.

Укладач: Ніхаєва Л. І. – ст. викладач кафедри технології будівельних виробів і матеріалознавства.

Відповідальний за випуск: Дворкін Л. Й. – завідувач кафедри технології будівельних виробів і матеріалознавства.

Керівн

ик групи забезпечення

спеціальності 192 «Будівництво та цивільна інженерія»  
освітньої програми "Технології будівельних конструкцій,  
виробів і матеріалів"

Дворкін Л. Й

© Л. І. Ніхаєва, 2024  
© НУВГП, 2024

## ЗМІСТ

	Назва лабораторної роботи	К-ть годин	Сторінка
	Передмова		4
1.	Лабораторна роботу №1. Вплив хімічних добавок на властивості портландцементу.	6	5
2.	Лабораторна робота №2.Визначення тепловиділення і стійкості бетону до дії високих температури.	6	7
3.	Лабораторна робота №3. Експериментальне визначення морозостійкості бетону.	6	11
4.	Лабораторна робота №4. Розрахункове прогнозування показників водонепроникності. Вплив технологічних факторів.	6	14
5.	Лабораторна робота №5. Визначення корозійної стійкості бетону.	6	17
6.	Лабораторна робота № 6. Моделювання хімічної корозії деяких видів будівельних матеріалів .	2	19
7.	Література		20

## ПЕРЕДМОВА

Мета викладання навчальної дисципліни «Стійкість бетону до температурно-вологісних впливів» – дати студентам необхідні знання з питань використання цементного бетону для різних конструкцій та споруд, у тому числі призначених для складних експлуатаційних умов. Наукове бетонознавство пропонує комплекс технологічних рішень, що забезпечують довговічність бетону з урахуванням виду та особливостей механічних та фізико-хімічних впливів на нього. Важливою групою таких впливів є вплив підвищеної та знакозмінної температури, а також хімічних корозійних процесів у водному середовищі.

Методичні вказівки включають опис лабораторних робіт, що виконують студенти спеціальності 192 «Будівництво та цивільна інженерія» спеціалізації «Техно-логії будівельних конструкцій, виробів і матеріалів» дисципліни «Стійкість бетону до температурно-вологісних впливів» у 1 семестрі.

Тематика лабораторних робіт тісно пов'язана з лекційним матеріалом, тому студентам під час підготовки до лабораторної роботи необхідно ґрунтовно вивчати відповідний теоретичний матеріал. Крім того, готуючись до лабораторної роботи, студенти мають ознайомитися з методичними вказівками, вивчити методики дослідження.

За результатами виконання кожної лабораторної роботи студенти готують звіт відповідно до вимог, які наведено в кінці вказівок до кожної роботи. Студент має подати викладачеві звіт та захистити його до наступного лабораторного заняття. Під час підготовки до захисту слід орієнтуватися на перелік контрольних запитань.

## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №1

### Дослідження впливу хімічних добавок на властивості бетону

**Мета роботи:** Вибрати хімічну добавку відповідно до умов виробництва бетонних виробів та оцінити ефективність її введення до складу бетонної суміші.

#### Загальні положення

Для регулювання властивостей бетону, бетонної суміші та з метою економії цементу широко використовують різноманітні добавки. Ефективними добавками є суперпластифікатори – синтетичні полімерні речовини, які вводять у кількості 0,1...1,2% від маси цементу. Ці добавки підвищують рухливість бетонної суміші і суттєво покращують будівельно-технологічні властивості бетону [2-4]. Номенклатура хімічних добавок і рекомендації по їх застосуванню наведені в [5].

Ефективність застосування добавок в бетонах залежить від багатьох технологічних факторів (виду і мінералогічного складу цементу, складу бетону, виду і якості заповнювача і т.п.).

#### Зміст лабораторної роботи

Робота складається з декількох завдань, кожне з яких виконується двома ланками. Готується необхідна кількість замісів, один з яких є еталонним. З цих замісів виготовляється зразки, кількість яких встановлюється виходячи з умов задачі, що поставлена в завданні. Ефективність добавки визначається шляхом порівняння значень властивостей бетонної суміші та бетону з досліджуваною добавкою і без неї (в еталонній суміші). Враховуючи, що ефективність добавки залежить від багатьох технологічних факторів, бажано при визначенні її одночасно досліджувати вплив цих факторів. В цьому випадку рекомендується використовувати метод математичного планування експерименту. Умови планування експерименту можна назначити, наприклад, згідно даних табл. 1.1.

Таблиця 1.1

#### Рівні та інтервали варіювання факторів планування

Фактори		Рівні варіювання			Інтервал варіювання $\Delta X_i$
натуральний вигляд	кодований вигляд	-1	0	+1	
Цементно-водне відношення В/Ц	$X_1$	0,35	0,4	0,45	0,05
Частка піску в суміші заповнювачів $r$	$X_2$	0,35	0,4	0,45	0,05
Витрата води $V$ , л/м <sup>3</sup>	$X_3$	170	180	190	10
Витрати добавки пластифікатора, % від маси цементу	$X_4$	0	0,2	0,4	0,2

**Завдання 1.** Підібрати хімічну добавку, що прискорює процес твердіння бетону, і визначити оптимальну кількість добавки, яка забезпечує досягнення максимальної міцності бетону у віці 1 доба. Задана міцність бетону 30 МПа. Рухливість бетонної суміші 5 см. Матеріали: портландцемент з вмістом  $C_3A = 5...7\%$  (для першої ланки) і понад 10 % (для другої ланки); пісок з  $M_{кр} = 2,5$ ; щебінь з  $D_{max} = 20$  мм; частка піску в суміші заповнювачів  $r \approx 0,35$ . Бетон твердіє в нормальних температурно-вологісних умовах. Вибір добавки та призначення її кількості необхідно проводити згідно рекомендацій [5].

**Завдання 2.** Визначити оптимальний вміст пластифікуючої добавки СДБ для бетону міцністю 30 МПа, встановивши при цьому одержувану економію портландцементу.

Матеріали для приготування бетонної суміші та умови планування експерименту ті ж, що і в завданні 1. Орієнтовну кількість добавки СДБ прийняти у відповідності з рекомендаціями [5].

