resistance in time to atmospheric influence and exploitation conditions.

Key words: mineral paints, alkali activated cements, whiteness degree.

Кривенко П.В., Ковальчук А.Ю. УПРАВЛЕНИЕ ДЕКОРАТИВНЫМИ СВОЙСТВАМИ ЩЕЛОЧНЫХ ЦЕМЕНТОВ. Статья посвящена исследованиям относительно разработки декоративных минеральных красок на основе щелочных цементов. Показана возможность повышения степени белизны таких

цементов за счет использования неорганических добавок типа каолина, мраморной муки и гидрата титана. Установлено, что наибольшее влияние на показатели белизны систем имеет содержание соединений железа в составе исходного сырья (доменного гранулированного шлака). Эксплуатационные свойства полученных красок показывают высокую стойкость во времени к атмосферному влиянию и условиям эксплуатации.

Ключевые слова: минеральные краски, щелочные цементы, степень белизны.

DOI: 10.29295/2311-7257-2019-96-2-285-290

УДК 699.8

Кабусь О.В., Буцька Л.М., Латорець К.В., Гуркаленко В.А.

Харківський національний університет будівництва та архітектури

(вул. Сумська, 40, Харків, 61002, Україна; e-mail: calorimetry_centra@ukr.net, nutter142@gmail.com, latores.ev@gmail.com, vitanet@i.ua; orcid.org/0000-0002-2940-0513; orcid.org/0000-0003-1496-7004; orcid.org/0000-0002-3049-2531)

ДОСЛІДЖЕННЯ СКЛАДІВ САМОУЩІЛЬНЮЮЧИХ БЕТОНІВ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ МОСТОВИХ БАЛОК

Розглянута можливість оптимізації технології виробництва мостових залізобетонних балок за рахунок застосування високотехнологічного самоущільнюючого бетону з використанням місцевої сировини. В роботі проаналізовано сучасний стан технології виробництва мостових залізобетонних балок в Україні та світі, визначено основні недоліки при їх виробництві. Для їх усунення запропоновано технологію виробництва мостових балок з застосуванням експериментальних складів самоущільнюючого бетону, які містять комплексну органо-мінеральну добавку на основі полікарбоксилатного суперпластифікатора, повітрявтягуючої добавки і меленої крейди. Реологічні та фізико-механічні властивості розроблених СУБ відповідають вимогам до сумішей для виготовлення мостових залізобетонних балок з густим армуванням: розплив сумішей – 66-77 см (клас SF2); збереження розпливу – не менше 30 хв.; технологічна в'язкість – 6,2-8,1 с (клас VF1); проходимість – 0,86-0,89 (клас PL2); візуальне розшарування та втягнення крупних бульбашок повітря – відсутні; міцність бетону на стиск – 460-540 кгс/см² (клас B35-B40).

Ключові слова: самоущільнюючі бетони, густе армування, полікарбоксилатний суперпластифікатор, мелена крейда, мостові балки, довговічність.

Вступ. Самоущільнюючі бетони (SCC) характеризуються здатністю щільно заповнювати форми або опалубку, а також самотужки відділяти повітря під власною вагою без сегрегації складових частин. Такі бетони знайшли застосування як високоміцні бетони в продукції напружених резервуарів на рідини під час будівництва мостів і тунелів; наливні СУБ для виготовлення великих масивів, під час бетонування збірних резервуарів на очисних спорудах, для збірного залізобетону та монолітного будівництва.

Для сучасних високоміцних бетонів характерні такі вимоги: висока легкоукладальність бетонної суміші (принаймні 60 хв), висока міцність на стиск (через 28 діб щонайменше 60 МПа), висока морозостійкість та корозійна стійкість, висока довговічність та низька здатність до стирання. Основними напрямками використання високоміцних бетонів є: висотне будівництво (промислове, багатоповерхове, особливо несучі опори, будівництво мостів і тунелів, енергетичне будівництво, побудова оболонки ядерних реакторів), побудова бетонних доріг з підвищеною

довговічністю, продукція великогабаритних збірних конструкцій [1].

