

СПОСОБИ ВИРОБНИЦТВА НІЗДРЮВАТОГО БЕТОНУ З ВИКОРИСТАННЯМ ЗОЛИ-ВИНОСУ

METHODS OF PRODUCING CELLULAR CONCRETE USING FLY ASH

Чорна І.В., к.т.н., викладач будівельних дисциплін, ORCID: 0000-0002-7106-6766, Шалай С.В., к.с-г.н., доцент, викладач будівельних дисциплін ORCID: 0000-0002-5196-1747, Сасовський Т.А., к.т.н., викладач будівельних дисциплін, ORCID: 0000-0002-7344-7968 (Відокремлений структурний підрозділ «Рівненський фаховий коледж Національного університету Біоресурсів і природокористування України», м. Рівне)

Chorna I., candidate of technical sciences, lecturer of construction disciplines, ORCID: 0000-0002-7106-6766 Shalay S., candidate of agricultural sciences, associate professor, lecturer of construction disciplines ORCID: 0000-0002-5196-1747, Sasovskiy T., candidate of technical sciences, lecturer of construction disciplines, ORCID: 0000-0002-7344-7968 (Separate structural unit "Rivne Professional College of the National University of Life Resources and Environmental Management of Ukraine", Rivne)

Доведена доцільність виробництва безавтоклавних газозолошлакових бетонів на основі цементу із підвищеним вмістом високоосновних мінералів – аліту і трикальцієвого алюмінату. Наведена технологія отримання зололужних ніздрюватих бетонів з використанням золи-виносу і лужного компоненту.

The fly ash from power plants is a man-made raw material for many industries. It is utilized up to 92% in dry form and is of practical interest in the production of effective thermal insulation building materials and products as a filler and aggregate. The feasibility of producing non-autoclave gas-ash slag concrete using cement with an increased content of highly basic minerals - alite and tricalcium aluminate - has been proven. The technology of obtaining ash-alkali cellular concrete using fly ash and an alkaline component is presented. The economic efficiency of cellular ash-intensive concretes is justified by the replacement of sand with ash, and a 1.2-1.5 times less in lime consumption compared to lime-sand concrete, as well as approximately 2 times less in capital costs for the extraction and processing of raw materials. Comparative physical and mechanical properties of autoclaved and non-autoclaved aerated concrete products are presented. The process of manufacturing products by vibrovacuuming and vibrocompaction of ash concrete is shown. The presented data show that the strength of vacuum ash

concrete is 30-40% higher than that of vibration-compacted concrete with a rigid mixture.

Ключові слова:

Зола-винос, ніздрюватий бетон, авоклавний та неавтоклавний бетон, кремнеземистий компонент, термічне тріщиноутворення, пороутворювач, вібровакуумування, вакуумзолобетон, газозолобетон.

Fly ash, cellular concrete, autoclaved and non-autoclaved concrete, silica component, thermal cracking, pore former, vibrovacuum, vacuum ash concrete, aerated ash concrete.

Вступ. Аналіз досліджень

Виробництво теплоізоляційних бетонів з високими експлуатаційними властивостями набуває все більшої актуальності у зв'язку зі значним здорожчанням енергоносіїв. Це відбувається шляхом модифікації з використанням комплексних тонкодисперсних органо-мінеральних добавок, з одночасним використанням відходів промисловості в якості техногенної сировини. До 50% резерву енергозбереження в житловому фонді пов'язано з тепловою ізоляцією огорожувальних конструкцій житлових будівель. Основні втрати теплової енергії припадають на стіни і складають більше 20%. Також слід зазначити, що річні витрати тепла в будинках житлового сектору складають до 41 млн. кДж, тоді як в інших європейських країнах цей показник у декілька разів менший.

Тому одним із перспективних напрямків утилізації золошлакових відходів є виробництво пористих заповнювачів для легких бетонів. Золу використовують і як наповнювач для виробництва рулонних покрівельних матеріалів. Найбільшого застосування отримала зола-винос, яка відпускається споживачам для використання як добавка до цементу, керамзиту, глиняної та силікатної цегли, та інших цілей. Вимоги до золи, як компонента цементу, наведені в ДСТУ Б В.2.7-128:2006 і зводяться в основному до обмежень щодо втрат при прожарюванні (<3%).