**Завдання 3.** Визначити ефективність застосування суперпластифікатора марки С-3 (або іншої марки) на властивості бетонної суміші (рухливість) для бетону із заданою міцністю 30 МПа. Рухливість бетонної суміші 18...20 см. Матеріали для приготування бетонної суміші аналогічні завданню 1.

**Завдання 4.** Визначити економію цементу від введення в бетонну суміш суперпластифікатора С-3 (або іншої марки) при умови збереження рухливості суміші і міцності бетону. Необхідна міцність бетону 30 МПа. Матеріали для приготування бетонної суміші та умови планування експерименту прийняти у відповідності до завдання 1.

#### **Вказівки до проведення лабораторної роботи**

1. Кожна ланка підбирає склад бетону без добавки за показниками заданої міцності та легкоукладальності. Цей склад бетону є еталоном. Далі розраховують витрату матеріалів на заміс (7 л).
2. Підбір складу бетону з добавками виконується за показником рухливості або жорсткості бетонної суміші і міцності бетону на стиск (в залежності від завдання). При цьому необхідно дотримуватись вимог, викладених в рекомендаціях [5].
3. Виготовляються заміси та зразки, визначається рухливість або жорсткість бетонної суміші. У встановлені строки зразки випробовують для визначення середньої густини та міцності бетону на стиск.
4. За результатами роботи двох ланок формулюються часткові висновки, а всіх ланок – загальні висновки, що включають теоретичне та економічне обґрунтування обраної добавки та її кількості, а також оцінку ефективності від її застосування.
5. При оцінюванні ефективності добавок за еталон приймаються бетонні суміші або бетони без добавок. Ефективність добавки визначається шляхом порівняння значень досліджуваних характеристик бетонної суміші або бетону з добавкою та еталону. Добавка вважається ефективною та придатною для застосування, якщо отримані в результаті дослідів властивості бетонної суміші і бетону вище еталонних і знаходять в межах критеріїв ефективності, наведених в рекомендаціях [5].

**Приклад.** Визначення оптимального вмісту добавки СДБ в бетоні проводиться відповідно до завдання 2.

1. Виконується розрахунок витрат матеріалів на 1 м<sup>3</sup> бетону без добавки (еталонний склад). Проводиться перерахунок значень витрат на 7 л. Готується дослідний заміс та коректується розрахунковий склад бетону по заданій рухливості (ОК = 5 см).
  2. Коректується склад бетону з добавкою виходячи з поставленої в завданні задачі (в даному випадку добавка вводиться для зменшення витрати цементу), виготовляються пробні заміси, в які вводиться добавка СДБ у кількостях 0,1; 0,15; 0,2% від маси цементу. При цьому зменшується витрата цементу і води у порівнянні із складом бетонної суміші заданої рухливості. Добавка вводиться у вигляді 10%-ного розчину СДБ.
  3. З відкоректованих складів бетонної суміші виготовляють зразки, які твердіють в нормальних температурно-вологісних умовах.
- Припустимо, що в результаті проведення дослідів отримані наступні дані (табл. 1.2). Аналіз наведених в таблиці результатів показує, що оптимальним вмістом добавки СДБ є 0,2% від маси цементу. В цьому випадку забезпечується отримання бетону із заданою міцністю 30 МПа при економії цементу близько 10%.

**Результати дослідів**

№ ланки	Кількість СДБ, % від маси цементу	В/Ц	Фактична витрата цементу, кг/м <sup>3</sup>	Міцність бетону на стиск, МПа	Витрата цементу для отримання бетону міцністю 30 МПа
1	0	0,44	370	29,3	365
	0,1	0,42	352	29,8	355
2	0,15	0,41	345	30,4	340
	0,2	0,39	335	30,8	328

Отримана економія цементу задовольняє орієнтовним даним по зменшенню витрати цементу за рахунок введення добавки [5].

*Контрольні питання*

1. За якими ознаками і принципами класифікують добавки до бетонної суміші?
2. Які види і різновиди добавок використовують для регулювання реологічних властивостей бетонної суміші?
3. Які добавки використовують для регулювання процесів кінетики твердіння бетону? Основні види, механізм дії.
4. Яких спеціальних властивостей можна надати бетонам введенням хімічних добавок?
5. Як впливають добавки-пластифікатори на витрату цементу в бетоні?

**Лабораторна робота № 2****Визначення тепловиділення і стійкості бетону до дії високих температур.****Загальні положення**

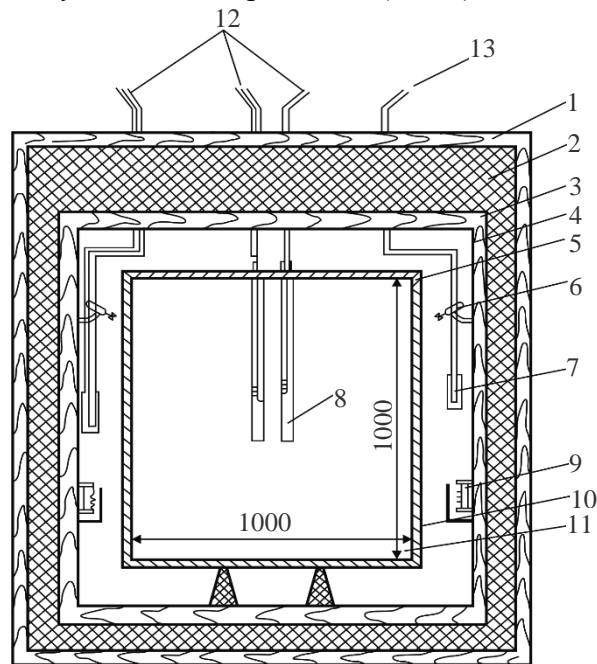
**Тепловиділення бетонної суміші.** Для бетонів стандартизований (ДСТУ Б В. 2.7-225:2009) метод визначення тепловиділення цементу в бетоні, що твердне в адіабатичних умовах шляхом вимірювань підйому температури в часі і подальшого проведення необхідних розрахунків. Даний метод певною мірою моделює умови тверднення бетону всередині бетонних масивів.

Для встановлення показника підйому температури тверднучого бетону застосовують калориметр (рис 2.1), до складу якого входить камера із матеріалу низької теплопровідності, яка забезпечена пристроями для підігрівання і охолодження повітря та автоматичної підтримки адіабатичного режиму тверднення бетонного зразка (з допустимим відхиленням температури середовища від температури бетону не більше 0,2° С).

