

УДК 691.5, 961.333

І.М. Павлюк, КНУБА

ДИСПЕРСНОАРМОВАНІ ДРІБНОЗЕРНИСТІ БЕТОНИ З ПОКРАЩЕНИМИ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИМИ ВЛАСТИВОСТЯМИ НА ОСНОВІ МОДИФІКОВАНИХ ЗОЛОЦЕМЕНТНИХ В'ЯЖУЧИХ РЕЧОВИН

АНОТАЦІЯ

Розроблено дисперсноармовані дрібнозернисті бетони на основі модифікованих золоцементних в'язучих речовин, що містять у своєму складі не менше 55 мас.% золи-винесення. Досліджено експлуатаційні та технологічні властивості розроблених в'язучих речовин та бетонів на їх основі.

Ключові слова: дрібнозернистий бетон, зола, модифіковані золоцементні в'язучі речовини.

Останній часом у будівництво активно впроваджуються багатокомпонентні дрібнозернисті бетони. Раніше їх використання стримувалось деякими особливостями структури та властивостей. Наприклад, застосування як заповнювача нефракціонованого піску призводило до значного збільшення пустотності та до погіршення фізико-механічних властивостей отриманих бетонів. При виготовленні суміші заданої рухливості та однорідної структури витрати води та цементу збільшувались на 15...25% порівняно із бетоном на крупних заповнювачах. Це в свою чергу призводило до зростання усадки. В сучасних умовах з'явилися нові техніко-технологічні можливості, які дозволили звести до мінімуму підвищення витрат води та цементу у дрібнозернистих сумішах та значно знизити усадку матеріалу, отримуючи навіть безусадкові бетони [1].

До переваг дрібнозернистої структури відносять: можливість створення тонкодисперсної однорідної високоякісної структури без крупних зерен, високу тискотропію та здатність трансформації бетонної суміші, високу технологічність — можливість формування конструкцій і виробів способом лиття, екструзії, пресування, штампування, набризку тощо, можливість широкого застосування сухих сумішей із гарантією високої якості.

Розвиток сучасного суспільства потребує застосування нових ефективних будівельних ма-

теріалів, виготовлення яких передбачає мінімальну витрату природних та енергетичних ресурсів, зокрема і дрібнозернистих бетонів. Собівартість дрібнозернистого бетону перш за все визначається видом цементу та його кількістю у складі матеріалу. Зниження вартості дрібнозернистого бетону та конструкцій на його основі можливе за рахунок використання багатокомпонентних цементів. У світі постійно збільшується об'єм виготовлення та використання зазначених цементів, які містять у своєму складі відходи паливно-енергетичного комплексу, що представлені золами ТЕС [2-4]. Однак зростання кількості золи у складі в'язучих призводить до зниження міцності, морозостійкості, стираності та інших показників якості в'язучих речовин та бетонів на їх основі, тому використання таких відходів обмежується 10...55 мас.% [5]. Підвищити вміст золи у складі в'язучих речовин та покращити їхні фізико-механічні властивості можливо за рахунок наповнення матриці в'язучої системи мінеральними добавками різної природи і фракційного складу [6]. При цьому не тільки покращуються міцнісні і деформаційні характеристики, але є можливість направленої формування мікро- і макроструктури цементного каменю, а також суттєво розширюється сировинна база будівельного комплексу за рахунок використання матеріалів, що є в Україні. Також відомо, що складовою забезпечення та покращення властивостей дрібнозернистого бетону є використання хімічних модифікуючих добавок (зокрема пластифікаторів), вибірковість дії яких по відношенню до цементів із мінеральними добавками обумовлює актуальність висвітлення в даній роботі можливостей оптимізації складу модифікованих золоцементних композицій та дрібнозернистих бетонів за критеріями міцності, морозо-, атмосферо- та корозійної стійкості.

Авторами розроблені склади дрібнозернистих бетонів на основі модифікованих золоцементних композицій, що містять у своєму складі максимальну кількість золи та не відрізняються за своїми технологічними характеристиками від матеріалів, отриманих на основі чистого портландцементу і можуть бути виготовлені за технологією сухих будівельних сумішей.

Були вирішені наступні задачі:

- розробка та оптимізація складів в'язучих речовин, модифікованих сульфатно-карбонатними добавками;

- розробка та оптимізація складів дрібнозернистого бетону, отриманого на основі модифікованих золоцементних композицій;

- досліджено фізико-механічні та спеціальні властивості дрібнозернистого бетону, отриманого за технологією сухих будівельних сумішей на основі модифікованих золоцементних композицій.

