

Міністерство освіти і науки України
Національний університет водного господарства
та природокористування

Кафедра технології будівельних виробів
і матеріалознавства

03-09-96М

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до практичних занять з навчальної дисципліни

«Бетонні вироби на основі нецементних в'язучих»

для здобувачів вищої освіти другого (магістерського) рівня за
освітньо-професійною програмою «Технології будівельних
конструкцій, виробів і матеріалів» спеціальності 192 «Будівництво
та цивільна інженерія» денної та заочної форми навчання

Рекомендовано науково-методичною
радою з якості навчально-наукового
інституту будівництва та архітектури
Протокол № 5 від 19 березня 2024 р.

Рівне – 2024

Методичні вказівки до практичних занять з навчальної дисципліни «Бетонні вироби на основі нецементних в'язучих» для здобувачів вищої освіти другого (магістерського) рівня, які навчаються за освітньо-професійною програмою «Технології будівельних конструкцій, виробів і матеріалів» спеціальності 192 «Будівництво та цивільна інженерія» денної та заочної форми навчання. [Електронне видання] / Марчук В. В. – НУВГП, 2024. – 30 с.

Укладач: Марчук В. В., к.т.н., доцент кафедри ТБВіМ.

Відповідальний за випуск: Дворкін Л. Й., проф., д.т.н., зав. кафедрою технології будівельних виробів і матеріалознавства.

Керівник ОПП

Дворкін Л. Й.

© В. В. Марчук, 2024

© НУВГП, 2024

Практична робота № 1. Бетонні вироби на основі силікатних бетонів.

Міцність бетонних виробів на основі силікатних в'язучих змінюється в широкому діапазоні: від 1,0...2,5 МПа для ніздрюватих легких (піно- та газобетони) та до 100 МПа для високоміцних щільних бетонів.

Найбільш поширеними є дрібнозернисті бетонні силікатні вироби де у якості заповнювача використовують – кварцовий пісок.

Визначення міцності виробів на основі щільних силікатних бетонів:

1. За умови використання негашеного вапна:

$$R_{\sigma} = 4,05 \left(\frac{S_{\text{м.п.}}}{100} + \frac{1,6}{C_{\text{в}} / B - 1} \right) + 18, \quad (1.1)$$

де $S_{\text{м.п.}}$ – питома поверхня (тонина помелу) меленого кварцового піску, $\text{м}^2/\text{кг}$.

2. За умови використання гашеного вапна:

$$R_{\sigma} = 16 \left(\frac{C_{\text{в}}}{B} - 1 \right) + 14, \quad (1.2)$$

де $C_{\text{в}}$ – вміст вапняно–кремнеземистого (піщаного) в'язучого, $\text{кг}/\text{м}^3$.

Оптимальний склад в'язучого при мінімальній витраті вапна знаходиться з графіків (табл. 1.1, рис. 1.1, 1.2, 1.3).

Внаслідок участі піску в реакції утворення гідросилікатів кальцію, витрати вапна у силікатному бетоні орієнтовно на 30% менші, ніж витрати цементу для звичайних цементних бетонів тієї ж міцності.

На міцність конструкцій з силікатного бетону, як правило, істотно впливають не тільки показники в'язучого і водо-в'язуче відношення, а і однорідність суміші, степінь її ущільнення, вдовміст та ін.

Підвищити міцність можна за рахунок введення добавок-електролітів, що прискорює процес утворення гідросилікатів кальцію (Na_2SO_4 , NaOH , Na_2SO_3) у кількості 0,5...1%, а також дисперсних активних мінеральних добавок (трепел, опока, зола, шлак та ін.). Підвищення тиску в автоклаві з 0,8 до 1,6 МПа, та більш тонший помел в'язучого.

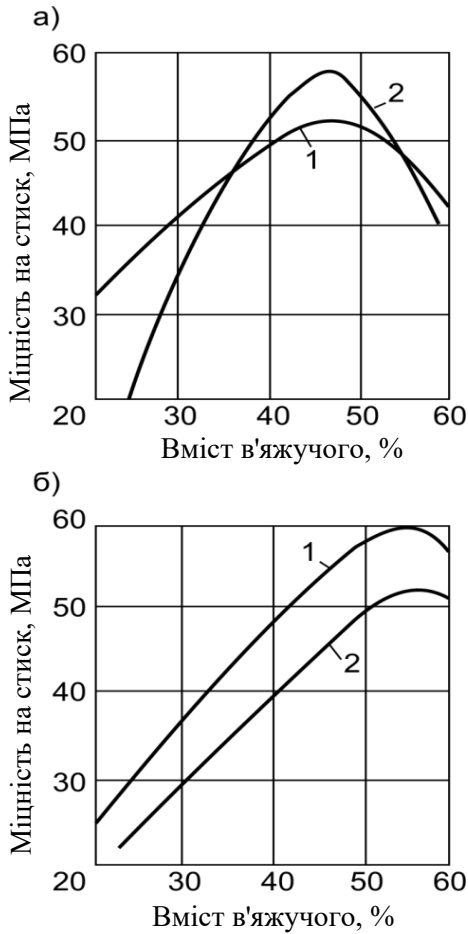


Рис.1.1. Залежність міцності дрібнозернистого силікатного бетону від вмісту в'язучого:
 а – пісок: 1 – крупний; 2 – дрібний;
 б – вапно: 1 – негашене; 2 – гідратне

Таблиця 1.1

Вміст активного СаО, % від маси бетонної суміші

Клас бетону	Кварцовий пісок			
	дуже дрібний	дрібний	середній	крупний
C12/15	6,5	6,2	6	5,8
C20/25	7,5	7,2	7	6,5
C25/30	9	8,5	8	7,5
C30/40	10,5	9,5	8,5	8

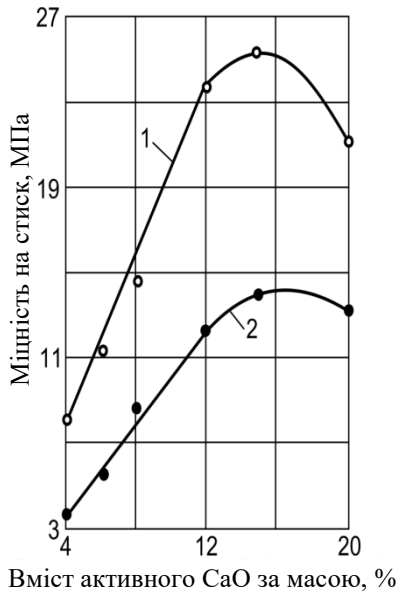


Рис. 1.2. Вплив активного СаО в суміші на границю міцності при стиску силікатних бетонів:

1 – на основі кварцового піску;

2 – на основі польовошпатового піску

Практична робота № 2.