**Стійкість бетону при дії високих температур.** Стійкість бетону до дії високих температур. Стійкість бетону до дії високих температур визначається випробуванням залишкової міцності на стиск, вогневої усадки, термічної стійкості і температури деформації під навантаженням. Випробування виконують на зразках, що тверділи в камері нормального твердіння або також як бетон в конструкціях. Тривалість твердіння зразків – 7 діб. Зразки на

глиноземистому цементі витримують 3 доби. Нагріванню при високих температурах зразки піддають після висушування до постійної маси.

*Термічна стійкість бетону.* Термостійкість – здатність бетону витримувати різкі зміни температур від гранично допустимої до нормальної (20° С).



**Рис. 2.1.** Схема адіабатичного калориметра:

- 1 – зовнішня обшивка з деревини; 2 – теплоізоляція;
- 3 – внутрішня обшивка; 4 – металевий екран; 5 – кришка форми;
- 6 – вентилятор; 7 – термометр опору; 8 – мідна гільза;
- 9 – нагрівний елемент; 10 – форма для бетонної суміші; 11 – бетон;
- 12 – виводи для електронного моста, що реєструє температуру в камері і в бетоні; 13 – виводи до приладу, що автоматично регулює температуру в камері

### **Виготовлення бетонного зразка**

Підбирають бетонну суміш рядового або заданого складу, розраховують витрату складових (гравій, щебінь, пісок, цемент, вода, добавки) залежно від об'єму форм і готують бетонну суміш. Складові бетонної суміші рядового або заданого складу і форму із кришкою зважують з похибкою не більше 0,1 %.

Готову до використання бетонну суміш укладають у форму, в центр зразка вводять датчики температури для реєструючої і регулюючої апаратури, після чого бетонну суміш ущільнюють відповідно до марки за легкоукладальністю.

Для випробувань термічної стійкості бетону виготовляють три зразки-куби з ребром довжиною 7 см із бетонної суміші робочого складу. Зразки витримують при температурі (20±5) °С і відносній вологості 90...100% 7 діб, а потім висушують до постійної маси при температурі (105±5)° С 48 год. Підйом температури при сушінні зразків повинен відбуватися зі швидкістю 50° С за год, охолоджують зразки після сушіння протягом 4 год.

Для бетонів із середньою густиною не менше 1500 кг/м<sup>3</sup> термостійкість Т1 визначають у водних теплозімінах. Зразки поміщають у піч, попередньо розігріту до розрахункової температури і витримують 40 хв. Коливання температури у печі допускається в межах ±20° С. Після 40 хв витримки в печі зразки занурюють у ванну ємністю 10 л з водою кімнатної температури. Зразки охолоджують у воді 5 хв, після виймання з води витримують 10 хв при температурі (20±5)° С. Потім нагрівання повторюють. Після кожної теплозміни воду у ванні змінюють.

Для бетонів із середньою густиною менше 1500 кг/м<sup>3</sup> і ніздрюватої структури термічну стійкість Т2 визначають у повітряних теплозімінах. Із цією метою після висушування зразки



ставлять у попередньо розігріту до розрахункової температури піч і витримують при цій температурі 1 год. Коливання температури в печі допускаються в межах  $\pm 20^{\circ}\text{C}$ . Після виймання з печі зразки охолоджують під вентилятором протягом 20 хв. Потім нагрівання повторюють. Після кожної теплосміни зразки оглядають, відмічають появу тріщин, та інші руйнування і визначають втрати маси.

Число теплосмін, що викликало руйнування зразків або втрату бетоном 20% початкової маси приймають за термічну стійкість у водних або повітряних теплосмінах.

*Залишкова міцність.* Залишкову міцність визначають на висушених зразках-кубах з розміром 10 см. Зразки висушують нагріваючи їх до температури  $105 \pm 5^{\circ}\text{C}$  з витримкою 32 год в сушильній шафі. Одну серію (3 шт.) висушених зразків витримують при нормальних умовах і визначають контрольну міцність при стиску ( $R_{ct}$ ). Другу серію зразків нагрівають до гранично допустимої температури  $t_{max}$  (для бетонів класів 8–18 до  $800^{\circ}\text{C}$ ) швидкістю піднімання температури ( $\Delta t^{\circ}/\text{год}$ ) залежить від її максимального значення ( $t_{max}$ ). При  $t_{max} = 200^{\circ}\text{C}$   $\Delta t = 50^{\circ}\text{C}$ ,  $400^{\circ}\text{C} - 100^{\circ}\text{C}$ ,  $600^{\circ}\text{C} - 150^{\circ}\text{C}$ ,  $800^{\circ}\text{C} - 200^{\circ}\text{C}$ . При максимальній температурі зразки витримують 4 год, охолоджують разом з піччю і визначають міцність при стиску  $R_{ct}$ . Після витримки зразки не повинні мати пошкоджень.

Залишкова міцність у відповідності до ДСТУ БВ.2.7 – 249:2011 характеризується процентним відношенням міцності бетону на стиск після нагрівання до гранично допустимої температури застосування для бетонів класів ІЗ – І7 і після нагрівання до температури  $800^{\circ}\text{C}$  для бетонів класів І8 – І18 до міцності бетону в проектному віці.

### **Проведення випробувань.**

Датчики всередині камери розміщують на рівні центра зразка. Форму з бетонною сумішшю закривають кришкою, зазор між кришкою і формою ущільнюють водонепроникною замазкою.

У калориметрах із водяним середовищем кришка має бути із гумовою прокладкою і притискатися до форми болтами.

Температуру в адіабатичній камері доводять до температури бетонної суміші, що випробовується.

Форму з бетонною сумішшю встановлюють в адіабатичну камеру, укладають теплозахистний кожух між формою і стінкою камери, після чого камеру герметично закривають.

Включають автоматичний регулюючий пристрій адіабатичної камери, який забезпечує підтримку температури, що дорівнює температурі бетону в процесі його тверднення.

Включають реєструючий прилад, який здійснює автоматичний вимір і запис температури бетону на стрічку самописного приладу. Початкова температура бетонної суміші має бути заміряна не пізніше ніж через 1 год після її укладання у форму.

