

РЕСУРСОЕКОНОМНІ МАТЕРІАЛИ, ЇХ ВЛАСТИВОСТІ ТА ТЕХНОЛОГІЇ ВИГОТОВЛЕННЯ

УДК 691.33

РОЗРОБКА ОСНОВНИХ ПАРАМЕТРІВ ТЕХНОЛОГІЇ ДРІБНОЗЕРНИСТИХ БЕТОНІВ НА ЧАВУННИХ ЗАПОВНЮВАЧАХ

DEVELOPMENT OF MAIN PARAMETERS OF TECHNOLOGY OF FINE-GRAIN CONCRETE ON CAST IRON FILLERS

Анопко Д.В., к.т.н., доцент, ORCID:0000-0002-2585-251; Гончар О.А., к.т.н., доцент, ORCID:0000-0002-1071-7553; Кочевих М.О., к.т.н., доцент, ORCID:0000-0002-6201-3507; Кушнірєва Л.О., к.т.н., доцент, ORCID:0000-0003-0759-4553 (Київський національний університет будівництва і архітектури, м. Київ)

Anopko D., PhD, Associate Professor, ORCID, ORCID:0000-0002-2585-251; Honchar O., PhD, Associate Professor, ORCID:0000-0002-1071-7553; Kochevykh M., PhD, Associate Professor, ORCID, ORCID:0000-0002-6201-3507; Kushnierova L., PhD, Associate Professor, ORCID, ORCID:0000-0003-0759-4553 (Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv)

Запропоновано технологію отримання радіаційнозахисних дрібнозернистих бетонів на чавунних заповнювачах. Встановлено, що перемішування таких сумішей необхідно збільшити в часі на 33% для досягнення однорідності суміші однакової зі звичайними складами на портландцементі, тому тривалість перемішування сумішей на надважких заповнювачах становитиме 4-5 хв, для чого необхідно використовувати бетонозмішувачі примусової дії з посиленням валом та підвищеною потужністю електродвигуна.

The use of the proposed methods of regulating the composition and technology of fine-grained concrete (change in the phase composition of the binder towards the formation of highly basic hydrosulfoferites and sulfoalumoferrites of calcium due to the introduction of microsilica, iron oxide, metallic iron, the use of aggregates obtaining high quality stone. It is advisable to create composites with a minimum anisotropy value of their properties, which in the developed materials is regulated by the dispersion of the aggregate and the degree of expansion of the cement. This confirms the prospects of using the proposed fine-grained concrete as radiation-protective materials. The technology of obtaining radiation-protective fine-grained concrete on cast iron aggregates is proposed. It was found that the mixing of such mixtures must be increased over time by 33% to achieve homogeneity of

the mixture with conventional compositions on Portland cement, so the duration of mixing mixtures on heavy aggregates will be 4-5 minutes, which requires the use of concrete mixers electric motor. The thickness of the laid layer, depending on V/C for concrete on cast iron dust should not exceed 30 cm, and for materials on cast iron shot is 20-25 cm. It is established that the optimal frequency of their vibration compaction is in the range $f = 130-140$ Hz, while for hard mixtures the compaction time is reduced by 75-85% compared to the standard frequency of 50 Hz. The optimal amplitude of vibration compaction for these fine-grained mixtures $A = 0.15-0.4$ mm.

Ключові слова: радіаційнозахисний бетон , чавунний заповнювач, композит, анізотропія
radiation protection concrete, cast iron filler, composite, anisotropy.

Вступ. На сучасному етапі розвитку енергетичної галузі України стає актуальним питання енергобезпеки та енергонезалежності. Традиційні для України джерела енергії вугілля та газ відходять на другий план і суттєво зростає частка атомної енергії. При цьому зростає необхідність поводження з відпрацьованим ядерним паливом, добудова блоків Хмельницької АЕС, деактивація зони відчуження Чорнобильської АЕС, що робить актуальним питання наявності власних радіаційнозахисних бетонів та технологій їх виготовлення у промислових масштабах.

Огляд останніх досліджень та публікацій. На якість бетону значний вплив має щільність заповнювача. Бетонні суміші на надважких заповнювачах (метал) погано укладаються, схильні до значного розшарування. У роботі [1, 2] описано застосування методу роздільного бетонування, який може проводитись двома способами:

1. Заглиблення за допомогою вібраторів рівними шарами великого заповнювача в раніше укладену в опалубку розчинну суміш цементу з дрібним заповнювачем.

2. Нагнітання розчину (знизу вгору) в заздалегідь укладений в опалубку великий заповнювач (метод "розчину, що сходить").

Метод роздільного бетонування має ряд недоліків [1, 2]. Роздільне укладання великого сталевого заповнювача та розчинної суміші ускладнене через складність рівномірного розміщення заповнювача в бетонній суміші. Великий заповнювач може нерівномірно розподілятися та утворювати велику кількість раковин.