Бетонні вироби на основі шлакових і зольних бетонів.

Шлакові і зольні безклінкерні в'яжучі виготовляють зазвичай сумісним помелом шлаків і зол у присутності активізаторів твердіння.

З використанням шлакових і зольних в'яжучих виготовляють конструкції з ніздрюватих, дрібнозернистих, легких і важких бетонів. Достатньо висока якість цих матеріалів досягається при тепловолігній обробці (рис. 2.1, 2.2).

Хімічна активність шлаку визначається *коефіцієнтом якості* K , що можна розрахувати за формулами:

- при вмісті MgO до 10%:

$$K = \frac{CaO + Al_2O_3 + MgO}{SiO_2 + TiO_2}; \quad (2.1)$$

- при вмісті MgO понад 10%:

$$K = \frac{CaO + Al_2O_3 + 10}{SiO_2 + TiO_2 + (MgO - 10)} \quad (2.2)$$

Найбільш висока активність в'яжучих для бетонних виробів на основі шлакових і зольних бетонів як при нормальному твердінні, так і в умовах тепловолігній обробки досягається при використанні доменних шлаків. При твердінні в'яжучих у пропарювальних камерах і автоклавах, а також за допомогою електропрогрівання допустиме використання як гранульованих, так і повільно охолоджених шлаків чорної і кольорової металургії.

В якості *активізаторів* для шлакових і зольних бетонів доцільно використовувати негашене вапно, напівводний або двоводний гіпс. Використання гідратного вапна дає нижчі результати, ніж вапна-кипілки. З метою підвищення водо- і морозостійкості конструкцій на шлакових і зольних в'яжучих із паливних шлаків і золи, кислих гранульованих шлаків кольорової металургії рекомендується введення 15...25% портландцементу.

Склад в'яжучих встановлюють експериментальним шляхом. Вміст вапна залежно від якості шлаку – 10...40% маси суміші. У вапняно-шлакові і зольні бетони часто вводять 3...5% гіпсу.

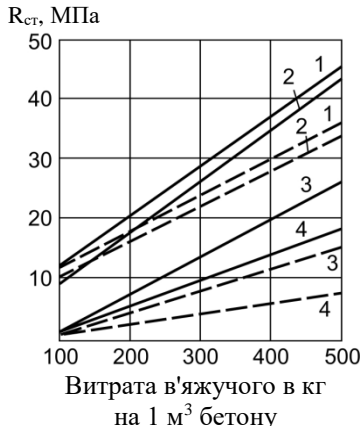


Рис. 2.1. Міцність бетону в залежності від виду шлаку і умов тверднення: суцільні лінії – в'яжуче на гранульованому доменному шлаку ливарного чавуну; пунктирні – на гранульованому шлаку мартенівського чавуну; 1 – автоклавна обробка при 0,8 МПа за режимом 2+8+2 год; 2 – те ж за режимом 2+4+2 год; 3 – пропарювання при 95⁰ С протягом 8 год; 4 – нормальне твердіння протягом 28 діб

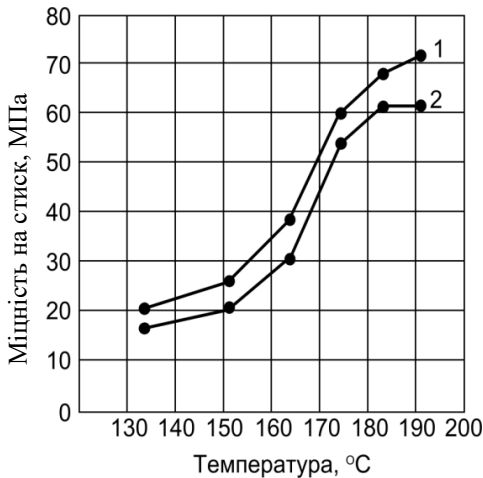


Рис. 2.2. Вплив ТО за режимом 3+8+3 год на міцність при стиску зразків з 85% гранульованого фосфорного шлаку і 15% гідроксиду кальцію: 1 – волгоградський шлак; 2 – пермський шлак

Практична робота № 3

Бетонні вироби на основі шлаколуужних бетонів.

Орієнтовний склад важких бетонів на основі шлаколуужних, в'язучих %:

- мелений гранульований шлак – 15...30;
- луужний компонент – 0,5...1,5;
- заповнювачі – 70...85.

Окрім типових заповнювачів (щєбінь, гравій, пісок) в таких бетонах можуть бути використані більшість дисперсних природних матеріалів і побічні продукти різних галузей промисловості

Міцність шлаколуужних бетонів може досягати понад 100 МПа. Найбільша міцність забезпечується при використанні в якості луужного компоненту розчинів силікату натрію: мета- і дисилікату. Підвищення модулю силікату натрію та зниження густини розчину різко зменшує міцність (рис.3.1). В табл. 3.1 приведені дані, що ілюструють вплив природи луужного компоненту на міцність бетону відношенням в'язуче : пісок 1:3 (пісок із $M_k=0,9$).

Найбільшу міцність досягають бетони на основі основних і нейтральних шлаків в умовах ТВО. Міцність бетонів на кислих шлаках особливо при твердінні в нормальних умовах знижується.

Збільшення вмісту шлаку у бетонах з 300 до 600 кг/м³ зумовлює збільшення міцності бетону, особливо при твердінні в нормальних повітряно–вологіх умовах.