Виміри слід продовжувати до тих пір, поки зростання температури бетону перевищуватиме  $1^{\circ}\text{C}$  за 5 діб.

### **Обробка результатів випробувань.**

Температуру бетону із стрічок реєструючих приладів записують у журнал.

## Журнал реєстрації результатів випробувань

Показник	Тривалість дослідження, діб:					
	0	1	2	3	4	n
Показники термометра, К (°С)	$t_0$	$t_1$	$t_2$	$t_3$	$t_4$	$t_n$
Підвищення температури, К (°С)	0	$t_1 - t_0$	$t_2 - t_0$	$t_3 - t_0$	$t_4 - t_0$	$t_n - t_0$
Підвищення температури з врахуванням теплоємності форми, К (°С)	$t_0$	$\Delta t_1$	$\Delta t_2$	$\Delta t_3$	$\Delta t_4$	$\Delta t_n$
Питоме тепловиділення бетону, кДж/кг (ккал/кг)	0	$q_1$	$q_2$	$q_3$	$q_4$	$q_n$

Питоме тепловиділення цементу в бетоні  $q$ , кДж/кг, за даний проміжок часу знаходять за формулою:

$$q = \frac{C_{заг}}{m_{ц}}(t - t_0),$$

де  $C_{заг} = C_{б.с.} + C_{ф}$  – теплоємність бетонної суміші і форми, кДж/К;

$m_{ц}$  – маса цементу;

$t_0$  – початкова температура бетонної суміші, К;

$t$  – температура бетону наприкінці даного проміжку часу.

Теплоємність бетонної суміші в кДж/К, можна знаходити за формулою:

$$C_{б.с.} = 0,84(m_{ц} + m_{п} + m_{щ}) + 3,76m_{в}$$

де  $m_{ц}$ ,  $m_{п}$ ,  $m_{щ}$ ,  $m_{в}$  – відповідно маса цементу, піску, щебеню (гравію) і води в т/м<sup>3</sup>.

Теплоємність форми  $C_{ф}$ , кДж/К розраховують за формулою:

$$C_{ф} = C_{т.ф.} \frac{m_{ф}}{2},$$

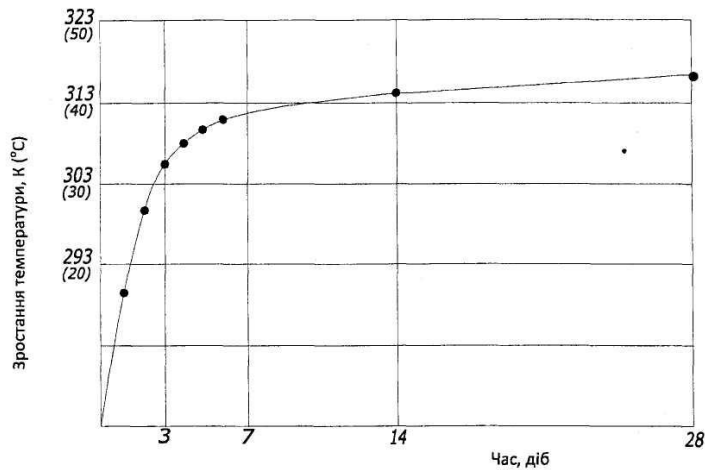
де  $C_{т.ф.}$  – питома теплоємність матеріалу форми, кДж/(кг·К);

$m_{ф}$  – маса форми з кришкою.

Будують криву підйому температури.

### Приклад орієнтовної кривої підйому температури бетону, що твердне в адіабатичних умовах

(Витрата цементу М 400 - 300 кг на 1 м<sup>3</sup> бетону, початкова температура бетонної суміші 286,4 К (13,4 °С))



**Рис. 2.2.** Приклад кривої підйому температури бетону, який тверднув у адіабатичних умовах

### Контрольні запитання

1. Які методи визначення тепловиділення бетону?
2. Як визначають тепловиділення бетону?.
3. Яка формула питомого тепловиділення цементу в бетоні?
4. Яка формула теплоємності бетонної суміші?
5. Як визначити термічну стійкість бетону?
6. Що таке термічна стійкість бетону?
7. Як визначають залишкову міцність?

### Лабораторна робота № 3

#### Експериментальне визначення морозостійкості бетону.

#### Загальні положення

*Морозостійкість бетону* – здатність його зберігати міцність та експлуатаційну надійність при дії попереминого заморожування та відтавання у насиченому водою стані. Руйнування бетону у водонасиченому стані при циклічній дії позитивних та негативних температур, а також змінних негативних температур обумовлено комплексом фізичних корозійних процесів, що викликають значні деформації та механічні пошкодження виробів та конструкцій.

#### МЕТОД ВИЗНАЧЕННЯ МОРОЗОСТІЙКОСТІ БЕТОНУ

Сутність методу полягає у визначенні зниження міцності на стиск, втрати маси бетону у водонасиченому стані при багаторазовій дії наперемінного заморожування і відтавання.

Морозостійкість бетону характеризується маркою за морозостійкістю F, яку визначають за таким методом.

Марку бетону за морозостійкістю F приймають визначену кількість циклів наперемінного заморожування та відтавання водонасичених зразків, при якій міцність бетону на стиск знижується не більше ніж на 15 %, а втрата маси зразків не перевищує 5 %.

Випробування бетону виконують на зразках-кубах розміром 100 мм x 100мм x 100 мм або зразках-циліндрах діаметром і заввишки 100 мм при досягненні бетоном проектного значення міцності на стиск, що відповідає заданому класу бетону за міцністю на стиск та проектній марці бетону за середньою густиною.

Морозостійкість визначають заморожуванням зразків у морозильній камері при температурі мінус 18 °С з наступним відтаванням у камері над водою при температурі в приміщенні.

*Устаткування, прилади, обладнання, матеріали:*

- камера морозильна з автоматичним регулюванням температури в інтервалі мінус (18 - 25) °С і решітчастими полицями;
- ванна для насичення зразків водою;
- камера для відтавання зразків;
- ваги технічні згідно з ГОСТ 24104;
- термометр із ціною поділки 1 °С для вимірювання температури від 0 °С до мінус 30 °С;
- термометр із ціною поділки 1 °С для вимірювання температури від 0 °С до плюс (30 - 40) °С;
- лінійка вимірювальна згідно з ДСТУ ГОСТ 427;
- штангенциркуль згідно з ДСТУ ГОСТ 166 (ИСО 3599);
- контейнери решітчасті;
- вода питна згідно з ГОСТ 2874.