СУБ застосовують в наступних сферах будівництва [2]:

- при спорудженні гідротехнічних конструкцій;
- для виготовлення збірного залізобетону;
- при будівництві монолітних підлог;
- для посилення будівель і споруд;
- для конструкцій з якісної поверхнею, на якій не потрібна додаткова обробка;
- при зведенні конструкцій, які складаються з великої кількості арматури;
- використовується матеріал при будівництві огорож або тонких стін, коли потрібно мінімальна вага перекриттів.

Укладаючи самоущільнюючий бетон, слід враховувати деякі особливості:

- велика кількість суперпластифікаторів в розчині уповільнює схоплювання покладеної суміші;
- в процесі перевезення цементної рідини з можливістю, протягом години і більше, ефективність суперпластифікатора знижується, а значить, знижується рухливість розчину;
- при подачі розчину з особливим властивістю самостійно ущільнюватися по трубопроводу до робочої ділянки, відстань, що перевищує двісті метрів, утворюються розшарування і неоднорідне стан готового виробу;
- починаючи укладання СУБ, слід перевірити якість опалубки та наявність в ній рідини, так як навіть найменший кількість зайвої води здатне привести до розшарування і знизити властивості бетону; в процесі укладання важливо дотримуватися безперервне бетонування; бетонний розчин з можливістю самостійно ущільнюватися не потребує додаткового ущільнення.

За останні 10-15 років у світі накоплений достатній досвід застосування СУБ при виробництві мостових балок, особливо це стосується дорожнього будівництва, тому велику увагу слід приділити отриманню раціонально підібраних

сумішей з необхідними реологічними властивостями на місцевих матеріалах з подальшим використанням цих бетонів у будівництві та виготовлення залізобетонних мостових балок в умовах заводу з виробництва залізобетонних конструкцій [4,5].

Для будівництва мостів, шляхопроводів і дорожніх розв'язок широко застосовують мостові залізобетонні балки довжиною 12-33 м і більше. В Україні вони використовуються при зведенні більшості таких об'єктів, в т.ч. при будівництві доріг державного значення. Балки виготовляють із важкого бетону класів В35-В40. Для витримування високих згинальних навантажень вони армуються попередньо-напруженими канатами, сітками та великою кількістю арматурних виробів різної форми, які складаються у густоармований просторовий каркас. При укладці звичайного бетону в густоармовані форми можуть залишатись у великій кількості порожнини та раковини, які підвищують його проникність, знижують міцність та довговічність. Для усунення цієї проблеми може бути використаний самоущільнюючий бетон. Він володіє всіма якостями і властивостями класичного бетону, але забезпечує більш високий рівень ущільнення і заповнення усього об'єму виробу.

В Україні самоущільнюючий бетон для виготовлення мостових балок на даний час не застосовується, тому дослідження цього питання є актуальною задачею. Впровадження його в виробництво сприятиме підвищенню якості, довговічності та надійності мостових залізобетонних балок.

Проведення експериментальних досліджень. Матеріали. При проведенні досліджень були використані наступні матеріали:

- цемент: портландцемент з добавкою шлаку ПЦ ІІ/Б-Ш-400 (ПрАТ «Хайделберг Цемент Україна») згідно ДСТУ Б В.2.7-46:2010 [6] Будівельні матеріали. Цементи загальнобудівельного призначення. Технічні умови;
- крупний заповнювач: гранітний щебінь Фр.5-10 (ВАТ «Малокохнівський гранітний кар'єр», Полтавська обл., м. Кременчук) згідно ДСТУ Б В.2.7-75-98 [7]

Щебінь і гравій щільні природні для будівельних матеріалів, виробів, конструкцій і робіт. Технічні умови;