Правило водоцементного відношення, яке визначає міцність бетонів, справедливе і для шлаколуужних бетонів:

- при твердінні бетонів в нормальних умовах:

$$R_{\sigma} = 0,35R_{B'_{яжс}} \left(\frac{B'_{яжс}}{B} - 0,55 \right), \quad (3.1)$$

- в умовах тепловологісної обробки ($t=85...90^{\circ}\text{C}$):

$$R_{\sigma} = 0,35R_{B'_{яжс}} \left(\frac{B'_{яжс}}{B} - 0,73 \right). \quad (3.2)$$

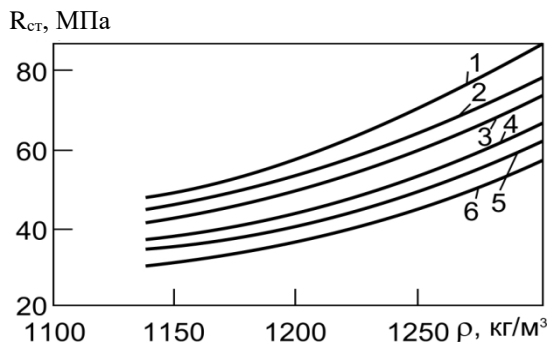


Рис. 3.1. Зміна міцності шлаколужного бетону на основі запорізького шлаку з добавкою 1% клінкеру в залежності від густини розчину дисилікату натрію і витрати шлаку:
1 - 6 – відповідно 550, 450, 425, 350, 300 і 250 кг

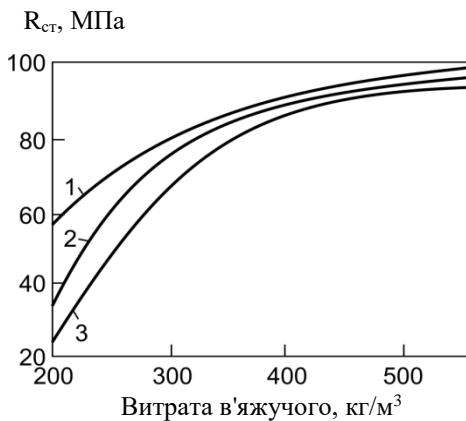


Рис. 3.2. Залежність міцності шлаколужного бетону (лужний компонент $\text{Na}_2\text{O} \times 1,5\text{SiO}_2$) від витрати шлаколужного в'язучого на 1 м^3 бетонної суміші і виду заповнювача
1 – щебінь гранітний, пісок $M_{кр}=1,2$; 2 – супісь легка;
3 – пісок $M_{кр}=1,2$

Практична робота № 4

Бетонні вироби на основі гіпсобетонів.

До бетонних виробів на основі гіпсобетонів відносять бетони, виготовлені з використанням гіпсових в'язучих. З гіпсобетонів виготовляють стінові вироби (блоки, камені, панелі) призначені, як правило в основному, для улаштування перегородок і внутрішніх стін. Область застосування таких виробів обмежена, в першу чергу, через їхню низьку водостійкість. Номенклатура виробів значно розширюється за рахунок використання у в'язучих композиціях – портландцементу та гідравлічно активних добавок. Вироби на основі таких композиційних в'язучих можуть застосовуватися також для панелей несучих стін, санітарно-технічних кабін, великорозмірних блоків, безнапірних труб та ін.

Головним недоліком бетонних виробів на основі гіпсу є низька водостійкість ($K_p=0,3-0,45$), усадка і підвищена повзучість (зокрема у вологих умовах).

При умові використання в'язучого одного виду та активності, а також заповнювачів певної якості, *міцність гіпсових бетонів* визначається водогіпсовим відношенням.

При проектуванні складу конструкцій на основі гіпсового бетону із заданою міцністю використовують формулу:

$$R_{\sigma} = K \cdot R_{\sigma} \cdot \left(\frac{\frac{G}{B} \alpha - 0,5}{\frac{G'}{B'} - 0,5} \right), \quad (4.1)$$

де R_{σ} – активність (міцність) в'язучого, МПа;

$\frac{G'}{B'}$ – водопотреба в'язучого (гіпсоводне відношення тіста нормальної густоти);

$\frac{G}{B}$ – гіпсоводне відношення проектованого бетону;

K – коефіцієнт, що враховує розмір зразків і вид заповнювача (значення коефіцієнта K вибирається за табл.4.1);

α – коефіцієнт, що характеризує тонину помелу будівельного гіпсу.

Характер міцності гіпсобетону від В/Г аналогічний міцності цементних бетонів від В/Ц (рис. 4.1). Крива $R_{\sigma}=f(V/G)$ має дві гілки, з яких ліва характеризує бетони з порами, заповненими повітрям, права – водою, при застосуванні деревної тирси $K=0,5$

Таблиця 4.1

Значення коефіцієнта К

Довжина ребра зразка-куба, см	Заповнювач важкий	Заповнювач легкий
7,07	1,0	0,70
10,0	0,9	0,65
15,0	0,8	0,55
20,0	0,75	0,50

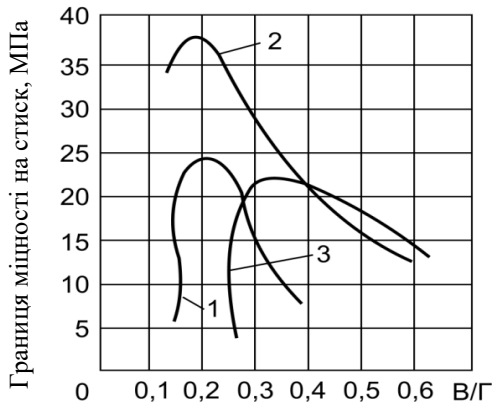


Рис.5.1. Вплив водогіпсового відношення на міцність гіпсу:
1, 3 – β-напівводний гіпс; 2 – α-напівводний гіпс

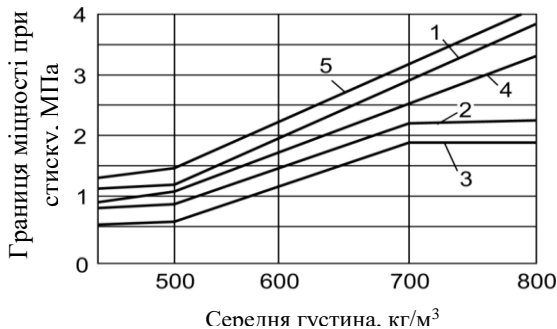


Рис. 5.2. Залежність міцності від активності в'язучого: 1 – активність гіпсу 13 МПа; 2 – те ж, 10,4 МПа; 3 – те ж, 8 МПа; 4 – ГЦП в'язуче складу 60:20:20 (гіпс:цемент:добавка); 5 – те ж, складу 50:30:20

Практична робота № 5

Бетонні вироби на основі магнезійних в'язучих.

Магнезійні в'язучі відносять до в'язучих повітряного твердіння, що отримують на основі продуктів, які містять активний оксид магнію, при їх замішуванні розчинами хлориду магнію та інших солей.

Сировиною для отримання магнезійних в'язучих є осадові карбонатні гірські породи – магнезит і доломіт.