*Підготовка зразків*

Зразки відбирають із середньої частини дрібноштучних виробів або контрольних блоків, визначають середню густину бетону згідно з ДСТУ Б В.2.7-170, ГОСТ 27005 та міцність на стиск згідно з ДСТУ Б В.2.7-214.

Зразки, що підлягають заморожуванню і відтаванню, приймають за основні.

Зразки, що призначені для визначення міцності на стиск без заморожування і відтавання, приймають за контрольні.

Кількість зразків для випробувань приймають із урахуванням проектної марки бетону за морозостійкістю F.

Мінімальна кількість зразків для виконання випробувань складає 18, з них: -12 - основних; 6 - контрольних.

Виготовлені зразки оглядають, нумерують, зважують, позначають дефекти.

Зразки насичують водою у відкритій ванні у три етапи:

- занурювання зразків у воду на 1/3 їх висоти, привантажування для запобігання їх спливанню, витримання у такому стані 8 год;
- занурювання у воду на 2/3 висоти зразка, витримка у такому стані 8 год;
- занурювання у воду на всю висоту зразка, товщина шару води над поверхнею зразків становить не менше 20 мм, витримання у такому стані 24 год.

Насичені водою зразки зважують.

*Проведення випробувань*

Основні зразки встановлюють у решітчасті контейнери і ДСТУ Б В.2.7-45:2010 завантажують до морозильної камери з температурою мінус 18 °С.

Відстань між зразками повинна бути 15-20 мм, між стінками камери, полицями і контейнерами - (40 - 50) мм. Відлік часу початку заморожування зразків визначається з моменту зниження температури в морозильній камері до мінус 16 °С.

Тривалість одного циклу заморожування в камері за температури мінус (18±2) °С становить не менше 4 год.

Зразки після заморожування встановлюють у камеру відтавання над водою на решітчасті полиці. Відстань між зразками і стінками камери 15-30 мм. Камеру щільно закривають кришкою.

Тривалість циклу відтавання повинна становити не менше 4 год, до зникнення на поверхні зразків світлих плям інею.

Цикл заморожування і відтавання виконується у безперервному режимі, не менше одного циклу за добу. Через кожні п'ять циклів проводять контрольний огляд зразків. При тимчасовому припиненні випробувань зразки витримують у камері відтавання.

Контрольні зразки до випробування витримують в окремій камері.

Міцність на стиск основних і контрольних зразків визначають згідно з ДСТУ Б В.2.7-214, масу - згідно з ДСТУ Б В.2.7-170 перший раз після проміжної кількості циклів, другий - після заданої кількості циклів згідно з таблицею 3.1

Таблиця 3.1

Кількість циклів заморожування зразків

Показник	Марка бетону за морозостійкістю				
	F15	F25	F35	F50	F75
Проміжна кількість циклів	10	15	25	35	50
Задана кількість циклів	15	25	35	50	75

#### Оброблення результатів

Після заданої кількості циклів зразки оглядають, фіксують наявність дефектів, дозволяють занурюванням у воду та витримують 24 год.

Визначають масу та міцність основних і контрольних зразків, за результатами випробувань визначають втрату маси бетону, зниження міцності на стиск.

Втрату маси  $\Delta m$ , %, обчислюють за формулою:

$$\Delta m = (m_k - m_{\text{ц}}) / m_k \times 100\%$$

де  $m_k$  – середнє значення маси шістьох зразків після водонасичення, г;

$m_{\text{ц}}$  - середнє значення маси шістьох зразків після проходження заданої кількості циклів і до зволоження, г.

Зниження міцності головних зразків відносно контрольних обчислюють за формулою:

$$\Delta R = (R_k - R_{\text{ц}}) / R_k \times 100\%$$

де  $R_k$  – середнє значення міцності контрольних зразків у водо насиченому стані, МПа;

$R_{\text{ц}}$  - середнє значення міцності шести дозволених основних зразків після проміжної або заданої кількості циклів, МПа.

Результати випробувань заносять до журналу (таблиця 3.2).

Таблиця 3.2

Результати випробувань зразків

Номер зразка	Маса зразка, г			Міцність на стиск, МПа	Наявність дефектів
Контрольні зразки (дата)					
1					
2					
3					
...					
6					
Після проміжної кількості циклів (дата)					
7					
8					
9					
...					
12					
Після заданої кількості циклів (дата)					
13					
14					

15					
...					
18					

### Контрольні запитання.

1. Що таке морозостійкість бетону?
2. Які є методи визначення морозостійкості бетону?
3. Які марки по морозостійкості бетону?
4. Як визначити марку бетону по морозостійкості?

### Лабораторна робота № 4

#### Розрахункове прогнозування показників водонепроникності. Вплив технологічних факторів.

#### Загальні положення

**Водонепроникність** – здатність бетону не фільтрувати воду при певному тиску. Водонепроникність бетону призначають, виходячи з допустимих фільтраційних втрат через бетон і стійкості його до корозії. Фільтраційні втрати мають особливо істотне значення в гідротехнічних спорудах, наприклад для висотних напірних гребель, облицювань каналів і т.д.

Можливе використання двох нормативних характеристик водонепроникності:

1. Найбільшого тиску води (МПа), що можуть витримати стандартні зразки з висотою і діаметром 150 мм без появи на їх відкритій стороні ознак просочування води.
2. Коефіцієнта фільтрації бетону, що характеризує кількість води, що проникає через одиницю перерізу за одиницю часу, при градієнті (відношенні напору (м. вод. ст.) до товщини конструкції в м.) рівному 1.