Зола-винос являє собою тонкодисперсний матеріал, що складається в основному із часток, розміром 0,005–0,1 мм. Її хіміко-мінералогічний склад відповідає складу мінеральної частини палива, що спалюється. При згорянні кам'яного вугілля зола являє собою обпалену глинисту речовину із включенням дисперсних часток кварцового піску. При випалі мінеральної частини палива дегідратується глиниста речовина й утворюються низькоосновні алюмінати й силікати кальцію.

Наявність у складі золи аморфного оксиду кремнію та оксиду алюмінію з гідроксидом кальцію, що утворюється при гідратації цементу, зумовлює формування кальцій-силікат-гідрат-фази (CSH-фаза). Додатково утворені гідросилікати кальцію сприяють підвищенню довговічності бетону. Проведені дослідження довели доцільність використання золи в якості

мінеральної добавки та мікронаповнювача при виготовленні бетону [1, 2] зважаючи на зміну основних властивостей бетонної суміші та бетону:

- зниження водовідділення і розшарування бетонної суміші;
- підвищення когезії бетонної суміші;
- зниження усадки в результаті водоредукуючого ефекту золи, що забезпечує зниження водоцементного відношення бетону;
- зниження термічного тріщиноутворення в результаті пониження тепловиділення (із заміною до 50% цементу золою-виносу температурний градієнт між центром та поверхнею масиву не перевищує 25%);
- підвищення водонепроникності та довговічності бетону (зниження витрати води та модифікація продуктів гідратації).

Тому, метою наших досліджень було визначити ефективні способи використання золошлакових відходів у виробництві будівельних матеріалів, з урахуванням нестабільності хімічного та мінералогічного складу, вмісту невідпаленого палива з підвищенням сульфатостійкості, корозійної стійкості заповнювача і запобіганні термічного тріщиноутворення [3]. Сповільнення гідратації цементного в'язучого за рахунок введення золи-виносу, зумовлює ріст новоутворених кристалів, що сприяє хімічному ущільненню і зменшенню пор в затверділому бетоні. За сучасними підходами міцність цементів і бетонів з добавкою золи залежить від товщини порушеного хімічними процесами поверхневого шару зольної частки [4].

Матеріали та методи досліджень

В якості сировинних матеріалів було обрано низькокальцієву золу Ладизинської ТЕС (ДСТУ Б В.2.7-205: 2009) розмелену до питомої поверхні 8000см²/г за Блейном, як лужний компонент використовували карбонат натрію технічний (ГОСТ 5100). Для активації системи застосовували портландцемент ПЦ І-500 виробництва ПАТ «Волиньцемент» з питомою поверхнею за Блейном 3800см²/г та гранульований доменний шлак ПрАТ «ММК ім. Ілліча» розмелений до питомої поверхні за Блейном 4500см²/г. Для покращення технологічних характеристик використовували пластифікуючу добавку, лужний компонент – рідинне скло та каустифікований содовий сплав. Хімічний склад вихідних сировинних компонентів наведено в табл. 1.

Таблиця 1

Хімічний склад сировинних матеріалів, %

Матеріал	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Na ₂ O	K ₂ O	в.п.п
Зола	51,08	24,8	13,67	3,12	1,83	0,08	0,60	1,90	1,50
ПЦ І-500	23,4	5,17	4,12	64,13	0,88	0,55	0,41	0,33	0,20
Шлак	40,0	5,91	0,32	46,98	5,87	1,62	-	-	-

Підбір складу та виготовлення зразків лужного бетону виконували згідно ДСТУ Б В. 2.7-69-98 та ДСТУ Б В. 2.7-96-2000. Вимоги до золи, як компонента цементу, наведені в ДСТУ Б В.2.7-128:2006.

Результати досліджень

Незважаючи на зменшення вмісту цементу за рахунок додавання золи, через 20 годин витримки в повітряному середовищі при температурі 20⁰С вдалося досягти однакової міцності на стиск. Вже через 7 діб (1 день витримки в повітряному середовищі і 6 днів витримки у воді при 20⁰ С) показник міцності суміші з вмістом золи був приблизно на 2 Н/мм² вище показників стандартної суміші. Через 28 діб (заключна витримка в повітряному середовищі при 20⁰ С) показник міцності стандартної суміші був нижче показника суміші з вмістом золи вже більш ніж на 3 Н/мм² (62,9 Н/мм² і 66,3 Н/мм²).