За даними досліджень Л. О. Шейнича [3], анізотропія властивостей у бетонах виникає за рахунок седиментаційних процесів та дії ряду технологічних факторів. Автором були проведені дослідження з управління анізотропією властивостей штучних композитів за допомогою різних технологічних прийомів: застосування розширених цементів, тонкодисперсних компонентів, тепловологої обробки та ін.

Можливість отримання радіаційнозахисного бетону традиційним способом укладання підтверджують роботи [4], отриманий результат В. Р. Сердюком може бути пояснений даними [5, 6], згідно з якими збільшення дисперсності заповнювача веде до зменшення розшарування бетонної суміші. Він рекомендує використовувати металеві відходи з дисперсністю частинок 40...100 мкм. В якості сировини пропонується застосовувати шліфувальний шлам, який відновлюється до чистого заліза серед ендотермічного при $t = 700...800^{\circ}\text{C}$.

Зазначене рішення має недоліки, пов'язані з необхідністю великих енерговитрат (відновлення заліза), та зі зниженням реакційної здатності відновленого металевого заліза порівняно з первинним Fe_2O_3 у контактній зоні з продуктами твердіння цементу. В останньому випадку це має погіршувати фізико-механічні властивості каменю, оскільки дослідженнями [7, 8] показано, що при використанні абсолютно неокисленого заліза, останнє виконує функції нерекційного заповнювача, лужне середовище цементного тесту сповільнює можливу його корозію. У той же час, введення деякої кількості неокисленого заліза в цементне тісто позитивно впливає на швидкість гідратації цементу та утворення еттрингіту, що пов'язано, на думку Сичова М.М. [9], з впливом останнього на процес утворення подвійного електричного шару навколо частинок цементу, що гідратується. На доцільність введення пружних металевих частинок до складу композиту, вказують дослідження [10], згідно з якими введення таких добавок сприяє збільшенню в'язкості матеріалу, підвищення його теплопровідності. Це дозволяє конструкції краще чинити опір внутрішнім напруженням, що виникають за наявності температурного градієнта.

Тому можна припустити, що комбінація з оксиду заліза та чистого металевого заліза повинна не тільки сприяти отриманню матеріалу з ефективним радіаційним захистом, але й створювати умови синтезу міцного каменю, що володіє високими фізико-механічними властивостями та необхідною довговічністю.

Мета і задачі досліджень. Метою роботи є необхідність розробки технології отримання суміші, формування конструкцій з дрібнозернистих безусадочних бетонів на чавунних заповнювачах, що зумовлено відмінністю їх складу та властивостей від традиційних бетонів, а також необхідністю отримання суміші з максимально щільною структурою та мінімальним розшаруванням (анізотропією властивостей) з метою підвищення радіаційно-захисних властивостей, їх радіаційної та корозійної стійкості.

Технологія даних бетонів розроблялася з урахуванням звичайних методів одержання сумішей, враховуючи свої особливості, оскільки роздільні методи одержання бетону, як показано в [1, 2], мають багато недоліків. Дослідження режимів приготування та формування бетонів проводилося на складах, які наведені нижче.

При їх призначенні враховувалася можливість отримання бетонів як на чавунному пилу, так і з використанням чавунного дробу, оскільки в останньому випадку формуються бетони з більш високою середньою густиною.

Матеріали і методи досліджень. Було прийнято п'ять режимів перемішування суміші, які наведені у таблиці 2. Кожен склад радіаційно-захисного бетону було досліджено на трьох водоцементних відношеннях.

Як критерії оцінки якості радіаційнозахисних бетонів обрані:

- міцність при стиску бетонів (таблиця 3);
- коефіцієнт варіації міцності бетону (таблиця 3).

Тому після готовності кожного замісу на лабораторному вібромайданчику типу 435А формували зразки-куби розміром $2 \times 2 \times 2$ см, які тверділи протягом 7 діб у вологих умовах: при $W=100\%$ та $t=20 \pm 2^\circ\text{C}$. Зразки у віці 7 діб випробовували на міцність при стиску та визначали коефіцієнт варіації міцності за методикою [6]. Найменше значення коефіцієнта варіації міцності свідчило про більшу однорідність суміші. Розшарування досліджуваних складів оцінювалося за величиною анізотропії властивостей отриманого бетону за наступною методикою. У вертикальному положенні формували зразки-призми розміром $7 \times 7 \times 32$ см. Закінчення ущільнення суміші фіксували за появою на поверхні зразка цементного молочка. На 14 добу твердіння бетону його піддавали ультразвуковій обробці за методикою ГОСТ 17624 за допомогою приладу УКБ-1. Ультразвукове прозвучування проводили у горизонтальній площині у двох взаємоперпендикулярних напрямках. У кожному напрямі цієї площини знімали три показники.

Наступним кроком даної роботи було вивчення залежності легкоукладальності досліджуваних сумішей від частоти віброущільнення та їх водоутримання. Визначення оптимальних параметрів віброущільнення було проведено на вібростенді ВЭДС-100Б.