- дрібний заповнювач: кварцовий пісок з $M_k=1,1$ (Безлюдівський кар'єр, Харківська обл.) згідно ДСТУ Б В.2.7-32-95 [8] Пісок щільний природний для будівельних матеріалів, виробів, конструкцій і робіт. Технічні умови;
- добавки хімічні: суперпластифікатор полікарбоксилатний (СП) – Sika Visco Greate 1020; повітрявтягуюча аніоноідна ПАВ (ПВ) – SikaMix+ згідно ДСТУ Б В.2.7-171:2008 [9] Будівельні матеріали. Добавки для бетонів і будівельних розчинів. Загальні технічні умови (EN 934-2:2008, NEQ);
- мінеральна добавка: крейда мелена – ММС-2 згідно ГОСТ 12085-88 [10] Крейда природна збагачена. Технічні умови.

Дослідження властивостей СУБ здійснювалось згідно EN 206-9:2010 Concrete. Additional rules for self-compacting concrete (SCC) [11].

Визначали розплив конусу та його збереження протягом 30 хв, проходимість бетонної суміші крізь арматуру (3 стрижні) в L-образному кутовому ящику, технологічну в'язкість (с) по часу досягнення діаметра 500 мм (t_{500}) і часу витікання суміші (T_v) з V-образної воронки [3].

Наявність втягнення великих бульбашок повітря, розшарування і водовідділення оцінювали візуально. Всі інші властивості визначались згідно стандартних методів випробувань. Середня густина бетонної суміші визначалась згідно ДСТУ Б В.2.7 – 114 – 2002. Суміші бетонні.

Методи випробувань [12]. Міцність зразків бетону у віці 2, 7 і 28 діб визначали згідно ДСТУ Б В.2.7 – 214:2009. Бетони. Методи визначення міцності за контрольними зразками [13].

Для отримання бетону з заданими реологічними та міцнісними характеристиками було виготовлено 6 складів бетонів з В/Ц від 0,35 до 0,4. Концентрація СП обиралась експериментально, виходячи із досягнення розпливу суміші не менше 60 см. Для регулювання зв'язності та в'язкості бетонної суміші вводились мінеральна та повітрявтягуюча добавки. Витрата цементу, щебню і піску були обрані на рівні усереднених значень для складів самоупільнюючих бетонів.

Результати та обговорення

Витрата компонентів на 1 м^3 бетону, які були отримані в результаті пробних лабораторних замісів, наведена в табл. 1. Склад №1 та №3 були контрольними, без використання мінеральної добавки (крейди). Підвищений вміст мінеральної добавки в складі №2 пов'язаний з наявністю значного водовідділення при витраті добавки 20% від маси цементу. Збільшення добавки до 40% значно зменшило його. Витрата СП складала 1,2-1,7% від маси цементу. При В/Ц=0,4 вона складала 1,2-1,3%, а при В/Ц=0,35 – 1,4-1,7%. Повітрявтягуюча добавка додавалась в складі №5 та №6 у незначній кількості – 0,025-0,04% від маси цементу, її ефективність підсилювалась наявністю СП. Вміст втягнутого повітря в суміші збільшувався приблизно на 2-4%, зменшуючи щільність суміші до 2260 кг/м^3 .

Таблиця 1 – Експериментальні склади бетонних сумішей

№ складу	Витрата компонентів						
	Ц, кг	Щ, кг	П, кг	В, кг	МД	В/Ц	Концентрація і вид добавки
1	500	900	800	200	-	0,4	1,2%СП
2	500	850	750	200	200	0,4	1,3%СП
3	500	900	800	175	-	0,35	1,7%СП
4	500	850	750	175	100	0,35	1,4%СП
5	500	850	650	175	100	0,35	1,4% СП+0,04%ПВ
6	500	850	700	175	100	0,35	1,4% СП+0,025%ПВ

Результати випробувань бетонних сумішей і бетонів складів 1-6 наведені в табл. 2. Розпливи сумішей склали від 64 до 82 см. Великий розплив складу 2, пов'язаний з деяким передозуванням добавки СП. В усіх складах спостерігався спад розпливу суміші у часі протягом 30 хвилин, однак його можна охарактеризувати як задовільний для заводської технології бетонування залізобетонних балок.