У залежності від першого показника розрізняють т.зв. марки бетону за водонепроникністю: W2, W4 і т.д. Марки бетону за водонепроникністю призначають у залежності від напірного градієнта:

Марка бетону за водонепроникністю      W2    W4    W6    W8    W10

Градієнт напору      до 5    5-10    10-15    15-20    20-30

Коефіцієнт фільтрації бетону в певному діапазоні скорельований з маркою за водонепроникністю. З прямими показниками водонепроникності бетону зв'язані опосередковано водопоглинання та водоцементне відношення. Вона є різновидом більш загальної властивості бетону, а саме його проникності – здатності пропускати газу і рідини (флюїди) при визначеному перепаді тиску.

*Проведення випробувань.*

Для вимірювань об'єму води, що фільтрується крізь бетон під тиском за певний проміжок часу визначають коефіцієнт фільтрації бетону  $K_f$ , см/с.

З цією метою застосовують пристрій із максимальним випробувальним тиском не менше 1,3 МПа, схема якого наведена на рис. 4.1. Тиск води піднімають ступенями по 0,2 МПа з витримкою протягом 1 год на кожному ступені до тиску, при якому з'являються ознаки фільтрації у вигляді окремих крапель. Воду (фільтрат), що пройшла через зразок збирають у прийомну посудину.

Визначення маси фільтрату роблять через кожні 30 хв і не менше шести разів на кожному зразку. За відсутності фільтрату у вигляді крапель протягом 96 год кількість вологи, що проходить через зразок, вимірюють шляхом поглинання її силікагелем або іншим сорбентом. Вагу фільтрату окремого зразка  $Q$  приймають як середнє арифметичне значення чотирьох найбільших значень.

Коефіцієнт фільтрації  $K_f$ , см/с, окремого зразка визначають за формулою:

$$K_{\phi} = \frac{\eta \cdot Q \cdot \delta}{S \cdot \tau \cdot p}, \quad (4.1)$$

де Q – вага фільтрату, Н;

$\delta$  – товщина зразка, см;

S – площа зразка, см<sup>2</sup>;

$\tau$  – час випробування зразка, протягом якого вимірюють масу фільтрату, с;

p – надлишковий тиск в установці, МПа;

$\eta$  – коефіцієнт, що враховує в'язкість води при даній температурі:

Температура води, °C      15      20      25

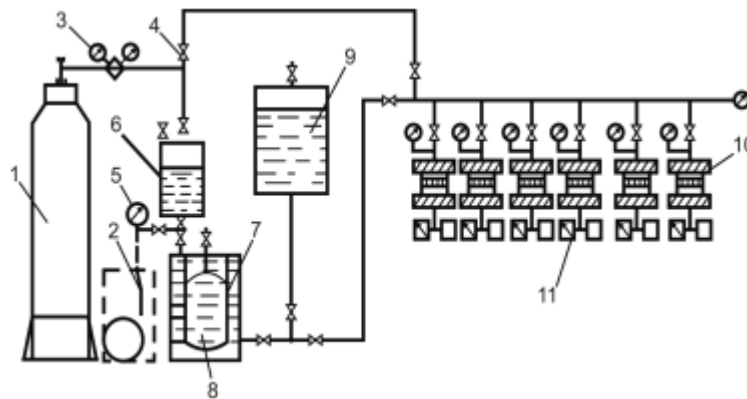
Коефіцієнт  $\eta$                       1,13      1,0      0,89

При випробуванні бетонних зразків менше 150 мм, вибурених із конструкцій, коефіцієнт фільтрації, отриманий за формулою (4.1) множать на поправочний коефіцієнт  $K_{п}$ :

Діаметр зразка, мм              150      130      120      100      80      50

Поправочний коефіцієнт      1,0      1,1      1,4      1,8      2,8      5,5

При визначенні коефіцієнта фільтрації серії зразків їх розташовують у порядку збільшення  $K_{\phi}$  і приймають середнє арифметичне значення  $K_{\phi}$  двох середніх зразків.



**Рис. 4.1.** Схема установки для визначення коефіцієнта фільтрації:

1 – балон з газом; 2 – насос; 3 – редуктор; 4 – вентиль; 5 – манометр;

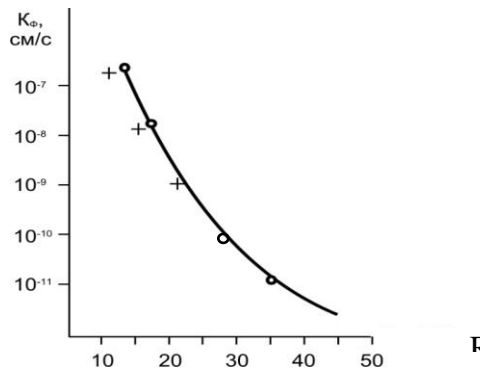
6 – передавач тиску; 7 – посудина з водою; 8 – еластична посудина з дезаерованою водою; 9 – запасна посудина з дезаерованою водою;

10 – гніздо для зразка; 11 – вимірювач ваги фільтрату

Експериментально обґрунтований зв'язок між коефіцієнтом фільтрації бетону і його міцністю при стиску (рис. 4.2) дозволив запропонувати методику визначення  $K_{\phi}$  за його міцністю. Експериментальні дані добре апроксимуються степеневою залежністю типу:

$$K_{\phi} = K_w R_{cm}^m \quad (4.2)$$

де  $K_w$  і  $m$  – коефіцієнти, на величину яких впливають особливості складів бетонних сумішей, умови і тривалість твердіння і т.д.



**Рис. 4.2.** Залежність коефіцієнта фільтрації бетону від міцності при стиску ("+" – дані М.Г.Елбакідзе, "o" – наші дані)

З огляду на велике розмаїття факторів, що впливають на водонепроникність бетону, коефіцієнти  $K_w$  і  $m$  у формулі (4.2) при вирішенні завдань прогнозування водонепроникності і проектування складів бетону необхідно уточнювати експериментально.

На водонепроникність бетону впливає комплекс технологічних факторів. Вона збільшується зі зменшенням нормальної густоти і підвищенням тонкості помелу цементу. З позиції забезпечення підвищеної водонепроникності краще застосування в бетоні шлакопортландцементу і пуцоланових цементів. Поряд з вибором виду цементу для забезпечення високої водонепроникності бетону важливо застосовувати суміш заповнювачів з мінімальною пористістю та забезпечувати вкладання бетонної суміші з максимально можливим коефіцієнтом ущільнення.

Ефективним способом зниження проникності бетону є введення як органічних, так і неорганічних добавок у бетонну суміш.