Результати досліджень. В [11, 12] були досліджені на радіаційну стійкість та визначені радіаційно-захисні властивості бетонів на чавунних заповнювачах, але при цьому не встановлені закономірності зміни структури бетону при віброущільненні (розшарування) залежно від виду та кількості заповнювача, а також технологічні параметри виготовлення конструкцій на таких бетонах. У таблиці 1 наведено склади бетонів, які використовувалися у подальших дослідженнях.

В результаті аналізу даних, наведених у таблиці 1 для подальшої роботи, були прийняті склади бетонів 3-7, які мають найбільшу середню густину. Як зразок порівняння був прийнятий дрібнозернистий бетон у співвідношенні «модифікована в'язуча речовина:пісок = 1:1».

Оптимальний режим перемішування сумішей визначали при зміні двох факторів: часу перемішування і величини водоцементного відношення.

У бетонозмішувач компоненти суміші подавали в наступній послідовності: портландцемент М500, мікрокремнезем, чавунний пил

(чавунний дріб або пісок), вода. Суміш перемішували заданий час з однаковою швидкістю.

Таблиця 1.

Середня щільність та склади радіаційно-захисних бетонів

№ п/п	Склад композиту, мас %	Співвідношення в'яз./зап.	Середня густина, кг/м ³
1	Модифіковане в'язуче - 75 Дисперсне залізо (0,08-0,16мм) - 25	3:1	2350
2	Модифіковане в'язуче - 65 Дисперсне залізо (0,08-0,16мм) - 35	2:1	2520
3	Модифіковане в'язуче - 50 Дисперсне залізо (0,08-0,16мм) - 50	1:1	2860
4	Модифіковане в'язуче - 35 Дисперсне залізо (0,08-0,16мм)- 65	1:2	3640
5	Модифіковане в'язуче - 34 Дисперсне залізо (0,08-0,16мм)- 65 Суперпластифікатор С3 – 1	1:2	3680
6	Модифіковане в'язуче - 35 Дисперсне залізо (0,8-2,0 мм) - 65	1:2	3900
7	Модифіковане в'язуче - 50 Кварцевий пісок (0,8-2,0 мм) - 50	1:1	2200

Таблиця 2.

Режими перемішування бетонної суміші

Загальний час перемішування бетонної суміші, хв.	Час перемішування сировинних компонентів бетонної суміші після завантаження, хв.		
	Портландцемент М500 + мікрокремнезем	- чавунний пил або - чавунний дріб або - кварцовий пісок	вода
1	0,17	0,33	0,5
2	0,25	0,5	1,25
3	0,33	0,67	2
4	0,5	1	2,5
5	0,5	1,5	3

Залежність значень коефіцієнта варіацій міцності при стиску радіаційнозахисних бетонів від режимів перемішування бетонної суміші наведено в таблиці 3. Аналізуючи наведені в таблиці 3 дані можна відзначити, що коефіцієнт варіацій зміни міцності зразків зі збільшенням часу перемішування кожного складу знижується, а середня міцність при стиску серії зразків збільшується, а потім стабілізується. Така закономірність пояснюється як високою дисперсністю чавунного пилу та мікрокремнезему,

так і високою середньою густиною металевих наповнювачів. Ці дані відповідають відомим закономірностям [2].

Таблиця 3.

Залежність значень коефіцієнта варіацій міцності при стисканні радіаційно-захисних бетонів у віці 7 діб від режимів перемішування суміші

Склад за таблицею 1	Час перемішування, хв	В/Ц	Середня міцність при стиску бетону, МПа	Коефіцієнт варіацій міцності при стиску бетонів	В/Ц	Середня міцність при стиску бетону, МПа	Коефіцієнт варіацій міцності при стиску бетонів	В/Ц	Середня міцність при стиску бетону, МПа	Коефіцієнт варіацій міцності при стиску бетонів
3	1	0,5	13	0,175	0,43	19	0,166	0,36	14,8	0,408
	2		17,1	0,109		19,1	0,155		23,1	0,164
	3		18	0,104		21,6	0,142		23,5	0,154
	4		19,6	0,08		23,9	0,09		26,8	0,102
	5		20	0,068		25,1	0,07		28	0,071
4	1	0,5	14,1	0,227	0,43	5,2	0,267	0,36	3,5	0,213
	2		14,6	0,101		7,6	0,187		3,6	0,2
	3		17	0,069		10	0,165		4	0,19
	4		18,6	0,052		17,6	0,102		4,4	0,18
	5		19	0,047		21,1	0,09		4,5	0,177
6	1	0,4	21,2	0,3	0,33	28,8	0,285	0,26	34,5	0,185
	2		18,4	0,15		31,1	0,223		45,5	0,155
	3		23,7	0,084		34,6	0,101		44,5	0,103
	4		24,4	0,066		36,6	0,076		50,8	0,099
	5		24,5	0,061		37,3	0,059		44,9	0,099
7	1	0,4	12,9	0,215	0,33	30,7	0,131	0,26	28,3	0,163
	2		23,6	0,135		35,8	0,11		41,4	0,106
	3		27,2	0,087		36,9	0,09		46,9	0,068
	4		28	0,078		36	0,085		45,7	0,055
	5		30	0,067		36	0,08		43,3	0,039