Таблиця 5.1

Вимоги до каустичних магнезитових порошоків

Показники	Норми для марок					
	ПМК-90	ПМК-87	ПМК-83	ПМК-75	ПМК Мк-80	ПМК Мк-75
Максимальна масова доля, %:						
Оксид магнію	90	87	83	75	80	75
Оксид кальцію	2,2	1,8	2,5	4,5	2,5	3,5
Оксид кремнію	2,0	1,8	2,5	3,5	2,0	2,5
Сума оксидів, заліза і алюмінію	2,2	2,2	-	-	2,8	3,5
Сульфати	1,0	-	-	-	-	-
Вуглець	-	-	-	-	0,2	0,3
ВПП, % не більше	5	6	8	18	8	8
Волога, % не більше	1	1	1,3	1,5	-	-
Зерновий склад, %:						
Прохід через сітку №02	-	-	-	100	Не допуск.	Не допуск.
Залишок на ситі №02, не більше	5	5	5	-		
Прохід через сито №008, не менше	75	75	75	-	85	85

Отримання каустичного доломіту проходить у результаті розкладання магнезійної складової доломіту. При тиску CO_2 більше 20 мм рт. ст. і за температури $650\text{...}750^\circ\text{C}$:



Склади магнезійних в'язучих, які застосовуються для отримання бетонних конструкцій з врахуванням витрат солей-замішувачів у %: MgO – $62\text{...}67$ і $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ – $33\text{...}38$; MgO – $80\text{...}84$ і $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ – $16\text{...}20$.

Магнезійні в'язучі застосовують для виготовлення фіброліту, ксилоліту, штучного мармуру, штукатурок, теплоізоляційних матеріалів та ін. Ці в'язучі мають високу адгезію до органічних заповнювачів: деревної тирси, стружки та ін.

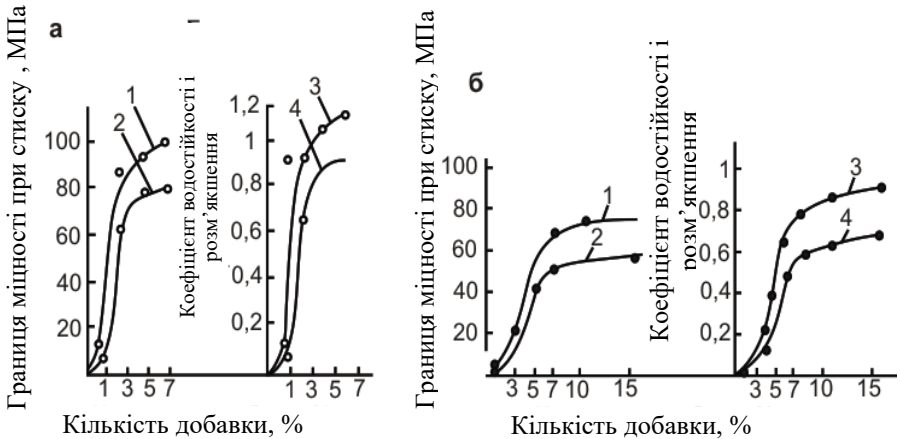


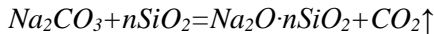
Рис. 5.1. Залежності границі міцності при стиску, коефіцієнтів водостійкості і розм'якшення каустичного доломіту від фосфатних добавок (час зберігання зразків у воді 2 роки):

- а – каолінофосфатна добавка; б – алюмофосфатна добавка;
- 1 – повітряно-сухі зразки; 2 – насичені водою зразки;
- 3 – коефіцієнт водостійкості; 4 – коефіцієнт розм'якшення

Практична робота № 6 Бетонні вироби на основі рідкого скла.

Розчинним склом називають матеріал, що містить лужні силікати $R_2O \cdot nSiO_2$, де R_2O – лужний оксид.

Содовий (карбонатний) спосіб виробництва рідкого скла ґрунтується на реакції:



Сульфатний спосіб є більш складним. Процес утворення силікату натрію проходить у відновному середовищі при наявності в шихті вугілля:



Жаростійкі бетонні вироби на основі рідкого скла з граничною температурою застосування 800...1600° С отримують на основі рідкого скла.

Витрата рідкого скла на 1 м³ бетону складає 250...400 кг/м³. Витрата затверджувача залежить від кількості рідкого скла і становить: для кремнефтористого натрію 0,1...0,2; нефелінового шламу, розсипного шлаку – 0,3 частин за масою (при застосуванні тонкомеленої добавки з магнезиту – 0,12 частин по масі).

При проектуванні складів бетонів витрату рідкого скла визначають за формулою:

$$P_{c.p} = V_3 \Pi_3 \rho_{c.p} (K_{над} - 0,3) \rho_3^0, \quad (6.1)$$

де ρ_3^0 – насипна густина заповнювачів;

Π_3 – пустотність заповнювачів;

$\rho_{c.p}$ – густина рідкого скла;

V_3 – витрата заповнювачів;

$K_{над}$ – коефіцієнт надлишку в'язучого тіста.

Витрата суміші заповнювачів:

$$P_3 = 1000 / \left(\frac{1}{\rho_3} + \frac{P_3 K^{nad}}{\rho_3^0} \right), \quad (6.2)$$

де ρ_3 – густина суміші заповнювачів.

Витрата тонкомеленої добавки:

$$P_d = 0,6V_{c.p.} \rho_d, \quad (6.3)$$

де $V_{c.p.}$ – об'єм рідкого скла ($V_{c.p.} = P_{c.p.} / \rho_{c.p.}$);

ρ_d – густина матеріалу, з якого виготовлена тонкомелена добавка.

Рекомендовані орієнтовні склади бетонів на рідкому склі наведені у табл. 6.1.

Таблиця 6.1

Склади жаростійких бетонів на рідкому склі

Гранична температура застосування бетону, °С при одно-сторонньому нагріванні	Тонкомелена добавка	Дрібний та крупний заповнювач	Затверджувач - кремнефторид натрію, кг/м ³	Склад, кг/м ³			
				Рідке скло	мінеральна добавка	пісок	щебінь
1400	магнезит	бій магнезитової цегли	18...20	350	600	600	1150
1000	хроміт	хроміт	30...35	300	700	800	1250
900	шамот	шамот	40...50	400	500	500	750
600	шамот, андезит, діабаз	базальт. діабаз. андезит	35...40	350	500	700	900

Практична робота № 7

Бетонні вироби на основі фосфатних в'язучих.

До бетонів на основі фосфатних в'язучих відноситься група в'язучих матеріалів, до складу яких входять тонкодисперсні речовини і ортофосфорна кислота. Їх поділяють на в'язучі матеріали, які включають фосфорну кислоту і мономінеральні речовини, представлені в більшій мірі оксидами, і в'язучі з використанням полімінеральних природних і техногенних продуктів. Фосфатні в'язучі можуть отверджуватися при звичайній температурі або при нагріванні. Твердіння бетонів на даних в'язучих можливе при умові хімічної взаємодії мінеральних порошоків з фосфорнокислим отверджувачем

Таблиця 7.1.