Для виготовлення золоцементної в'язучої речовини використовували: портландцемент ПЦ-І М500 ВАТ "Волиньцемент", золу – винесення Ладжинської ТЕС, гіпсовий ангідрид, отриманий шляхом випалювання гіпсового каменю Артемівського родовища та крейду Білгородського родовища. Для покращення легкоукладальності, підвищення пластичності суміші, зменшення водопотреби, а також покращення міцнісних показників до складу в'язучої речовини вводили сульфатвмісний суперпластифікатор С-3 в кількості 0, 75 мас.%. Для приготування дрібнозернистого бетону на основі розробленої в'язучої речовини застосовували фракціонований дніпровський пісок та гранвідсів Рокитнянського родовища. Як пластифікуючі добавки використовували пластифікатори на основі полікарбоксилатів (торгових марок "Melflux" і "Sika") та на основі сульфатвмісних нафталінформальдегідних поліконденсатів (торгової марки С-3).

Була вивчена доцільність модифікування золоцементних композицій сульфатними та карбонатними добавками за критеріями міцності цементного каменю при витраті портландцементу в межах 20...40 мас.%.

Підтверджено, що при гідратації золоцементних в'язучих систем, активованих добавкою випаленого гіпсового каменю, найбільший ефект, пов'язаний зі зростанням міцності на всіх етапах твердіння, досягається при використанні добавки в кількості 10 мас.%. Модифікація золоцементних композицій сульфатною добавкою обумовлює зростання міцності штучного каменю у віці: 2 дів на 14,24; 25,0 та 35,47%; 7 дів на 83,18; 43,6 та 40,6%; 28 дів на 75,5; 41,6 та 31,5% відповідно при використанні у складі в'язучої композиції цементу 20; 30 та 40 мас.%. Активація золоцементних в'язучих систем карбонатною добавкою сприяє максимальному зростанню міцності при використанні крейди у кількості 6 мас.% при витраті 20...30 мас.% портландцементу. Модифікація золоцементних композицій карбонатною складовою обумовлює зростання міцності штучного каменю у віці: 2 дів на 18,6...20%; 7 дів на 105,12...45,3%; 28

дів на 86,6...29,99% відповідно. При витраті портландцементу 40мас.%, оптимальна кількість карбонатної добавки становить 9 мас.% і обумовлює зростання міцності штучного каменю у віці: 2 дів на 33,3%; 7 дів на 56,63%; 28 дів на 43,5%.

Доведено позитивний вплив комплексної модифікації золоцементної композиції сульфатними та карбонатними добавками, вивчено фазовий склад новоутворень штучного каменю. Встановлено, що при одночасній модифікації золоцементної композиції синтез міцності забезпечується за рахунок утворення у складі продуктів гідратації на ранніх стадіях твердіння еtringіту та його аналогів із вмістом карбонатної та залізистої складової. Зростання міцності після 28 дів твердіння забезпечується синтезом у складі продуктів гідратації низькоосновних гідросилікатів кальцію та твердих розчинів на основі еtringіту. У продуктах твердіння штучного каменю на пізніх етапах гідратації присутні також новоутворення типу скаутиту, епістільбіту та сполуки перемінного складу, подібні до гідрогранатів.

Кінетику нарощування міцності модифікованої золоцементної композиції оптимального складу та складів порівняння наведено на рис.1.

Аналіз графічних залежностей зміни міцності модифікованої золоцементної суміші свідчить, що комплексне введення сульфату і карбонату кальцію в досліджувану систему дозволяє отримувати композиції, які характеризуються високою швидкістю структуроутворення на ранніх етапах гідратації та практично не відрізняються за показниками міцності від композицій на основі чистого портландцементу. Стабільність нарощування міцності спостерігається і на пізніх етапах твердіння, причому міцність композицій знаходиться в межах 70...80 МПа (рис. 1).

Наявність у складі продуктів гідратації новоутворень гідросульфоалюмінатного типу та присутність в його складі активних мінеральних добавок з одного боку, а з іншого - контакт цементного каменю з навколишнім середовищем може викликати появу у твердіючих системах небезпечних сполук (типу таумаситу), синтез яких призведе до виникнення напружень у структурі бетону та його руйнування.