Результати експериментальних лабораторних досліджень, що здійснювалися з метою оптимізації складу бетонної суміші для виробництва залізобетонних конструкцій із застосуванням золи, підтверджують доцільність введення пластифікуючих добавок.

Ніздрюваті золобетони на основі цементу є більш стійкими, ніж на сонові вапна. До золи, яку використовують для ніздрюватих бетонів через вміст невиспаленого палива та нестабільність хімічного складу висувають технологічні вимоги по вмісту склоподібних і оплавлених часинок бурого вугілля – не більше 3%, кам'яного – не більше 5%, питомій поверхні 3000...5000 см²/г, значення набухання у воді – не більше 5%. До негативних особливостей можна віднести їхню здатність до високого сорбційного зволоження, що зумовлено високою мікропористістю золи, а також підвищеною чутливістю до циклічного зволоження і висушування, ніж щільний бетон. При виготовленні авоклавних ніздрюватих бетонів можливе застосування низькоактивних цементів зокрема шлакопортландцементу і пуцоланового портландцементу. Так як автоклавні ніздрюваті бетони не захищають сталеву арматуру від корозії, виникає необхідність вживання спеціальних заходів щодо її захисту в конструкціях, а поверхню золобетону захищають від агресивних впливів атмосфери [5].

Найбільш придатною для виробництва газозолошлакобетонних виробів є комплексна вібраційна технологія (віброспучування), що дає змогу за рахунок розрідження суміші при вібрації в процесі перемішування і формування зменшити кількість води на замішування та усадочні деформації на 25-30%, підвищити однорідність бетону, міцність зростає на 15-25%. Пороутворювачем слугує водна суспензія алюмінієвої пудри, для емульгування якої застосовують сульфанол, господарське мило; швидкість спучування суміші регулюють додаванням гідроксиду натрію; час тужавлення – добавкою вапна. Витрата алюмінієвої пудри на 1м³ ніздрюватого бетону залежить від його середньої густини: при значеннях середньої густини 350, 500, 600, 700, 800 кг/м³ витрата алюмінієвої пудри

становить відповідно 690, 535, 470, 360 і 300г. З метою скорочення термінів витримування виробів та автоклавної обробки у 1,5-2 рази вводять добавки моноетаноламіну, триетаноламіну, тринатрійфосфату, що інтенсифікують процес структуроутворення. Міцність ніздрюватого бетону безпосередньо залежить від його середньої густини, а також від характеру пористості, який залежить не тільки від складу суміші, а від умов теплової обробки.

Основними параметрами складу ніздрюватого бетону є відношення кремнеземистого компонента до в'язучого С і водотверде відношення В/Т, яке забезпечує задану текучість суміші. Значення даних показників при визначенні складу бетону наведені в табл. 2, складеної за експериментальними даними [6].

Таблиця 2

Відношення кремнеземистого компонента до в'язучого в
ніздрюватобетонній суміші

В'язуче	Значення С, (%) за масою, для бетону	
	автоклавного	безавтоклавного на золі-виносу
Цемент і цементно-вапняне	0,75; 1,0; 1,25; 1,5; 1,75; 2,0	0,75; 1,0; 1,25
Вапняно-шлакове	0,6; 0,8; 1,0	0,6; 0,8; 1,0
Шлаколувне	0,1; 0,15; 0,2	-

Використання золобетонів з низьким водоцементним відношенням для виробництва залізобетонних конструкцій може призвести до неповної гідратації цементу, який залишається в затверділому бетоні і частка якого зростає зі зменшенням водоцементного відношення. При певних умовах наслідком неповної гідратації цементу може з'явитися порушення структури бетону, що, в свою чергу, веде до зменшення міцності на стиск. Оптимальна кількість золи поряд зі скороченням непрогидратованого цементу в бетоні сприяє досягненню як високої ранньої міцності, так і міцності в проектному віці.

Склад ніздрюватого бетону визначаємо з урахуванням відношення кремнеземистого компоненту до в'язучого в суміші (табл. 2) на підставі водотвердого відношення В/Т, яке забезпечує задану текучість розчинової суміші (табл. 3) з урахуванням температури суміші в момент її вивантаження з форм (табл. 4).

У подальшому визначають кількість пороутворювача на заміс (коригується коефіцієнтом використання пороутворювача та зв'язаної води в матеріалі), встановлюють витрату сухих компонентів, добавок і води на пробний заміс, враховуючи не тільки властивості ніздрюватого бетону, а й умови формування – температуру спучування і час тужавлення.