При збільшенні часу перемішування досліджуваних сумішей на 33% їх однорідність за величиною коефіцієнта варіацій порівнюється з величиною коефіцієнта варіацій еталонного складу 7, тому було прийнято час приготування залізобетонних сумішей більш тривалий, порівняно зі звичайним. Тобто, тривалість перемішування сумішей на надважких заповнювачах становить 4-5 хв, а сумішей на звичайному заповнювачі з кварцового піску (еталонний склад 7) – 3 хв. Для кращого перемішування

сумішей необхідно використовувати бетонозмішувачі примусової дії з посиленням валом та підвищеною потужністю електродвигуна. У цьому випадку властивості отриманих сумішей будуть забезпечуватися стабільною роботою змішувача та характеризуватися мінімальним розшаруванням.

Особливість застосування радіаційнозахисних бетонів пов'язана з тим, що суміш укладається в конструкції великими масивами. У зв'язку з цим виникає необхідність визначення оптимальної товщини шару суміші, при якому не буде спостерігатися розшарування досліджуваних сумішей.

У зв'язку з вищезазначеним, наступним кроком у дослідженнях було визначення оптимальної товщини шару суміші, при якому не спостерігатиметься розшарування розроблених складів.

За відомою методикою розрахунку статистичних показників [6] згідно з певним значенням швидкості проходження ультразвуку розраховали коефіцієнт варіацій. Розмір коефіцієнта варіацій характеризувала анізотропію властивостей бетону. Результати дослідження наведено у таблицях 4, 5.

Таблиця 4.

Залежність коефіцієнта варіацій швидкості ультразвуку від складу бетону

Час визначення анізотропії властивостей матеріалу, доба	Обсяг вимірювання у площинах	Номери складів згідно з таблицею 1 та їх водоцементне відношення					
		3			4		
		0,5	0,43	0,36	0,5	0,43	0,36
14	1+2	<u>0,008</u> -33,3	<u>0,024</u> 25	<u>0,014</u> -26	<u>0,015</u> 25	<u>0,02</u> 4,2	<u>0,021</u> 9,7
	1+3	<u>0,008</u> -45,2	<u>0,037</u> 19,8	<u>0,022</u> -5,5	<u>0,017</u> 9,7	<u>0,021</u> -32,9	<u>0,023</u> -1,3
	1+4	<u>0,014</u> -19,4	<u>0,038</u> 20	<u>0,026</u> 8,2	<u>0,019</u> 5,6	<u>0,023</u> -28,1	<u>0,024</u> -2

Примітка:

1. У чисельнику - абсолютне значення коефіцієнта варіацій, %;
2. У знаменнику - відсоток коефіцієнта варіацій від його величини для еталонного складу з однаковим В/Ц.

Оскільки розшарування бетонної суміші з використанням дробу вище на 30% порівняно з еталоном, то товщина шару суміші, що укладається, повинна бути на 30% менше, ніж для звичайних важких бетонів. У суміші на високодисперсних заповнювачах розшарування відсутнє, тому товщину шару в цьому випадку можна залишити таку як і для звичайних бетонних сумішей. За даними [1, 6] товщина укладеного шару звичайної важкої бетонної суміші в залежності від В/Ц не повинна перевищувати 30 см, тому для сумішей з використанням чавунного пилу товщина шару, що укладається, не повинна перевищувати 30 см, а з використанням дробу - 21 см.

Таблиця 5.

Залежність коефіцієнта варіацій швидкості ультразвуку від складу бетону

Час визначення анізотропії властивос- тей матеріалу, доба	Обсяг вимірювання у площинах	Номери складів згідно з таблицею 1 та їх водоцементне відношення								
		5			6			7		
		0,43	0,38	0,33	0,43	0,38	0,33	0,4	0,33	0,26
14	1+2	<u>0,021</u> 9,4	<u>0,018</u> 15,6	<u>0,018</u> -18,2	0,019	0,016	0,022	0,011	0,022	0,014 6
	1+3	<u>0,021</u> -31,3	<u>0,025</u> 19	<u>0,023</u> -12,5	0,031	0,021	0,026	0,017 1	0,026 3	0,018 3
	1+4	<u>0,022</u> -31,3	<u>0,032</u> 46,8	<u>0,03</u> 9,1	0,032	0,022	0,027	0,018 5	0,027 5	0,020 4

З наведених результатів (таблиці 4, 5) випливає, що у всіх складів з підвищенням товщини шару бетону збільшується анізотропія властивостей (ступінь розшарування). Причому найбільші відмінності у значеннях анізотропії різних рівнів має склад 6 з використанням чавунного дробу, трохи менші значення у еталонного складу 7. Відомо [6], що розшарування суміші залежить від щільності заповнювача, його дисперсності та водоцементного відношення бетонної суміші. Тому у сумішей однакової консистенції, що містять дріб, розшарування більше, ніж у сумішей, що містять кварцовий пісок. Завдяки високій дисперсності чавунного пилу, не дивлячись на його високу питому щільність, суміші характеризуються незначною схильністю до розшарування. Так, коефіцієнт варіацій складів 3-5 у середньому однаковий з його значеннями для еталонного складу 7, і лише у складі 6 значення коефіцієнта варіацій в середньому на 30% більше, ніж у еталонного складу.