Була також досліджена стабільність твердих розчинів на основі еtringіту та можливість утворення таумаситу при гідратації модифікованих золоцементних композицій. Для цього вивчали

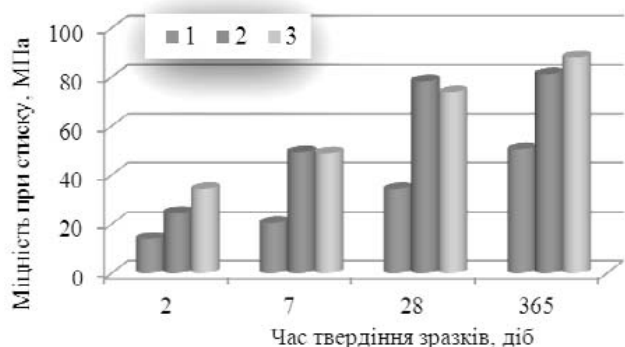


Рис. 1. Кінетика нарощування міцності цементного каменю на основі зола-цементних композицій, що містили 30 мас.% портландцементу та 70 мас.% золи (1), модифікованої композиції з вмістом 30 мас.% портландцементу, 56 мас.% золи, 8 мас.% сульфатної добавки та 6 мас.% карбонатної добавки (2) та складу порівняння на основі бездобавочного портландцементу (3)

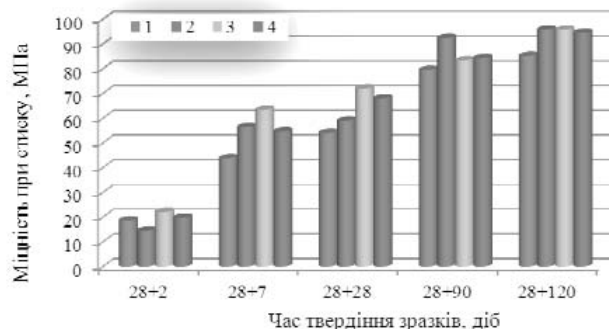


Рис. 2. Кінетика нарощування міцності зразків на основі чистого портландцементу (1) та золацементних композицій, що містять 30 мас.% портландцементу, 6 мас.% крейди і 8 мас.% ангідриту (2) та з добавкою мікрокремнезему у кількості 3 мас.% (3) і 5 мас.% (4) після 28 діб тверднення за температури +3...5 °С та наступного витримування за температури 20±2°С протягом 2, 7, 28, 90 та 120 діб

вплив високодисперсних кремнеземистих добавок на фазовий склад продуктів гідратації модифікованих золацементних композицій при їх твердінні в різних температурних умовах (від +3°С до +20°С). Отримані результати свідчать про відсутність таумаситу в складі продуктів гідратації, а фазовий склад новоутворень представлений твердими розчинами. Кінетику нарощування міцності зразків штучного каменю на основі модифікованих золацементних композицій з добавкою мікрокремнезему наведено на рис.2.

Аналіз графічних залежностей зміни міцності (рис. 2) свідчить про те, що зниження температури тверднення негативно впливає на ранній набір міцності штучного каменю, отриманого на основі розробленої в'язучої речовини, однак при нас-

танні сприятливих умов прискорюються всі процеси кристалізації і зразки інтенсивно набирають міцність.

В подальшому підібрано оптимальний склад дрібнозернистого бетону на основі модифікованих золацементних в'язучих речовин, що відповідає складу сухих будівельних сумішей (ДСТУ П Б В.2.7-126). Випробування проводили на зразках-балочках розміром 4x4x16 см. Зразки готували із суміші необхідної консистенції (осідання стандартного конуса 8...9 см). Склад в'язучих речовин та дрібнозернистих бетонів наведено у табл. 1.

При введенні пластифікатора на основі полікарбоксилатів торгової марки "Melflux" приріст міцності на ранніх етапах гідратації (3...7 доба) становить — 3,5...52,4%, а у проектному віці досягає лише 8,8...70,2%. Застосування пластифікуючих добавок, що містять у своєму складі сульфатні групи, дозволяє підвищити міцність на 3,5...129% у віці 3...7 діб та на 20,1...128,8% через 28 діб твердіння.