Головною перешкодою на шляху використання розроблених матеріалів є нестабільність хімічного складу паливних зол, що обумовлює необхідність проведення постійного контролю за якістю вхідних продуктів і можливості

швидкого коригування технології виробництва цементу і бетону на його основі [7].

Таблиця 3

Текучість ніздрювато-бетонної суміші			
Задана середня густина бетону, кг/м ³	Текучість (діаметр розпливу), см, суміші на в'язучому		
	Цементному, вапняно-цементному, шлаколузному	Вапняному, вапняношлаковому	Високоосновному, зольному
За литвовой технології			
300	38	30	-
400	34	25	25
500	30	23	23
600	26	21	21
700	22	19	20
800	18	17	18
За вібраційної технології			
500	15	-	-
600	13	-	-
700	11	-	-
800	9	-	-

Таблиця 4

Температура ніздрювато-бетонної суміші		
Ніздрюватий бетон і в'язуче	Температура суміші, °С	
	За литвовой технології	За вібраційного формування
Газобетон:		
на цементі	45	45
на вапняно-цементному в'язучому	35	40
на вапняно-шлаковому в'язучому	40	45
Газосилікат	30	40
Пінобетон:		
на цементі	25	-
на шлаколузному в'язучому	15	-

Бетони на основі лужних цементів з використанням золи демонструють меншу чутливість до несприятливих умов тверднення у порівнянні з шлакопортландцементом ШПЦ Ш/А- 400, що робить їх перспективною системою для використання в монолітному будівництві. При використанні лужного пуцоланового цементу («зола-виносу – портландцемент – лужний компонент – добавка ПАР») забезпечується найвища міцність бетону при змінній температурі впродовж місяця ($t = +5^{\circ}\text{C}$ до $20+2^{\circ}\text{C}$), а використання лужного композиційного цементу («зола- винесення – мелений гранульований доменний шлак – портландцемент – лужний компонент – добавка ПАР») є оптимальним при бетонуванні в умовах підвищених температур ($t = +30^{\circ}\text{C}$) [8]. Економічна ефективність ніздрюватих золовмісних бетонів обґрунтована заміною піску золою, зменшенням в 1,2-

1,5 рази витрати вапна порівняно з вапняно-піщаним бетоном і скороченням приблизно в 2 рази капітальних витрат на видобування і переробку вихідної сировини. Спосіб виробництва дрібних газозолобетонних виробів полягає у подрібненні кускового вапняку і суміному помелі із золою у кульовому млині у співвідношенні вапно:зола = 5:1. Тонкість помелу вапна має складати 5000 см²/г. Алюмінієва пудра або пасти подаються у фабричній тарі для приготування алюмінієвої суспензії в цеху газозолобетону. Дозування сухих компонентів відбувається ваговими автоматичними дозаторами; шламу, води та суспензії – об'ємними у вигляді мірних баків з кранами. Суміш газозолобетону готується в змішувачі об'ємом 1,8 м³. Послідовність завантаження компонентів: шлам відходів різки; вода; зола-виносу; портландцемент; золовапнякове в'язуче, водоалюмінієва суспензія. Формування відбувається литтєвою, ударною або вібротехнологією. Конусною фрезєю знімають окрасць, різальним обладнанням проводиться поздовжньо-горизонтальна порізка масиву, поперечне січення на блоки. Порізаний масив на піддоні транспортують на пост комплектації автоклавних візків або пропарювальну камеру. Відходи різання повертаються у процес виробництва або ж після ТВО можуть використовуватись в якості утеплювача стельових перекриттів будівель і споруд. Після автоклавування або пропарювання готова продукція поступає на склад. Морозостійкість залежить від особливостей порової структури бетону. Рівномірний розподіл пор та зменшення капілярної пористості сприяє збільшенню морозостійкості. Бетони на цементному в'язучому характеризуються більшою морозостійкістю порівняно з вапном. З метою зниження водопоглинання і підвищення морозостійкості в ніздрюватій структурі повинна виконуватись умова замкненості шпарин. Цьому сприяє вібраційна технологія з можливістю отримання однорідного матеріалу, із зруйнованими крупними шпаринами, що знижують морозостійкість. Теплопровідність ніздрюватих бетонів залежить в основному від щільності та вологості і складає 0,065-0,07 Вт/(м·°C) для $\rho_0 \geq 200$ кг/м³; $\lambda = 0,21-0,26$ Вт/(м·°C) для $\rho_0 = 1000$ кг/м³. Для ніздрюватого газозолобетону характерна висока звукоізоляційна властивість. Порівняльні фізико-механічні показники автоклавних та неавтоклавних газозолобетонів наведено в табл. 5.