Прояв в'язучих властивостей в системах
оксид-фосфорна кислота

Оксиди	Іонний потенціал z/r^*	Умови прояву в'язучих властивостей
SiO ₂ , TiO ₂ , Al ₂ O ₃ , ZrO ₂ , MnO ₂ , Cr ₂ O ₃ , Co ₂ O ₃ , SnO ₂	5...10	Необхідна активізація процесу кислотно- основної взаємодії
Fe ₂ O ₃ , Mn ₂ O ₃ , NiO ₂ , CoO, FeO, CaO	2,5...4,5	Твердіння при нормальних умовах
MgO, ZnO, CdO	2...3	Необхідне сповільнення процесу кислотно- основної взаємодії
CaO, SrO, BaO, PbO	1,4...2	Необхідні надзвичайні міри пасивації кислотно- основної взаємодії

* z – заряд катіону; r – радіус катіону.

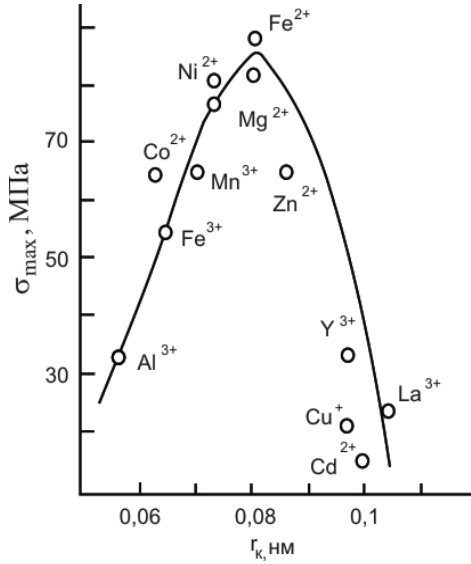


Рис. 7.1. Залежність міцності (σ_{max}) систем типу оксид (гідроксид) – ортофосфорна кислота від розмірів катіону (r_k)

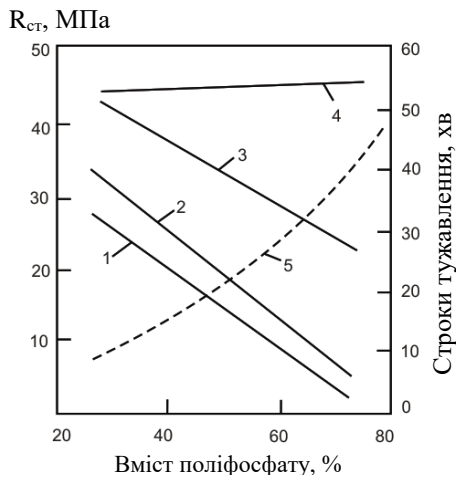


Рис. 7.2. Строки тужавлення магнійамонійфосфатних в'язучих (пунктирна лінія) і міцність при стиску (R_{ct}) бетонів на їх основі:

- 1 – через 2 год; 2 – 1 доба; 3 – 7 діб; 4 – 28 діб;
- 5 – строки тужавлення

Практична робота № 8

Бетонні вироби на основі сірчаних в'язучих.

Бетоні вироби на основі сірчаних в'язучих – термопластичні матеріали, які отримують, вводячи в розплавлену сірку добавки тонкодисперсних наповнювачів і пластифікаторів. У якості наповнювачів використовують мелені кварцовий пісок, базальт, діабаз, андезит та інші кислотостійкі матеріали, пластифікатори – тіокол, термоплен та ін.

На основі таких в'язучих отримують кислотостійкі бетони та інші антикорозійні композиційні конструкції.

При отриманні хімічно стійких бетонів сірчане в'язуче нагрівають до 145...155° С та змішують із заповнювачами. Оптимальні склади сірчаних бетонів у % за масою знаходяться в наступних межах: сірка – 12...15, щебінь – 50, пісок – 22...24, наповнювач – 11...12, пластифікуючі добавки – 2.

Бетони на основі сірчаного в'язучого мають середню густину – 2300...2400 кг/м³ та границю міцності при стиску 30...35 МПа. Бетоні вироби на основі сірчаних бетонів набирають основну міцність менше, ніж за 1 добу. Відношення міцності на розтяг при згині до міцності на стиск для нього становить приблизно 1:6, в той час як для цементного бетону він знаходиться в межах 1:8...1:10.

Основні фізико-механічні властивості сірчаних бетонів:

міцність при стиску, МПа	28...70
міцність при розтязі, МПа	2,8...8,3
модуль пружності, МПа·10 ⁻³	20...45
коефіцієнт температурного розширення, 1/°С(·10 ⁻⁶)	8...35
теплопровідність. Вт/(м·°С)	0,4...2

Для зменшення деструктивних процесів під час твердіння, зокрема внутрішніх напружень, що виникають у результаті алотропних переходів сірки під дією температурних перепадів, впливу сонячної радіації, у сірчані в'язучі та бетони вводять пластифікуючі та структуруючі добавки.

Питання для контролю знань до практичних робіт № № 1...8

1. Які застосовують схеми виробництва конструкцій на основі силікатних бетонів?
2. Основні процеси, що відбуваються при твердінні силікатних бетонів.
3. Основні властивості конструкцій на основі силікатних бетонів.
4. Дати характеристику металургійних паливних шлаків та золи. Шлакові безклінкерні в'яжучі.
5. Конструкції на основі шлакові ніздрюватих бетонів.
6. Легкі і дрібнозернисті шлакові бетони.
7. Лужна активація шлаків.
8. Властивості і область застосування конструкцій на основі шлаколуужних бетонів.
9. Характеристика конструкцій на основі гіпсових в'яжучих.
10. Основні властивості конструкцій на основі гіпсових бетонів.
11. Шляхи покращення властивостей конструкцій на основі гіпсових бетонів.
12. Види і характеристики конструкцій на основі магнезійних в'яжучих матеріалів.
13. Види і особливості бетонів на магнезійних в'яжучих матеріалах.
14. Способи виробництва і характеристика конструкцій на основі рідкого скла.
15. Жаростійкі бетони на рідкому склі.
16. Кислотостійкі бетони на рідкому склі.
17. Фосфатні в'яжучі. Особливості твердіння і властивості.
18. Привести характеристику бетонів на основі фосфатних в'яжучих.
19. Сірчані в'яжучі і бетони. їх особливості і застосування.