Міцність розчину на основі золацементної композиції (склад №8 табл.1), модифікованої добавкою "Sika" у кількості 0,5 мас.% у проектному віці становить 24,6 МПа, тоді як міцність базового складу без пластифікуючих добавок складає 7,5 МПа. Отримані результати свідчать про позитив-

Таблиця 1. Склад в'язучих речовин та дрібнозернистих бетонів на основі модифікованої золацементної в'язучої речовини

№ складу	Витрата компонентів, мас.%									
	портландцемент	зола-виносення	выпалений гіпс	крейда	заповнювач			суперпластифікатори		
					кварцовий пісок		гранвідсів 0,63-2,0	Melflux	C-3	Sika
					0-0,5	0,5-1,2				
1	20	11	-	-	28,4	25,6	15	-	-	-
2	10	19,2	1,2	0,6	28,4	25,6	15	-	-	-
3	10	19,2	1,2	0,6	28,4	25,6	15	0,1	-	-
4	10	19,2	1,2	0,6	28,4	25,6	15	0,5	-	-
5	10	19,2	1,2	0,6	28,4	25,6	15	-	0,4	-
6	10	19,2	1,2	0,6	28,4	25,6	15	-	0,8	-
7	10	19,2	1,2	0,6	28,4	25,6	15	-	-	0,1
8	10	19,2	1,2	0,6	28,4	25,6	15	-	-	0,5

ний вплив пластифікуючих добавок на приріст міцності штучного каменю, отриманого на основі розроблених в'язучих речовин. Приріст міцності бетонів, модифікованих пластифікуючими добавками, можна пояснити за рахунок утворення більш щільної структури цементного каменю та прискореного синтезу кристалогідратних новоутворень у стиснених умовах порівняно з бездобавочними системами [7].

Отже, оптимальним за критеріями достатньої міцності у проектному віці серед розроблених бетонів можна вважати склад №8 (табл. 1).

Для покращення експлуатаційних властивостей розроблених дрібнозернистих бетонів вивчено вплив поліпропіленової фібри на кінетику нарощування міцності штучного каменю на основі композиційного цементу, модифікованого добавкою полікарбонатного типу торгової марки "Sika". Встановлено, що максимальної міцності при стиску (27,0 МПа) та згині (5,1 МПа) у проектному віці досягають дисперсноармовані дрібнозернисті бетони, модифіковані фіброю у кількості 0,14 мас.% з довжиною волокон 12 мм, що забезпечує отримання бетонів, пористість яких не перевищує 5%, а водопоглинання — 4 мас.%.

Вивчено довговічність розроблених складів бетонів шляхом дослідження їх кінетики набору міцності (табл.2), зносо-, морозо-, атмосферо- та корозійної стійкості. Встановлено, що введення сульфатно-карбонатної добавки до складу золоцементних систем сприяє більш рівномірному набору міцності бетонів на всіх етапах тверднення. Приріст міцності зразків модифікованого бетону становить: у віці 7 діб — 105,88%, у віці 28 діб — 141,17% та у віці 90 діб — 117,53%, значення міцності при стиску — відповідно 8,05 МПа, 24,6 МПа та 33,5 МПа.

Розроблені дрібнозернисті бетони на основі модифікованих золовмісних в'язучих речовин відрізняються більш щільною та однорідною структурою штучного каменю, про що свідчить зниження показників стираності бетонів на основі модифікованих систем на 50% та на 54,8% для дисперсноармованого бетону порівняно з бездобавочними композиціями відповідно. Використання дисперсного армування дозволяє на 22,2% підвищити

Таблиця 2. Кінетика зміни міцності розроблених складів дрібнозернистих бетонів на основі модифікованих золоцементних в'язучих речовин

Витрата компонентів на 1т суміші, мас.%						Міцність на $\frac{\text{зміц}}{\text{стиск}}$, МПа, після твердіння, діб				
портланд-цемент	зола	сульфатна добавка	карбонатна добавка	заповнювач	фібра (іонал 100%)	3	7	28	90	365
20	11	-	-	69	-	$\frac{3,52}{13,86}$	$\frac{4,62}{22,6}$	$\frac{5,12}{33,4}$	$\frac{5,62}{36,4}$	$\frac{6,62}{38,6}$
10	21	-	-	69	-	$\frac{0,31}{2,44}$	$\frac{1,24}{3,91}$	$\frac{2,69}{10,2}$	$\frac{3,62}{15,4}$	$\frac{3,82}{18,4}$
10	19,2	1,2	0,6	69	-	$\frac{1,0}{5,53}$	$\frac{1,79}{8,05}$	$\frac{4,51}{24,6}$	$\frac{5,12}{33,5}$	$\frac{5,62}{43,4}$
10	19,2	1,2	0,6	69	0,14	$\frac{3,6}{10,4}$	$\frac{4,35}{17,69}$	$\frac{5,1}{27,0}$	$\frac{6,62}{45,4}$	$\frac{6,5}{46,2}$

Примітка. Усі склади модифіковані пластифікатором торгової марки "Sika" у кількості 0,5% від маси в'язучої речовини

здатність розробленого бетону до стираності, тоді як його відсутність — лише на 13,8% порівняно із дрібнозернистими бетонами на основі портландцементу.