Для виготовлення виробів шляхом вібровакуумування процес отримання золобетонної суміші полягає в приготуванні зольного шламу в роторному змішувачі з водозольним співвідношенням 0,5, дозуванні цементу і, за необхідності, додаткової кількості води.

При цьому способі виробництва золобетону на основі такої суміші вібровакуумування дає змогу видалити залишкову воду. В результаті отримують ущільнений золобетон з високою структурною міцністю. Із золобетонної суміші 1:4 (цемент:зола) з рухомістю від ОК=2-3 см до ОК=12-14 см формували зразки вібровакуумуванням і для порівняння вібраційним способом, тривалістю 60-65 с. [9]. Отримані результати досліджень наведені в табл. 6.

Таблиця 5

Порівняльні фізико-механічні показники газозолобетонів

Показники	Газозолобетон	
	неавтоклавний	автоклавний
Клас за міцністю на стискання	B2,5/M35	B2,5/M35
Марка за середньою щільністю	D750	D600
Марка за морозостійкістю, не менше	F25	F25
Коефіцієнт теплопровідності, Вт/(м·°C), не більше	0.32	0.14
Вологість, % за масою, не більше	35	35
Маса одного блоку, кг	24	18
Розміри плити перекриття, мм	-	4200x1200x240 3200x1200x240
Розміри блоку, мм	200x300x400	188x300x588

Таблиця 6

Щільність і міцність віброущільнених і вібровакуумованих золобетонів

Вид б.с.	Віброущільнений бетон			Вібровакуумований бетон			
	В/Ц	Щільність кг/м ³	Міцність, МПа	Кількість видаленої води, л/м ³	В/Ц	Щільність кг/м ³	Міцність, МПа
1	2	3	4	5	6	7	8
2...3	1,93	1586	6,2	95	1,53	1620	11,9
5...6	2,12	1577	4,9	112	1,58	1631	13,1
8...9	2,31	1569	2,9	126	1,62	1642	14,4
11...12	2,41	1560	-	133	1,69	1635	14,2
13...14	2,52	1553	-	136	1,72	1628	13,9

З наведених даних видно, що раціональною рухливістю золобетонної суміші для вакуумування при досягненні максимальної міцності вакуумованого золобетону є ОК = 8-10 см. Віброущільнений золобетон з максимальною міцністю 9,8МПа отриманий із суміші з жорсткістю 10...15 с. Варто відзначити, що міцність вакуумзолобетону на 30-40% більше, ніж у віброущільненого бетону з жорсткої суміші.

Висновки. З вище наведених способів виробництва теплоізоляційних будівельних матеріалів з використанням золи-виносу та золи гідровидалення витікає обґрунтування перспективності напрямку залучення у виробництво газобетону даного дисперсного сировинного відходу промисловості, обсяги якого будуть і далі зростати у зв'язку зі скороченням експорту природного газу та збільшенням питомої ваги вугілля в енергетичному секторі України. Автоклавний і неавтоклавний газобетон з використанням відходів виробництва, безцементний або малоцементний (не більше 100 кг/м³) може конкурувати з таким ефективним теплоізоляційним матеріалом, як мінеральна вата, і є значно ефективнішим матеріалом для малоповерхового та каркасного будівництва житла, ніж цегла.

1. Дворкін Л. Й. Будівельні матеріали та вироби із застосуванням промислових відходів: Навч. посіб. / Л. Й. Дворкін, А. В. МIRONENKO. – Рівне : НУВГП, 2019. 298 с.

Dvorkin L. Y. Budivelni materialy ta vyroby iz zastosovuvanniam promyslovykh vidkhodiv: Navch. posib. / L. Y. Dvorkin, A. V. Myronenko. – Rivne : NUVHP, 2019. 298 s.

2. Дерев'яно В. М., Моспан В. І., Колохов В. В., Дзюбан О. В., Мальцев С. В. Основні напрямки досліджень із використання золи ТЕС у виробництві будівельних матеріалів – Український журнал будівництва та архітектури № 1 (007), 2022, ISSN 2710-0367 С. 38-44.