Практична робота № 9

Асфальтові і дьогтеві бетони.

Бітумні в'язучі речовини складаються з високомолекулярних вуглеводнів нафтового, метанового і ароматичного рядів та продуктів їх взаємодії з киснем, сіркою, азотом. Про якісний склад вуглеводнів, що входять у бітуми дозволяє судити відношення С/Н, для нафтових вуглеводнів воно вище ніж у парафінових, для ароматичних вище ніж у нафтових.

Асфальтобетоном називають матеріал, який отримують в результаті затвердіння ущільненої і раціонально підібраної однорідної суміші бітуму, мінеральних наповнювачів та заповнювачів. Під асфальтовим в'язучим розуміють суміш бітуму з мінеральним наповнювачем – тонкодисперсним порошком, зазвичай з карбонатних гірських порід. Як мінеральні заповнювачі служать пісок і щебінь або гравій.

Асфальтобетонні суміші (АБС) залежно від температури при укладанні поділяють на:

– *гарячі*, що виготовляються з використанням бітумів нафтових дорожніх (БНД) і укладаються при температурі не менше 120 ° С;

– *холодні*, що виготовляються з використанням БНД і укладаються з температурою не менше 5 ° С.

Таблиця 9.1

Марки асфальтобетонів

Вид і тип сумішей і асфальтобетонів	Марки
Горячі:	
високошільніщільні типів:	I
А	I, II
Б, Г	I, II, III
В, Д	II, III
пористі	I, II
високопористі щебеневі	II
високопористі пісчані	II
Холодні типів:	
Бх, Вх	I, II
Гх	I, II
Дх	II
високопористі щебеневі	I

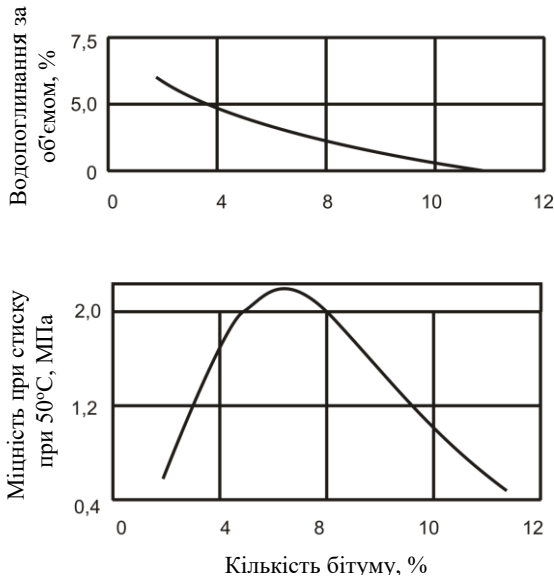


Рис. 9.1. Вплив вмісту бітуму на властивості асфальтового бетону

Руйнування асфальтобетону в умовах експлуатації дорожніх покриттів завжди носить втомний характер. Залежність міцності асфальтобетону (R_τ) від тривалості (τ) дії навантаження (P) наближається до виду:

$$R_\tau = R\tau^{-P}, \quad (9.1)$$

де R – міцність при $\tau = 1$ с.

Основною вимогою, якій повинен задовольняти асфальтобетон, який працює в умовах підвищених позитивних температур, є *зсувостійкість*. На неї, крім міцності при зсуві впливають кут внутрішнього тертя, сили зчеплення зерен при зсуві і сили зчеплення, обумовлені властивостями бітуму.

Опір асфальтобетонів зсуву (R_z) можна вирахувати:

$$R_z = Ptg\varphi + C + \Sigma, \quad (9.2)$$

де P – нормальний тиск на майданчику зсуву;

φ – кут внутрішнього тертя матеріалів;

C – зчеплення мінеральних зерен;

Σ – зчеплення, обумовлене бітумними зв'язками.

Для проектування складів АБС найбільш поширений метод, що полягає у визначенні гранулометричного складу щебеню, піску і наповнювача; вибір співвідношення між мінеральними матеріалами з умови отримання щільних сумішей; призначення орієнтовної кількості в'язучого з подальшим її коригуванням пробними замісами і випробуванням зразків.

Склад АБС проектують на основі технічного завдання із зазначенням його типу, призначення, характеристики мінеральних і в'язучих матеріалів.

Рекомендуються безперервні і переривчасті зернові склади мінеральної частини асфальтобетонних сумішей. Застосування сумішей з переривчастою гранулометриєю допускається, коли відсутні крупні і середні піски і немає можливості збагачувати дрібні піски, наприклад, відходами каменедробіння. Асфальтобетони з переривчастою гранулометриєю більш неоднорідні, при їх ущільненні і під час експлуатації можливо надмірне дроблення щебеню.

Найбільша щільність мінеральної суміші досягається в тому випадку коли зерна кожної наступної фракції зменшуються приблизно в 2 рази:

$$\frac{d_1}{d_2} = \frac{d_2}{d_3} \dots \frac{d_{m-1}}{d_m} = 2 \quad (9.3)$$

де d_1 – найбільший розмір зерен мінеральної суміші, що встановлюється залежно від типу асфальтобетону;

d_m – найменший розмір зерен.

Величина, яка показує, у скільки разів кількість наступної фракції менше попередньої – *коефіцієнт збігу* (К). Для отримання щільних мінеральних сумішей $K = 0,7 \dots 0,9$.

Задавшись граничними значеннями К, можна побудувати область зернового складу мінеральної суміші, в межах якої повинен розташовуватися зерновий склад конкретної суміші. Якщо маса першої фракції $m_1 = y_1$, то масу другої фракції можна знайти з умови $m_2 = y_1 K$, третьої $m_3 = y_2 K = y_1 K^2$, n -ї – фракції $m_n = y_{n-1} K = y_1 K^{n-1}$.

Масовий вміст першої фракції обчислюють за формулою:

$$y_1 = \frac{1-K}{1-K^n} \cdot 100. \quad (9.4)$$

Для мінеральних сумішей з $K < 0,7$ характерно незначний вміст мінерального порошку, з $K \geq 0,9$ – підвищена кількість мінерального порошку.

В табл. 9.2. наведені рекомендовані безперервні зернові склади мінеральних сумішей для дрібнозернистих гарячих асфальтобетонів.