Склад 1 з діаметром розпливу 73 (70) см, показав час досягнення діаметру 500 мм 3(3,5) с, а час витікання суміші T_v – 8,2 с, що згідно EN 206-9:2010 [11] відповідає

класам VS2 та VF1, тобто в'язкість суміші була середньою. Проходимість (H_1/H_2) дорівнювала 0,76 та не відповідала класу PL2, яка згідно вимог норми EN 206-9:2010 [11] повинна бути не менше 0,8. Крім того спостерігалось дуже високе водовідділення та вміст крупних бульбашок повітря. Введення меленої крейди (склад №2) дозволило дещо покращити реологічні характеристики суміші – проходимість склали 0,83, а розшарування зменшилось з високого до середнього рівня.

Таблиця 2 – Результати випробувань бетонних сумішей і бетонів

№ складу	Розплив, см, хв.		T500, с		T_v , с	H_1/H_2	Водовідділення / вміст бульбашок повітря	Щільність бетонної суміші, кг/м ³	Міцність бетону на стиск, кгс/см ² , діб			Клас бетону
	5	30	5	30					2	7	28	
1	73	70	3	3,5	8,2	0,76	Високе / високий	2330	121	285	446	B30
2	82	67	3,9	4,6	7,9	0,83	Середнє / високий	2360	171	374	553	B40
3	68	67	8	9	30	0,37	Середнє / високий	2360	170	377	525	B40
4	64	58	5,2	10	15	0,38	Відсутнє / низький	2400	200	400	607	B45
5	77	71	1,9	2	6,2	0,89	Відсутнє / низький	2260	150	335	460	B35
6	70	66	3	3,2	8,1	0,86	Відсутнє / низький	2320	178	379	540	B40

Зменшення В/Ц з 0,4 до 0,35 значно вплинуло на в'язкість і проходимість сумішей. Склад 3 повністю не відповідає нормативним вимогам за даними показниками, а склад №4 за показником проходимості. При цьому спостерігалось зменшення початкового розшарування в складі №3, яке після витримування суміші протягом 30 хв значно зростало. В складі №4 розшарування було повністю відсутнє, повітряні бульбашки в суміші фактично не спостерігалися.

Для покращення реологічних характеристик бетонної суміші в склад №5 було введено повітрявтягуючу добавку у кількості 0,04% від маси цементу. За рахунок залучення дрібного повітря замість 100 кг піску, значно зменшилась в'язкість суміші та збільшилась проходимість. Дана суміш відповідає класам за в'язкістю VS1 і VF1,

а за проходимістю – PL2, що цілком задовольняє поставленим у даній роботі задачам отримання самоущільнюючої суміші з високою проходимістю при наявності густого армування залізобетонних мостових балок. Однак, виходячи з того факту, що залучення 1-го % повітря в середньому зменшує міцність бетону на 3-5%, в складі 5 очікувалось зменшення міцності до 20%, тому було виготовлено склад №6 з меншою концентрацією добавки Sika Mix+. Отримана суміш характеризувалась зв'язністю та відповідала класам по в'язкості VS2 і VF1, і не зважаючи на її середній рівень, мала задовільну проходимість на рівні PL2.

Для покращення реологічних характеристик бетонної суміші в склад №5 було введено повітрявтягуючу добавку у кількості 0,04% від маси цементу. За рахунок

залучення дрібного повітря замість 100 кг піску, значно зменшилась в'язкість суміші та збільшилась проходимість. Дана суміш відповідає класам за в'язкістю VS1 і VF1, а за проходимістю – PL2, що цілком задовольняє поставленим у даній роботі задачі отримання самоущільнюючої суміші з високою проходимістю при наявності густого армування залізобетонних мостових балок. Однак, виходячи з того факту, що залучення 1-го % повітря в середньому зменшує міцність бетону на 3-5%, в складі 5 очікувалось зменшення міцності до 20%, тому було виготовлено склад №6 з меншою концентрацією добавки Sika Mix+. Отримана суміш характеризувалась зв'язністю та відповідала класам по в'язкості VS2 і VF1, і не зважаючи на її середній рівень, мала задовільну проходимість на рівні PL2.