Висота падіння суміші не повинна перевищувати 50 см, інакше остання диспергується на маленькі грудки, що значно підвищує розшарування суміші. Розроблені режими приготування та пошарового укладання сумішей дозволили отримати високоміцний, довговічний бетон із мінімальним розшаруванням (анізотропією властивостей).

Для встановлення можливості виготовлення радіаційнозахисних бетонів у звичайних умовах підприємств будіндустрії було досліджено режими віброущільнення цих сумішей. Легкоукладальність бетонних сумішей визначали за стандартними методиками [6].

У таблиці 6 наведено значення залежності легкоукладальності та міцності бетонів від їх складу. Аналіз даних таблиці 6 показує, що при зниженні водопотреби досліджуваних сумішей, вони поведуться аналогічно звичайним

сумішам: осад конуса зменшується, а жорсткість збільшується. Склади 3-5 відрізняються підвищеною водопотребою, що відповідає відомим закономірностям під час використання в бетонах високодисперсного заповнювача [6]. При зниженні вмісту чавунного пилу в суміші (склад 4) легкоукладальність її збільшується. Введення суперпластифікатора, також збільшує легкоукладальність суміші, що відповідає відомим закономірностям [6].

Таблиця 6.

Залежність легкоукладальності суміші та міцності при стисканні бетону від його складу

Склад за табл. 1	В/Ц	Осадка конуса, см	Жорсткість, с	Міцність при стиску R^{28} , МПа
3	0,5	10	4-7	49
	0,43	1	24-38	58
	0,36	0	60-94	53
4	0,5	7	10-16	47
	0,43	0	30-47	54
	0,36	0	140-187	48
5	0,43	7,7	10-16	47
	0,38	1,5	20-35	56
	0,33	0	70-94	54
6	0,4	21,5	–	55
	0,33	4	20-35	59
	0,26	0	70-105	53
7	0,5	28	–	30
	0,43	23	–	42
	0,36	7,5	4-7	52

При використанні як заповнювач менш дисперсного чавунного дробу при збереженні В/Ц легкоукладальність сумішей збільшується. Порівняння результатів досліджень складів 3-5 з еталонним складом 7 показує, що досліджувані склади мають меншу легкоукладальність, ніж еталонні при однаковому В/Ц. Жорсткість складу 6 вище ніж у еталона, а осад конуса цього складу трохи менший за еталонний при однаковому В/Ц. Отримані результати пояснюються більшою щільністю чавунного дробу ніж піску. Аналіз показників міцності при стиску бетонів, які наведені в таблиці 7, показує, що зниження вмісту чавунного пилу (склад 3) призводить до підвищення міцності матеріалу при однаковій легкоукладальності бетонів. Введення суперпластифікатора також підвищує міцність бетону (склад 5) порівняно з міцністю бетону без суперпластифікатора (склад 4). Використання в якості заповнювача чавунного дробу призводить до підвищення міцності бетону, що пов'язано зі зниженим водопотребі суміші при однаковій легкоукладальності в порівнянні зі складами 3-5. При

однакових В/Ц радіаційнозахисні бетони мають більшу міцність ніж еталон. Для бетону складу 6 у зв'язку з низькою дисперсністю заповнювача міцність навіть при однаковій легкоукладальності сумішей вище ніж у еталона. Зниження водопотреби сумішей всіх складів нижче їх оптимальних значень значно погіршує легкоукладальність суміші і знижує міцність бетону. Тому оптимальними В/Ц для вібраційних параметрів $A = 0,5$ мм і $f = 50$ Гц, що використовувалися при ущільненні складів, які досліджуються, прийнято такі: 4-0,39; 5-0,42; 6-0,38; 7-0,28 (таблиця 6). Оптимальна величина В/Ц, регулюючи легкоукладальність суміші та міцність бетону, може бути змінена при застосуванні інших режимів ущільнення суміші.