Таблиця 9.2

Зерновий склад дрібнозернистих сумішей
для гарячого асфальтобетону

Тип суміші	Кількість частинок, % менших даного розміру									
	20	15	10	5	2,5	1,25	0,63	0,315	0,14	0,071
А	95... 100	78... 100	60... 100	35... 50	24... 38	17... 28	12... 20	9... 15	6... 11	4... 10
Б	95... 100	85... 100	70... 100	50... 65	38... 52	28... 39	20... 29	14... 22	9... 16	6... 12
В	95... 100	88... 100	80... 100	65... 80	52... 66	39... 53	29... 40	20... 28	12... 20	8... 14

Пористість мінеральної частини асфальтобетону з гарячих сумішей повинна бути, %: для високощільних сумішей не більше 16; щільних типів А і Б – від 14 до 19; В, Г і Д – не більше 22; пористих – не більше 23; високопористих щебених – не менше 19; високопористих піщаних – не більше 28.

Орієнтовну кількість бітуму розраховують з урахуванням рекомендацій табл. 9.2 за формулою:

$$B = \frac{(V_{\text{пор}}^0 - V_{\text{пор}}) \rho_b}{\rho_0}, \quad (9.5)$$

де $V_{\text{пор}}^0$ – пористість мінеральної частини випробуваних зразків, %;

ρ_0 – густина мінеральної частини асфальтобетону, г / см³;

$V_{\text{пор}}$ – задана залишкова пористість асфальтобетону, % ;

ρ_b – дійсна густина бітуму при 20⁰ С, г / см³.

Вміст бітуму (табл. 9.3)., уточнюється експериментально, він має забезпечити необхідну залишкову пористість, яка визначається за величиною водонасичення

З суміші з необхідною залишковою пористістю виготовляють зразки для визначення всіх нормованих показників фізико-

механічних властивостей. Якщо вони не досягаються, то проводиться коректування зернового складу суміші, наприклад, збільшується кількість мінерального порошку, уточнюється оптимальний вміст бітуму.

Таблиця 9.3

Орієнтовний вміст бітуму в асфальтобетонних сумішах

Вид суміші	Вміст бітуму, % за масою
Гарячі високощільні щільні типів	4,0...6,0
А	4,5...6,0
Б	5,0...6,5
В	6,0...7,0
Г і Д	6,0...9,0
пористі	3,5...5,5
високопористі щебеневі	4,0...6,0
високопористі пісчані	4,0...6,0
Холодні типів	
Бх	3,5...5,5
Вх	4,0...6,0
Гх і Дх	4,5...6,5
високопористі щебеневі	2,5...4,0

Приклад. Потрібно розрахувати склад дрібнозернистого гарячого асфальтобетону типу Б.

Матеріали: бітум БНД 100/150, гранітний щебінь, гранітний подрібнений і природний кварцовий пісок, вапняковий мінеральний порошок. Властивості вихідних матеріалів відповідають технічним вимогам. Зерновий склад матеріалів наведено в табл. 9.4.

1. За табл. 9.4 знаходимо, що вміст щебеню тобто зерен крупніше 5 мм в мінеральній суміші для асфальтобетону типу Б має бути 35 ... 50% тобто в середньому 43%. Враховуючи, що зерен крупніше 5 мм в щебені міститься 97%, в інших компонентів їх немає, то щебеню потрібно:

$$\text{Щ} = (43/97) \cdot 100 = 44\%.$$

Розраховуємо вміст в суміші кожної фракції щебеню (табл. 9.4).

2. За табл. 9.2 знаходимо, що вміст мінерального порошку, тобто частинок дрібніше 0,071 мм в мінеральній частині асфальтобетону повинно бути в межах 6 ... 12% (в середньому –

9%). Так як у мінеральному порошку частинок дрібніше 0,071 мм 76% розрахунковий вміст мінерального порошку (МП) приймаємо:

$$\text{МП} = (9/76) \cdot 100 = 12\%.$$

З урахуванням невеликого вмісту частинок менше 0,071 мм в піску остаточно вміст мінерального порошку МП = 11%.

3. Знаходимо кількість піску в суміші:

$$\text{П} = 100 - (\text{Щ} + \text{МП}) = 100 - (44 + 11) = 45\%.$$

Співвідношення між подрібненим і природним піском встановлюємо з урахуванням співвідношення в них фракцій крупніше 1,25 мм. В мінеральній суміші їх має бути 28 ... 39% (в середньому 34%), з них в суміші, що розраховується 11% припадає на частку мінерального порошку.

При заданому зерновому складі пісків кількість природного піску (x) і, зокрема, вміст фракції менше 1,25 мм в природному і подрібненому пісках розраховуємо наступним чином:

$$\frac{72x}{100} + \frac{(45-x)46}{100} = 34 - 11 = 23\%, \quad x \approx 9\%.$$

Тоді кількість подрібненого піску складе $45 - 9 = 36\%$.

Розрахунковий вміст окремих піщаних фракцій в суміші наведено в табл. 9.4.

Порівняння отриманого складу мінеральної суміші з рекомендованим (табл. 9.2) показує, що він є задовільним.

4. Визначаємо оптимальний вміст бітуму. Для цього на першій стадії приймаємо вміст бітуму на нижній межі, за табл. 2.13 (5%) і змішуємо його в знайдених співвідношеннях з іншими вихідними матеріалами. На основі отриманої суміші формуються три зразки-циліндра діаметром і висотою 71,4 мм. Через 12 ... 42 год визначаємо щільність зразків і робимо необхідні обчислення для розрахунку орієнтовної кількості бітуму по формулі (2.10).

Густина пробних зразків при вмісті бітуму 5% (понад 100% мінеральної частини) дорівнює $2,32 \text{ г/см}^3$, дійсна густина мінеральної частини $2,68 \text{ г/см}^3$, бітуму – $1,0 \text{ г/см}^3$, задана залишкова пористість асфальтобетону – 4%.

$$\text{Тоді } \rho_0 = \frac{2,32}{100 + 5} = 2,2 \text{ г/см}^3; \quad V_{\text{пор}}^0 = \left(1 - \frac{2,2}{2,68}\right) \cdot 100 = 17,9\%$$

$$B = \frac{(17,9 - 4,0) \cdot 1,0}{2,2} = 6,3\%.$$

Таблиця 9.4

Зерновий склад мінеральних матеріалів
і розрахунковий склад їх суміші

Мінеральний матеріал	Вміст мінерального матеріалу, % дрібніше даних розмірів, .мм									
	20	15	10	5	2,5	1,25	0,63	0,315	0,15	0,075
Щебінь 5...15 мм	100	97	95	93	-	-	-	-	-	-
Пісок подрібнений	-	-	-	100	77	46	21	14	5	1
Пісок природний	-	-	-	-	100	72	61	41	19	3
Мінеральний порошок	-	-	-	-	-	-	100	92	82	76
Розрахунковий склад мінеральної частини АБС										
Щебінь – 44%	44	43	25	1	-	-	-	-	-	-
Пісок подрібнений – 9%	36	36	36	36	28	17	8	5	2	0,36
Пісок природний – 36%	8	9	9	9	9	6	5	4	2	0,27
Мінеральний порошок – 11%	11	11	11	11	11	11	11	10	9	8
Сума	100	99	81	57	48	34	24	19	13	8,63