Міцність бетону згідно проектних вимог в залежності від довжини мостових балок повинна бути не менше класів B35-B40. Отримані дані свідчать, що склади №2-6 задовольняють цим вимогам, а склад №4 з класом за міцністю B45 навіть перевищує їх.

Судячи з відношення початкової міцності до нормативної (R_2/R_{28}) за темпом наростання міцності бетон має середню швидкість твердіння. При подальшому удосконаленні складів бетону з метою прискорення часу розпалублення форм та передачі попереднього навантаження можливе застосування більш високомарочного цементу або добавок прискорювачів твердіння.

Наявність в затверділому бетоні мікропор, що утворюються в результаті втягнення повітря, являється позитивним фактором, виходячи з можливості підвищення його морозостійкості на 100-200 циклів та більше. Цей факт є немаловажним для довговічності мостів та шляхопроводів, які експлуатуються в жорстких зимових умовах.

Отримані в результаті досліджень експериментальні склади СУБ №5 та №6 відповідають вимогам EN 206-9 [11] та ДСТУ Б В.2.7-96-2000 [14] і будуть використовуватись при подальших проектних рішеннях,

технологічних та техніко-економічних розрахунках в дослідницькій роботі.

Висновки СУБ (SCC) характеризуються здатністю щільно заповнювати форми або опалубку, а також витіснити повітря під власною вагою без сегрегації складових частин. Використовуються для приготування: цемент; великий і дрібний заповнювач; мінеральні та хімічні добавки. Розтічність суміші досягається за рахунок зменшення кількості крупного заповнювача, збільшення дисперсних часток та наявності підвищеної кількості СП полікарбонксилатного типу.

Для випробування СУБ використовуються різні методи, які дозволяються характеризувати в'язкість, здатність заповнювати форму і проходити арматуру, оцінювати однорідність та схильність до розшарування. В Україні відсутні стандартні методи визначення властивостей самоущільнюючих сумішей, тому при проведенні досліджень керувалися методикою і класифікацією EN 206-9.

На основі експериментальних досліджень було отримано склади СУБ з використанням місцевої сировинної бази, які містять портландцемент, гранітний щебінь Фр.5-10, кварцовий пісок з $M_k=1,1$, полікарбонксилатний СП, мелену крейду та повітрявтягуючу добавку.

Реологічні та фізико-механічні властивості розроблених СУБ відповідають вимогам до сумішей для виготовлення мостових залізобетонних балок з густим армуванням: розплив сумішей відповідає класу SF2; збереження розпливу не менше 30 хв.; технологічна в'язкість згідно класу VF1; проходимість – відповідає класу PL2 згідно EN 206-9; міцність бетону відповідає класу B35-B40, що забезпечує необхідний проектний клас бетону для виготовлення балок.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Саницький М.А., Позняк О.Р., Кіракевич І.І., Русин Б.Г. Самоущільнювальні бетони зі швидким наростанням міцності. *Теорія і практика будівництва*: Вісник НУЛП. Львів, 2012. № 737. С.153-158.
2. Соловьянчик А.Р., Пуляев И.С. Нагорный Д.Е. Применение самоуплотняющихся