Derevianko V. M., Mospan V. I., Kolokhov V. V., Dziuban O. V., Maltsev S. V. Osnovni napriamky doslidzhen iz vykorystannia zoly TES u vyrobnytstvi budivelnnykh materialiv – Ukrainskyi zhurnal budivnytstva ta arkhitektury № 1 (007), 2022, ISSN 2710-0367 S. 38-44.

3. Malhotra, V. M. Innovative Applications of Superplasticizers in Concrete – A Review [Текст] / V. M. Malhotra // Mario Collepardi Symp. on Advances in Concrete Science and Technology, 8 October 1997: Proc. / Ed. P. K. Mehta. E/Rome (Italy): [s. n.], 1997. P. 271–314.

4. Ковальчук О.Ю. Бетони загальнобудівельного призначення на основі золотужного цементу / О.Ю. Ковальчук, В.В. Грабовчак, М.О. Попович // Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури. Одеса, 2010. Вип. 39. С. 365.

Kovalchuk O.Iu. Betony zahalnobudivelnnoho pryznachennia na osnovi zololuzhnoho tsementu / O.Iu. Kovalchuk, V.V. Hrabovchak, M.O. Popovych // Visnyk Odeskoi derzhavnoi akademii budivnytstva ta arkhitektury. Odessa, 2010. Vyp. 39. S. 365.

5. Шейніч Л.О., Приймаченко А.С. Моделювання процесу корозії високоміцних бетонів у сульфатному середовищі. - Східно-Європейський журнал передових технологій. - Харків. – 2016. Вип. № 2(6) (80).

Sheinich L.O., Prymachenko A.S. Modeliuvannia protsesu korozii vysokomitsnykh betoniv u sulfatnomu seredovyshchi. - Skhidno-Yevropeyskyi zhurnal передovyykh tekhnolohii. - Kharkiv. – 2016. Vyp. № 2(6) (80).

6. Гоц В. І. Бетони і будівельні розчини: Посібник. – К.: КНУБА, 2003. 472 с.

Hots V. I. Betony i budivelni rozchyny: Posibnyk. – K.: KNUBA, 2003. 472 s.

7. Омелчук В.П., Азнаурян І.О., Ковальчук О.Ю. Застосування промислових відходів для виробництва нових ефективних цементів і низдрюватих бетонів на їх основі – Вісник НТУУ «КПІ». Серія «Гірництво». – 2009. – Вип. 18.

Omelchuk V.P., Aznaurian I.O., Kovalchuk O.Iu. Zastosuvannia promyslovykh vidkhodiv dlia vyrobnytstva novykh efektyvnykh tsementiv i nizdriuvatykh betoniv na yikh osnovi – Visnyk NTUU «KPI». Serii «Hirnytstvo». – 2009. – Vyp. 18.

8. Технологічні особливості отримання бетонів на основі лужних золівмісних цементів / П. В. Кривенко, В. В. Грабовчак // Будівельні матеріали та вироби. - 2013. - № 4. С. 24-27.

Tekhnolohichni osoblyvosti otrymannia betoniv na osnovi luzhnykh zolovmisnykh tsementiv / P. V. Kryvenko, V. V. Hrabovchak // Budivelni materialy ta vyroby. - 2013. - № 4. S. 24-27.

9. Сторожук Н. А., Павленко Т. М., Аббасова А. Р. Особливості золи теплових електростанцій як заповнювача для бетонів. Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту. 2017. Вип. № 5 (71). С. 149-157.

Storozhuk N. A., Pavlenko T. M., Abbasova A. R. Osoblyvosti zoly teplovykh elektrostantsii yak zapovniuvacha dlia betoniv. Nauka ta prohres transportu. Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu. 2017. Vyp. № 5 (71). S. 149-157.

10. ДСТУ Б В. 2.7-25:2011. Бетони важкі лужні. Технічні умови. [Чинний від 2012-01-01]. К.: Мінрегіонбуд України, 2011. – 12 с. (Національний стандарт України).

DSTU B V. 2.7-25:2011. Betony vazhki luzhni. Tekhnichni umovy. [Chynnyi vid 2012-01-01]. K.: Minrehionbud Ukrainy, 2011. – 12 s. (Natsionalnyi standart Ukrainy).