Наступним кроком даної роботи було вивчення залежності легкоукладальності досліджуваних сумішей від частоти віброущільнення та їх водоутримання. Визначення оптимальних параметрів віброущільнення було проведено на вібростенді ВЭДС-100Б. У зв'язку з конструкцією вібростенду визначення легкоукладальності проводили за спрощеною методикою, яка полягала в тому, що в якості конуса використовували форму, прийнятту для визначення легкоукладальності цементно-піщаного розчину. Її вставляли в циліндричну ємність з діаметром, що дорівнює зовнішньому великому діаметру конуса цієї форми. У конус послідовно у два шари укладали суміш. Кожен шар штикували відповідно 15 та 10 разів. Після цього конус знімали та на верхню частину відформованого зразка ставили металеву пластину масою 170 г, в якій було зроблено 10 отворів діаметром 6 мм. Після цього на лабораторній вібромайданчику визначали тривалість рівномірного розподілу суміші по циліндру до моменту появи в отворах пластини цементного молочка, що було показником легкоукладальності суміші. Легкоукладальність сумішей визначали як за спрощеною методикою, так і за методикою [6] для всіх складів і за тих же значень В/Ц. Жорсткість, визначена за спрощеною методикою для сумішей всіх складів приблизно вдвічі менше, ніж жорсткість аналогічних сумішей визначена за стандартною методикою. Змінними параметрами досліджень були частота та вміст сумішей. Амплітуда віброущільнення була постійною та регулювалася на вібростенді через прискорення вібрації. Для наближення водопоглинання еталонної суміші (склад 7) до досліджуваних на чавунному пилу, кварцовий пісок подрібнювали до питомої поверхні пилу. У разі використання в досліджуваних сумішах як заповнювач чавунного дробу для порівняння використовували не подрібнений кварцовий пісок. Результати досліджень наведено на рисунках 1 та 2.

Аналіз отриманих даних показує суттєву залежність легкоукладальності сумішей від частоти ущільнення та водопотреби суміші, які відповідають відомим закономірностям [5, 6]. Причому характер цієї залежності сильніше виражений у жорстких сумішах. У всіх сумішах є область оптимальних частот, в якій час ущільнення найменший і знаходиться в межах $f = 130-140$ Гц. Підвищення вмісту води вирівнює оптимум і в цьому випадку значне

скорочення часу ущільнення поширюється на велику область частот. За оптимальної частоти час ущільнення знижується на 75-85 % (рисунки 1, 2) порівняно зі стандартною частотою 50 Гц. Це вказує на великі переваги та ефективність ущільнення сумішей у режимі резонансної частоти. Порівняння оптимальних частот досліджуваних та еталонних сумішей показує, що у складів 4-7 ці показники дещо більше, що пов'язано з більшою середньою густиною суміші.

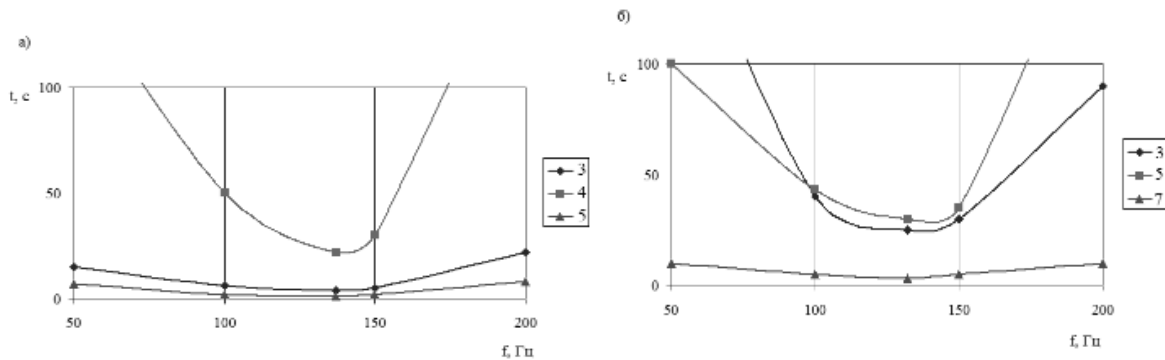


Рис. 1. Залежність часу віброущільнення досліджуваних сумішей з використанням чавунного пилу та еталонного з використанням меленого кварцового піску від частоти вібрації: а) $V/C=0,43$; б) $V/C=0,38$; 3, 4, 5, 7 – номери складів бетонів (за таблицею 1).

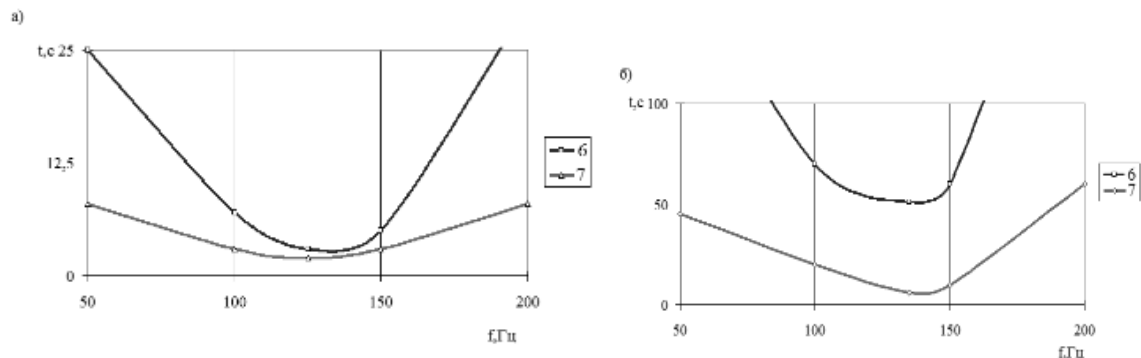


Рис. 2. Залежність часу віброущільнення досліджуваних сумішей з використанням чавунного пилу, дробу та еталонного з використанням меленого кварцового піску від частоти вібрації: а) $V/C=0,3$; б) $V/C=0,264$; 6, 7 – номери складів бетонів (за табл. 1).