При розрахунковому вмісті бітуму формуємо три зразка і визначаємо залишкову пористість. Якщо вона відповідає нормативним вимогам, готуємо зразки для перевірки властивостей асфальтобетону (як правило, міцності при 20 і 50⁰С і водонасичення) на трьох складах – з розрахунковим вмістом бітуму і таким, що відхиляється від нього в меншу і більшу сторону на 0,5%. Після випробувань при необхідності вносимо в склад необхідні коректування.

Практична робота № 10

Бетонні вироби на основі полімерних в'язучих.

У бетонних вироби на основі полімерних в'язучих роль в'язучих виконують синтетичні полімери.

За своїми властивостями полімерні бетони займають проміжне місце – між пластмасами і цементними бетонами.

Склади і властивості полімербетонів. Поширені склади полімербетонів на основі мономера ФА наведені в табл. 10.1.

Таблиця 10.1

Орієнтовні склади полімербетонів
на основі мономера ФА

Складові	Склад,% за масою				
	1	2	3	4	5
Щебінь:					
гранітний	51	-	-	-	-
кварцовий	-	52	-	-	-
андезитовий	-	-	50	-	-
аглопоритовий	-	-	-	-	38
з кислототривкої кераміки	-	-	-	35	-
Пісок:					
кварцовий	25,5	-	-	-	-
графітовий	-	-	-	30,4	28,3
борошно:					
кварцове	11	-	-	-	-
андезитове	-	33,6	35,6	-	-
графітове	-	-	-	13	15
Мономер ФА або його модифікації	10,6	12	12	18	15,5
Бензосульфокислота (БСК)	2	2,4	24	3,6	3,2

Розрахунок складу полімербетонів можна виконувати, представивши їх як двокомпонентну систему: наповнена полімерна мастика – крупний заповнювач.

Мінімально необхідну витрату полімерного в'язучого для мастики можна визначити за формулою:

$$P_m = \frac{S_n m_n \rho_n \delta}{100}, \quad (10.1)$$

де P_m – витрата полімерного в'язучого для мастики, кг;

S_n – питома поверхня наповнювача, м²/кг;

m_n – маса наповнювача, кг;

ρ_n – густина в'язучого, кг/дм³;

δ – товщина плівки в'язучого ($\delta \approx 15 \cdot 10^{-7}$ м).

Співвідношення в'язуче:наповнювач, обчислене за формулою (10.1), становить 1:1,5...1:2.

Мастики з такою кількістю наповнювачів мають максимальну міцність.

За даними різних дослідників міцність полімербетонів на стиск на фуранових, поліефірних і епоксидних смолах коливається в інтервалі 50...125, на згин 15...40 і розтяг 8...16МПа

Застосовують два способи твердіння полімербетонів: "на холоді", тобто при звичайних температурах і при підігріві до 40...80о С. У першому випадку матеріал досягає необхідної міцності через декілька днів, у другому – вже через кілька годин після укладання. В інтервалі температур до 100° С границя міцності та модуль пружності зменшуються пропорційно підвищенню температури.

Для полімербетонів на мономері ФА зі збільшенням температури від 20 до 100° С міцність і модуль пружності знижуються на 40%. При подальшому збільшенні температури міцність і модуль пружності зменшуються більш інтенсивно.

Істотний вплив на міцність мають вміст затверджувача та умови тверднення полімерного в'язучого, тривалість твердіння.

Питання для контролю знань до практичних робіт № № 9, 10

1. Структура і склад бітумних в'язучих.
2. Види і характеристика бітумних в'язучих.
3. шляхи підвищення якості бітумних в'язучих.
4. Привести характеристику дьогтевих в'язучих, їх особливості.
5. Емульсії і пасти на основі бітумних в'язучих.
6. Характеристика композиційних бітумних і дьогтевих в'язучих.
7. Основні види асфальтових бетонів. Область їх застосування.
8. Властивості, що визначають якість асфальтових бетонів.
9. Шляхи управління властивостями асфальтових бетонів.
10. Розрахунок складів асфальтових бетонів.
11. Особливості і область застосування дьогтевих бетонів.
12. Характеристика основних видів синтетичних в'язучих для полімербетонів.
13. Склади і властивості конструкцій на основі полімербетонів.

Список літератури

1. Дворкін Л. Й. Бетони на нецементних в'язучих : навчальний посібник. Рівне : НУВГП, 2021. 145 с. <http://ep3.nuwm.edu.ua/id/eprint/26302>
2. Дворкін Л. Й., Дворкін О. Л., Пушкарьова К. К., Кочевих М. О., Мохорт М. А. Використання техногенних продуктів у будівництві. Рівне : НУВГП, 2009. 340 с. <https://ep3.nuwm.edu.ua/2259/>
3. Дворкін Л. Й., Мироненко А. В. Будівельні матеріали та вироби із застосуванням промислових відходів : навч. посіб. Рівне : НУВГП, 2019. 298 с. <https://ep3.nuwm.edu.ua/15074/>
4. Ефективні технології бетонів та розчинів із застосуванням техногенної сировини : монографія / Л. Й. Дворкін, В. В. Житковський, В. В. Марчук та ін. Рівне : НУВГП, 2017. 424 с. <https://ep3.nuwm.edu.ua/14467/>
5. В'язучі матеріали, бетони і розчини у сучасному будівництві : навчальний посібник / Л. Й. Дворкін, О. Л. Дворкін, В. Адамчик та ін. Рівне : НУВГП, 2012. 268 с. <http://ep3.nuwm.edu.ua/id/eprint/2777>.
6. Дворкін Л. Й. Властивості мінеральних будівельних матеріалів : навч. посіб. Рівне : НУВГП, 2019. 418 с. <http://ep3.nuwm.edu.ua/id/eprint/18983>.
7. Дворкін Л. Й. Бетони спеціального призначення. Київ : Кондор, 2017. 352 с.
8. Гоц В. І. Бетони і будівельні розчини. К. : КНУБА, 2003. 472 с.