З органічних добавок застосовують поверхнево-активні речовини (ПАР) і полімерні добавки. При зниженні загальної проникності бетону і підвищенні водонепроникності ПАР використовують для зниження В/Ц, підвищення щільності і зменшення середнього радіуса капілярів. Крім того, більшість ПАР сприяє втягненню повітря в бетонну суміш, що сприяє утворенню умовно-замкнутої капілярно-пористої структури і зниженню проникності. Позитивно позначається на підвищенні водонепроникності гідрофобізація капілярів, що досягається при застосуванні гідрофобізуючих ПАР.

Неорганічні добавки для зниження проникності представлені різними солями, бентонітовими і іншими глинами, активними мінеральними добавками. Ці добавки активно впливають на розвиток питомої поверхні твердої фази цементного каменю і розміри кристалів новоутворень, структуру порового простору, його кольматію в процесі твердіння. Підвищений ефект досягається при введенні різних комбінованих добавок, що включають поряд з неорганічними речовинами добавки ПАР, полімерів тощо.

Після виготовлення виробів і конструкцій з бетону зниження його проникності може досягатися обробкою поверхні бетону гідрофобізаторами і речовинами, що хімічно реагують з мінералами цементного каменю з утворенням нерозчинних сполук; кольматією порового простору; покриттям поверхні бетону захисними матеріалами.

#### Контрольні запитання.

1. Що таке водонепроникність бетону?
2. Які показники водонепроникності?
3. Що таке марка за водонепроникністю?
4. Яка формула коефіцієнта фільтрації?



## Лабораторна робота № 5 Випробування корозійної стійкості бетону.

### Загальні положення

Ступінь агресивного впливу зовнішнього середовища визначається його хімічним складом і комплексом факторів, що характеризують умови контакту середовища і бетону.

Основна складова бетону – цементний камінь – складається з хімічних сполук, що мають лужний характер, тому найбільш інтенсивна корозія бетону характерна при впливі на нього середовища, котре містить водні розчини кислот. Агресивними стосовно бетону можуть бути також солі і інші речовини як неорганічного так і органічного походження.

За типом хімічної взаємодії реакції корозії можна згрупувати в обмінні процеси і реакції, пов'язані з утворенням малорозчинних солей, що добре кристалізуються. З фізичних факторів, що впливають на бетон можна виділити температурні впливи. На тепловий обмін між середовищем і бетоном у значній мірі впливають процеси масообміну, а також фазові перетворення, що відбуваються в бетоні. При порушенні термовологісної рівноваги між середовищем і бетоном у залежності від величини перепаду температур і вологості в ньому виникають внутрішні напруження. З фізико-хімічних факторів, що викликають корозію, найбільш істотними є вилуговування, а також осмотичні і контракційні явища.

Види корозії бетону класифікують за назвою агресивних речовин (В.В. Кінд) і механізму агресивного впливу середовища (В.М. Москвін). В другому випадку класифікація є більш загальною.

По класифікації В.М. Москвіна до корозії I виду відносяться процеси, зв'язані з вилуговуванням вапна (точніше  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) з бетону, внаслідок його більшої розчинності у воді порівняно з іншими гідратами. В даний час до корозії I виду відносять усі процеси, пов'язані з розчиненням у воді речовин, що входять у бетон.

Корозія II виду обумовлена протіканням обмінних реакцій між продуктами гідратації цементу і кислотами або солями, що впливають на бетон. Найбільш характерними різновидами корозії II виду є вуглекисла, кислотна і магнезіальна корозія. У результаті впливу кислот утворюються солі кальцію, звичайно добре розчинні у воді. Кислоти взаємодіють насамперед з гідроксидом кальцію, а потім з гідросилкатами кальцію. Поряд з добре розчинними солями, що вимиваються з бетону, при корозії цього виду можливе утворення маломіцних аморфних мас  $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{Al}(\text{OH})_3$  і ін. У першу чергу руйнуються поверхневі шари бетону і швидкість руйнування буде визначатися розчинністю продуктів реакції, швидкістю обміну агресивного середовища на поверхні бетону і швидкістю дифузії іонів через шар продуктів реакції.

Корозія III виду розвивається в бетоні від внутрішніх напружень при нагромадженні в порах і капілярах малороозчинних солей. Це може бути як результатом кристалізації продуктів хімічних реакцій, так і процесу кристалізації при поглинанні солей з агресивних розчинів.

Найбільш розповсюдженою корозією цього виду є сульфатна корозія, що відбувається в цементному камені під впливом аніонів  $\text{SO}_4^{2-}$ , зв'язаних з катіонами  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  і  $\text{Mg}^{2+}$ .

Випробування корозійної стійкості бетону полягає у порівнянні показників зразків, що знаходились в агресивному середовищі зі значеннями аналогічних показників у неагресивному середовищі.

Корозійна стійкість бетону може бути визначена:

- за зміною хімічного складу бетону в часі (кінетичний метод);
- за зміною міцнісних властивостей бетону, його динамічного модуля пружності;
- за зміною величини лінійних деформацій бетону.

Для оцінювання корозійної стійкості бетону основними показниками слугують: зовнішній вигляд зразків, маса, об'ємні зміни, динамічний модуль, міцність при стиску і на розтяг при згині, водонепроникність або коефіцієнт фільтрації, загальна пористість, глибина

пошкоджень. Показниками агресивних середовищ, що враховуються, приймають: жорсткість, рН, концентрацію вуглекислого газу і агресивних іонів  $Mg^{2+}$ ,  $NH_4^+$ ,  $SO_4^{2-}$ .

Розміри зразків, які випробовуються на корозійну стійкість, наведені в табл. 5.1, рекомендована концентрація агресивних розчинів – у табл. 5.2.