Після 100 циклів випробування на морозостійкість зразки бетону на основі золоцементних композицій, модифікованих сульфатно-карбонатними добавками, підвищують міцність на 16...33%. Це свідчить про продовження процесів гідратації в'язучої речовини та можливість отримання бетонів із більш високою морозостійкістю (F200 і вище).

У процесі дослідження атмосферостійкості розроблених складів на основі модифікованих в'язучих речовин встановлено стабільний приріст міцності на 13...15% після 350 циклів наперемінного зволоження та висушування зразків дрібнозернистого бетону, що свідчить про продовження процесів структуроутворення у штучному камені та дозволяє прогнозувати високі експлуатаційні властивості розроблених матеріалів.

Для реалізації технології комплексної переробки золи з метою отримання композиційних матеріалів із підвищеними експлуатаційними характеристиками на основі технологій, розроблених в КНУБА та ДНДІВМ, ТОВ "АЛІТ-БУД" було виготовлено партію дрібнозернистого дисперсноармованого бетону за технологією сухих будівельних сумішей на основі розробленої золоцементної в'язучої композиції, модифікованої сульфатними

Таблиця 3. Витрата компонентів на 1т сухої суміші для отримання дрібнозернистого бетону, придатного для виготовлення стяжок Ц.І.СТЗ згідно з ДСТУ П Б В.2.7-126

Компоненти	Витрата вихідних компонентів на 1 т дрібнозернистого бетону (т) на основі	
	портландцементу	модифікованої зола-цементної композиції
Портландцемент ПЦ-І М500	0,27	0,081
Крейда ММС-1	-	0,00162
Гіпсовий ангідрид	-	0,00216
Зола-винесення	0,15	0,31
Пісок	0,327	0,327
Гранвідсів	0,25	0,25
Суперпластифікатор	0,001	0,001
Водоутримуюча добавка	0,001	0,001
Піногасник	0,001	0,001
Поліпропіленова фібра	-	0,6

та карбонатними добавками, яка містила у своєму складі: 58 мас.% золи-винесення, 30% портландцементу, 6% карбонату кальцію (крейда) та 6 мас.% ангідриду кальцію. Дрібнозернистий дисперсноармований бетон готували на технологічній лінії з виготовлення сухих будівельних сумішей шляхом сумісного перемішування вихідних компонентів у змішувачі типу СМС-1. Фібру до змішувача подавали вручну, оскільки на лінії не передбачено обладнання для її дозування і подавання в автоматичному режимі. Витрату компонентів, необхідних для виготовлення сухої суміші дрібнозернистого бетону, наведено у табл. 3.

Після виготовлення дрібнозернистого бетону для вивчення його експлуатаційних властивостей та можливості застосування при влаштуванні стяжок на основі запропонованого матеріалу було виготовлено серію зразків-балочок розміром 4x4x16 см, що зберігались за температури +18°C і вологості 55% та проведено випробування їх експлуатаційних властивостей. Результати досліджень представлені в табл. 4.

Проведені дослідження технологічних та експлуатаційних характеристик запропонованих дрібнозернистих бетонів для влаштування підлог підтверджують ефективність заміни портландцементу на композиційний цемент. Застосування розробленої в'язучої речовини у складі дрібнозернистого бетону дозволяє зменшити витрату портландцементу, не погіршуючи властивостей, покращити адгезію, легкоукладальність та підвищити такі фізико-механічні характеристики як міцність, а також зменшити водопоглинання і усадку.

Висновки

Розроблено та оптимізовано склад золацементної в'язучої речовини, модифікованої сульфатно-карбонатною добавкою в присутності скперпластифікатора. Встановлено фазовий склад новоутворень цементного каменю, що представлений пере-

Таблиця 4. Порівняння експлуатаційних характеристик дрібнозернистого бетону для стяжок на основі портландцементу (базовий варіант) та на основі золацементної композиції, модифікованої сульфатно-карбонатними добавками

Найменування	Вимоги ДСТУ БВ.2.7-126			Склади дрібнозернистого бетону на основі:	
				портландцементу (склад порівняння)	модифікованої золацементної композиції
Марка стяжки	СТ1	СТ2	СТ3		
Рухливість, см	не менше 8			8...9	8...9
Водоутримуюча здатність, %	не менше 95			95	100
Термін придатності, хв	не менше 60			120	120
Міцність при стиску, МПа: - 3 діб - 28 діб	5 15	7 25	10 35	15,0 36,8	12,53 34,6
Міцність при згині, МПа: - 3 діб - 28 діб	2 3,5	2,5 4,5	3,0 6,0	2,5 5,5	3,8 6,8
Адгезія через 28 діб, МПа	не менше 0,5			0,5...0,6	0,6...0,7
Усадка, мм	не менше 8			1,0	0,8
Морозостійкість, циклів	-	-	50	75	100

важно твердими розчинами на основі гідросульфаталюмініатів та гідросилікатів кальцію.