Крім того, були проведені експерименти щодо визначення залежності часу ущільнення від амплітуди коливань вібромайданчика. Результати підтвердили відомі закономірності [5,6] та показали суттєву залежність між цими показниками (рисунок 3). Причому у жорстких сумішах час ущільнення з підвищенням амплітуди знижується на велику величину. Збільшення водопотреби призводить до значного зменшення кривизни графіків: $J=f(A)$. Збільшення амплітуди коливань з 0,25 до 1,2 мм (у 4,8 рази) призводить до скорочення часу ущільнення на 80-90 %, тоді як збільшення частоти коливань лише у 2,5-3 рази призводить до скорочення часу ущільнення на ту саму величину (рисунки 1-3). Це пояснюється тим, що на тривалість ущільнення амплітуда впливає по квадратичній залежності, а частота - по

кубічній [5,6]. Тому ефективніше управляти часом ущільнення за допомогою пошуку оптимальних частот, ніж зміною амплітуди.

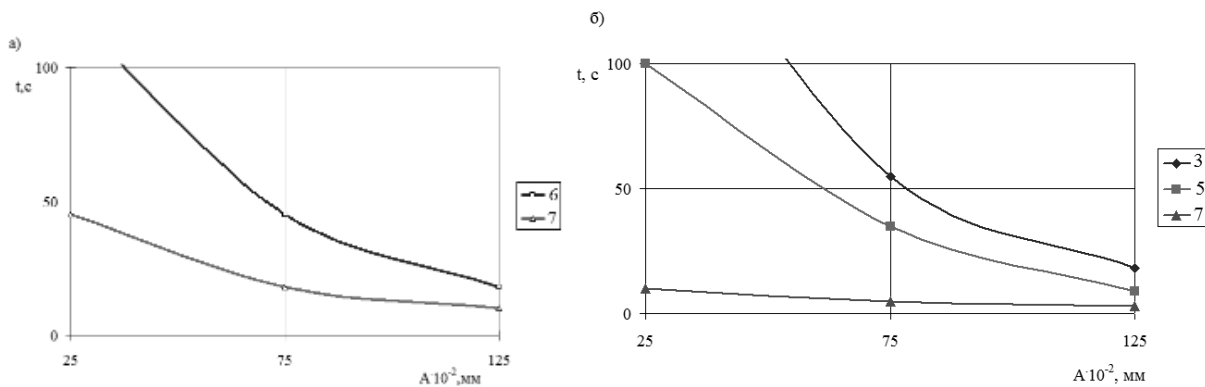


Рис. 3. Залежність часу віброущільнення досліджуваних та еталонних бетонних сумішей від амплітуди коливань вібромайданчика: а) В/Ц=0,264; б) В/Ц=0,3; 3, 5, 6, 7 – номери складів бетонів (за таблицею 1).

Крім того, значна величина амплітуди віброущільнення призводить до швидкого зношування обладнання, тому рекомендується не перевищувати амплітуди, які застосовують на виробництві ($A=0,3-0,7$) і для даних дрібнозернистих сумішей використовувати амплітуду $A=0,15-0,4$ мм.

Висновки. В результаті проведених досліджень запропоновано технологію отримання радіаційнозахисних дрібнозернистих бетонів на чавунних заповнювачах. Встановлено, що перемішування таких сумішей необхідно збільшити в часі на 33% для досягнення однорідності суміші однакової зі звичайними складами на портландцементі, тому тривалість перемішування сумішей на надважких заповнювачах становитиме 4-5 хв, для чого необхідно використовувати бетонозмішувачі примусової дії з посиленням валом та підвищеною потужністю електродвигуна. Товщина шару, що укладається, залежно від В/Ц для бетонів на чавунному піску не повинна перевищувати 30 см, а для матеріалів на чавунному дробі становить 20-25 см. Встановлено, що оптимальна частота їх віброущільнення знаходиться в межах $f=130-140$ Гц, при цьому для жорстких сумішей час ущільнення зменшується на 75-85% порівняно зі стандартною частотою 50 Гц. Оптимальна амплітуда віброущільнення для цих дрібнозернистих сумішей $A = 0,15-0,4$ мм.

1. Комаровский А.Н. Строительные материалы для защиты от излучений ядерных реакторов и ускорителей. - М.: Атомиздат, 1958, с.356..

Komarovskyi A.N. Stroytelnye materyaly dlia zashchyty ot yzluchenyi yadernykh reaktorov y uskorytelei. - М.: Atomyzdat, 1958, s.356..

2. Дубровский В.Б., Аблевич З. Строительные материалы. Строительные материалы и конструкции защиты от ионизирующих излучений. М.: Стройиздат, 1983, 240 с.

Dubrovskiy V.B., Ablevych Z. Stroytelnye materyaly. Stroytelnye materyaly y konstruktsyy zashchyty ot yonyzuyuiushchykh yzluchenyi. М.: Stroyzdat, 1983, 240 с.