Таблиця 5.1

Розміри зразків

Розміри	Розміри, мм, зразків бетону з найбільшою крупністю заповнювача	
	до 5	більше 5
Основні	40×40×160	100×100×100
Рекомендовані	20×20×120	40×40×160
	10×10×60	70×70×280
	Ø 50×50	Ø150×150

Таблиця 5.2

Рекомендована концентрація агресивних середовищ

Види корозії та показники агресивності	Одиниці виміру	Концентрація	
		основна	допустима
Кислотна	рН	3	4; 5
Вуглекисла, $CO_2$	мг·л <sup>-1</sup>	80	40
Магnezіальна, $Mg^{2+}$	мг·л <sup>-1</sup>	10000	5000; 2000
Амонійна, $NH_4^+$	мг·л <sup>-1</sup>	2000	1000; 500
Сульфатна, $SO_4^{2-}$	мг·л <sup>-1</sup>	10000	34000; 3000; 1000

Як неагресивне середовище приймають питну воду. Співвідношення об'єму агресивного розчину в см<sup>3</sup> до 1 см<sup>2</sup> поверхні зразка приймається не менше 5:1. Тривалість випробувань приймають 1; 3; 6; 12 міс. Концентрація агресивного середовища не повинна змінюватись більше ніж на 5%, можливе відхилення температури ±3° С. Результати випробувань оцінюють залежно від зміни обраних показників з урахуванням виду корозії.

При випробуванні корозійної стійкості бетону в агресивному середовищі вимірюють швидкість корозії і розраховують глибину корозійного руйнування бетону:

$$\Gamma_p = \frac{\sum P_{CaO}}{Ц\beta}, \quad (5.1)$$

де Ц – маса цементу в 1 см<sup>3</sup> зразка, г/см<sup>3</sup>;

β – вміст СаО в цементі за результатами хімічного аналізу;

∑P<sub>CaO</sub> – кількість прореагувавшого цементного каменю у перерахунку на СаО, віднесена до площі реагуючої поверхні зразків, г/см<sup>3</sup>.

Для визначення ∑P<sub>CaO</sub> можна використати залежність:

$$\sum P_{CaO} = \pm a + K\sqrt{\tau}, \quad (5.2)$$

де а – стала величина, яка враховує вплив процесів, що протікають у початковий період випробувань;

К – експериментальний показник, що визначається як тангенс кута нахилу прямої до осі абсцис, г/см<sup>2</sup>√τ (константа корозійного процесу).

При відомому значенні коефіцієнта К глибину руйнування бетону можна розрахувати за формулою:

$$\Gamma_p = \frac{K\sqrt{\tau}}{\rho\beta}, \quad (5.3)$$

де  $\rho$  – маса цементу в 1 см<sup>3</sup> зразка, г/см<sup>3</sup>;

$\tau$  – час, для якого прогнозується глибина руйнування бетону;

$\beta$  – вміст СаО в цементі за результатами хімічного аналізу.

Тривалість служби конструкції до руйнування шару заданої глибини,  $\tau$ , роки:

$$\tau = \left( \frac{\Gamma_p \rho \beta}{K} \right)^2 \cdot \frac{1}{365}. \quad (5.4)$$

Якщо необхідно розрахувати глибину руйнування при корозії в дифузійно-кінетичній області, застосовують формулу:

$$\Gamma_p = \frac{\nu\tau}{\rho\beta}, \quad (5.5)$$

де  $\nu$  – швидкість корозії в дифузійно-кінетичній області.

### **Лабораторна робота № 6** **Моделювання хімічної корозії деяких видів будівельних матеріалів** **Загальні положення**

Одним з найпоширеніших видів хімічної корозії будівельних матеріалів є їх загальнокислотна корозія, що виникає при впливі на матеріали різних видів кислот як неорганічного, так і органічного походження. Швидкість цього виду корозії знаходиться в межах від 0,001 до 10 мм/рік. Критерієм оцінки нанесеного збитку є ваговий показник корозії, що визначається за формулою (1). Для випробування вибирають зразки з гіпсу, портландцементу, мармуру, крейди, силікатної та керамічної цегли. Перед випробуванням всі зразки треба зважити і записати результати. Потім зразки занурюють у 20% розчин сірчаної і соляної кислот і витримують протягом 20 хв. Після цього їх виймають, промивають чистою водою, сушать до постійної маси і зважують вдруге. Всі дані заносять до табл. 6.1.

*Ваговий показник корозії.*

$$K_{ваг} = \frac{D_0 - D_1}{S_0 \cdot \tau}, \text{ г / м}^2 \cdot \text{год} \quad (1)$$

де  $D_0$  – початкова маса зразка, г

$D_1$  – маса зразка після видалення продуктів корозії, г

$S_0$  – площа поверхні зразка, м<sup>2</sup>

$T$  – час, за який протікає корозія, год

Експериментальні дані з оцінки хімічної корозії

№п/п	Вид матеріалу	Д <sub>0</sub> , г	S <sub>0</sub> , м	Д <sub>1</sub> , г	Вид кислоти	K <sub>ваг</sub>
1	Гіпсовий камінь					
2	Цементний камінь					
3	Мармур					
4	Крейда					
5	Силікатна цегла					
6	Керамічна цегла					

Після розрахунків зробити висновок щодо кислотостійкості будівельних матеріалів, які випробувались.

#### Контрольні запитання :

1. Назвати будівельні об'єкти, де переважає вплив загальнокислотної корозії.
2. У чому полягає механізм руйнування матеріалу під дією кислот?
3. Навести приклади первинного захисту будівельних матеріалів від загальнокислотної корозії.
4. Навести приклади вторинного захисту будівельних матеріалів від загальнокислотної корозії.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Дворкін Л. Й. Стійкість бетону до температурно-вологісних впливів : навчальний посібник. Київ : Каравела, 2023. 180 с.
2. Дворкін Л. Й., Дворкін О. Л. Бетони і будівельні розчини. Київ : Основа, 2008. 613 с.
3. Дворкін Л. Й. Бетони спеціального призначення. Київ : Кондор, 2017. 352 с.
4. Дворкін Л. Й. Проектування складів бетонів (Методи, приклади, вправи). Київ : Кондор, 2017. 386 с.
5. Дворкін Л. Й., Гоц В.І., Дворкін О. Л. Випробування бетонів і розчинів. Проектування їх складів. Київ : Основа, 2014. 304 с.
6. Дворкін Л. Й., Житковський В. В., Бордюженко О. М. Бетони нового покоління. Рівне : НУВГП, 2021. 316 с.
7. Дворкін Л. Й., Житковський В. В., Макаренко Р. М. Високоміцні бетони. Київ : Каравела, 2022. 218 с.