Досліджено особливості структуроутворення розроблених в'язучих композицій у присутності мікрокремнезему при різних температурах навколишнього середовища та встановлено, що його наявність не викликає синтезу у складі продуктів гідратації таумаситу. Фазовий склад новоутворень представлений в основному твердими розчинами на основі етрингіту та сполуками, подібними до скаутиту, епістільбіту та гідрогранатів.

Застосування розробленої в'язучої речовини дозволить утилізувати у складі дрібнозернистого бетону відходи паливно-енергетичної промисловості з одного боку, а з іншого - скоротить викиди вуглекислого газу в атмосферу за рахунок зниження витрат портландцементного клінкеру у складі в'язучих речовин.

Розроблені склади дрібнозернистих бетонів за своїми експлуатаційними характеристиками мало відрізняються від властивостей бетонів на основі чистого портландцементу. Тому їх доцільно використовувати при влаштуванні підлог за технологією виробництва сухих будівельних сумішей із максимальним вмістом відходів паливно-енергетичної промисловості, що дозволить заощаджувати матеріально-енергетичні ресурси, в тому числі знизити витрати портландцементу до 20..40%, а використання таких сумішей у народному господарстві сприятиме покращенню екологічної ситуації.

Прямий економічний ефект, отриманий при виготовленні (в умовах ТОВ "АЛІТ-БУД") та використанні 1 т сухої суміші дрібнозернистого бетону, що використовується для влаштування стяжок підлог на основі золоцементної в'язучої речовини, модифікованої сульфатно-карбонатними добавками, складає приблизно 110 грн.

ЛІТЕРАТУРА

1. Ю.М. Баженов *Многокомпонентные мелкозернистые бетоны. Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века №10(33), 2001.*
2. Кривенко П.В. *Прогнозная оценка долговечности цементного камня // Строительные материалы и изделия, 2003. — №5. — С. 13-15.*

3. Shi C. *Alkali — activated cements and concretes / C. Shi, P. Krivenko, D. Roy // Taylor & Francis, London and New York, 2006. — 376 s.*

4. *Cement: a question of responsible use: Proceeding of the Intern. Confer. Held at the University of Dundee ["Cement combination for durable concrete"], (Scotland, 7.07.2005) / R.K. Dhir. — Scotland, Thomas Telford, UK. — P. 1-12.*

5. *Цементи загальнобудівельного призначення. Технічні умови. ДСТУ Б В.2.7-46-96. — [чинний від 1997-01-01]. -К.: Держкоммістобудування України, 1997. — 15 с. — (Національний стандарт України).*

6. Кудьяков А.И., Фниканова Л.А., Копаница Н.О., Гевасимов А.В. *Влияние зернового состава и вида наполнителей на свойства строительных растворов // Строит. материалы, 2000. № 11. С. 28.*

7. Пушкарьова К.К., Гончар О.А., Павлюк В.В. Павлюк І.М. *Оцінка впливу пластифікуючих добавок на технічні характеристики золовмісних композиційних цементів та бетонів на їх основі. Вісник Національного університету водного господарства та природокористування. Рівне, 2004. — Вип.4 (28), част. 2. — С.155-161.*

АННОТАЦІЯ

Разработан дисперсноармированный мелкозернистый бетон на основе модифицированных золоцементных вяжущих веществ, содержащих в своем составе не менее 55 масс.% золы-уноса. Изучены эксплуатационные и технологические свойства разработанных вяжущих веществ и бетонов на их основе.

Ключевые слова: мелкозернистый бетон, зола, модифицированные золоцементные вяжущие вещества.

ANNOTATION

Dispersion reinforced fine-grained concrete based on the modified fly ash-cement binding substances was designed with fly-ash content not less than 55 % by mass. The operational and technological properties of developed binders and concretes on their base were investigated.

Keywords: fine-grained concrete, fly-ash, modified fly ash-cement binders.