3. Шейнич Л. А., Пушкарева Е. К. Процессы самоорганизации структуры строительных композитов. К.: Гамма-принт, 2009. 153 с.

Sheinych L. A., Pushkareva E. K. Protsessy samoorhanyzatsyy struktury stroytelnykh kompozytov. K.: Hamma-prynt, 2009. 153 s.

4. Сердюк В. Р. Бетон электропроводный металлонасыщенный. - Винница: Континент, 1993, 239 с.

Serdiuk V. R. Beton elektroprovodnyi metallonasыshchennyi. - Vynnytsa: Kontynent, 1993, 239 s.

5. Ахвердов И. Н. Основы физики бетона. - М.: Стройиздат, 1981. - 464 с.

Akhverdov Y. N. Osnovy fyzyky betona. - M.: Stroiyzdat, 1981. - 464 s.

6. Баженов Ю. М. Технология бетона. - М.: Высшая школа, 1987. -415 с.

Bazhenov Yu. M. Tekhnolohyia betona. - M.: Vysshaya shkola, 1987. -415 s.

7. Волженский А. В. Влияние концентрации некоторых компонентов на свойства цементного камня. Шестой Междунар. конгр. по химии цемента. - М., 1976. - Т. 2 кн. 2 - С. 91-97.

Volzhenyskiy A. V. Vlyianye kontsentratsyy nekotorykh komponentov na svoistva tsementnoho kamnia. Shestoi Mezhdunar. konhr. po khymyy tsementa. - M., 1976. - T. 2 kn. 2 - S. 91-97.

8. Ларионова З. М. Влияние вида заполнителя на структурообразование контактной зоны бетонов: Сб. тр. НИИЖБ Структурообразование бетона и физико-химические методы его исследования. - М.: 1980, С. 68-72.

Laryonova Z. M. Vlyianye vyda zapolnytelia na strukturoobrazovanye kontaktnoi zony betonov: Sb. tr. NYYZhB Strukturoobrazovanye betona y fyzyko-khymycheskye metody eho yssledovaniya. - M.: 1980, S. 68-72.

9. Сычев М. М. Воздействие порошков d - металлов на твердение цементов. Прикладная химия. - 1984 - Т.VII - N 3. - С. 552-557.

Sychev M. M. Vozdeistviye poroshkov d - metallov na tverdenye tsementov. Prykladnaia khymyia. - 1984 - T.VII - N 3. - S. 552-557.

10. Выровой В.Н. Физико-механические особенности структурообразования композиционных строительных материалов.-Дис. докт.техн. наук - Л., 1988, 340с.

Vyrovoy V. N. Fyzyko-mekhanicheskye osobennosty strukturoobrazovaniya kompozitsyonnykh stroytelnykh materyalov. - Dys. dokt. tekhn. nauk - L., 1988, 340s.

11. Анопко Д.В., Гончар О.А., Кобылянский И.З. Композиционный радиационнозащитный цемент с повышенной термо- и трещиностойкостью. Науковий вісник будівництва. – Харків: ХНУБА, 2019. № 4. Том 98. С. 231-240

Anopko D. V., Honchar O. A., Kochevykh M.O. and Kushnierova L. O. Radiation protective properties of fine-grained concretes and their radiation resistance IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering - Innovative Technology in Architecture and Design (ITAD 2020). – Vol. 907 (2020) 012031 – 10p. doi:10.1088/1757-899X/907/1/012031. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/907/1/012031/pdf>

12. Wagner, J. C.; Peplow, D. E.; Mosher, S. W.; Evans, T. M. (2011). Review of Hybrid Deterministic/Monte Carlo) Radiation Transport Methods, Codes, and Applications at Oak Ridge National Laboratory.

13. Романенко І. М., Голюк М. І., Носовський А. В., Гулік В. І. Дослідження нового композитного матеріалу на основі надважких бетонів і базальтової фібри для радіаційного захисту від гамма-випромінювання. Ядерна та радіаційна безпека. 2018. Вип. 1(77). С. 52-58.

Romanenko I. M., Holiuk M. I., Nosovskyi A. V., Hulik V. I. Doslidzhennia novoho kompozytnoho materialu na osnovi nadvazhkykh betoniv i bazaltovoi fibry dlia radiatsiinoho zakhystu vid hamma-vyprominiuvannia. Yaderna ta radiatsiina bezpeka. 2018. Vyp. 1(77). S. 52-58.

14. Gulik, V., Tkaczyk, A. H. (2014), "Cost optimization of ADS design: Comparative study of externally driven heterogeneous and homogeneous two-zone subcritical reactor systems", Nuclear Engineering and Design, Iss. 270, pp. 133-142.

15. Sharifi, Sh.; Bagheri, R.; Shirmardi, S. P. (2013), "Comparison of shielding properties for ordinary, barite, serpentine and steel-magnetite concretes using MCNP-4C code and available experimental results", Annals of Nuclear Energy, Iss. 53, pp. 529-534.