- бетонов в транспортном строительстве. *Бетон и Железобетон*. №1. 2012.
3. Болотських О. М. Самоуплотняющийся бетон и его диагностика. *Бетонный завод и его диагностика*. №1. 2007. С.36-42.
 4. Кабусь О. В., Буцька Л. М. Проблеми збереження рухливості товарної бетонної суміші під час транспортування. *Науковий вісник будівництва*. 2018. Т. 92. № 2. С. 214-219.
 5. Сопов В.П., Сінякін Д.А., Кабусь О.В., Бетони для зведення гідротехнічних споруд. *Науковий вісник будівництва*. 2018. Т. 91. № 1. С. 140-145.
 6. ДСТУ Б В.2.7-46:2010 Будівельні матеріали. Цементи загально-будівельного призначення. Технічні умови.
 7. ДСТУ Б В.2.7-75-98 Щебінь і гравій щільні природні для будівельних матеріалів, виробів, конструкцій і робіт. Технічні умови.
 8. ДСТУ Б В.2.7-32-95 Пісок щільний природний для будівельних матеріалів, виробів, конструкцій і робіт. Технічні умови.
 9. ДСТУ Б В.2.7-171:2008 Будівельні матеріали. Добавки для бетонів і будівельних розчинів. Загальні технічні умови (EN 934-2:2008, NEQ).
 10. ГОСТ 12085-88 Крейда природна збагачена. Технічні умови.
 11. EN 206-9:2010 Concrete. Additional rules for self-compacting concrete (SCC).
 12. ДСТУ Б В.2.7 – 114 – 2002 Суміші бетонні. Методи випробувань.
 13. ДСТУ Б В.2.7 – 214:2009 Бетони. Методи визначення міцності за контрольними зразками.
 14. ДСТУ Б В.2.7-96-2000 Суміші бетонні. Технічні умови.

Кабусь А.В., Буцька Л.Н., Латорець Е.В., Гуркаленко В.А. ИССЛЕДОВАНИЕ СОСТАВОВ САМОУПЛОТНЯЮЩИХСЯ БЕТОНОВ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА МОСТОВЫХ БАЛОК. Рассмотрена возможность оптимизации технологии производства мостовых железобетонных балок за счет применения высокотехнологичного самоуплотняющегося бетона с использованием местного сырья. В работе проанализировано современное состояние технологии производства мостовых железобетонных балок в Украине и мире, определены основные недостатки при их производстве. Для их устранения предложена технология производства мостовых балок с применением экспериментальных

составов самоуплотняющегося бетона, которые содержат комплексную добавку на основе поликарбоксилатного суперпластификатора, воздухововлекающей добавки и молотого мела. Реологические и физико-механические свойства разработанных самоуплотняющихся бетонов соответствуют требованиям к смесям для изготовления мостовых железобетонных балок с густым армированием: распыл смеси соответствует классу SF2; сохранение распылу не менее 30 мин.; технологическая вязкость согласно класса VF1; проходимость - соответствует классу PL2 согласно EN 206-9; прочность бетона соответствует классу B35-B40, что обеспечивает необходимый проектный класс бетона для изготовления мостовых балок.

Ключевые слова: самоуплотняющийся бетон, густое армирование, поликарбоксилатный суперпластификатор, молотый мел, мостовые балки, долговечность.

Kabus A., Butska L., Latores E., Gurkalenko V. STUDY OF COMPOSITIONS OF SELF-COMPACTING CONCRETE FOR THE PRODUCTION OF BRIDGE BEAMS. The possibility of optimizing the production technology of bridge reinforced concrete beams due to the use of high-tech self-compacting concrete using local raw materials is considered. The paper analyzes the current state of technology for the production of reinforced concrete bridge beams in Ukraine and the world, identifies the main shortcomings in their production. To eliminate them, a technology has been proposed for the production of bridge beams using experimental compositions of self-compacting concrete, which contains a complex additive based on a polycarboxylate superplasticizer, an air-entraining additive, and ground chalk. The rheological and physico-mechanical properties of the developed self-compacting concrete meet the requirements for mixtures for the manufacture of reinforced concrete bridge beams with thick reinforcement: spreading mixtures corresponds to the class SF2; preservation of spreading for at least 30 minutes; technological viscosity according to class VF1; permeability - corresponds to the class PL2 according to EN 206-9; strength of concrete corresponds to class B35-B40, which provides the necessary design class of concrete for the manufacture of bridge beams.

Keywords: self-compacting concrete, thick reinforcement, polycarboxylate superplasticizer, ground chalk, bridge beams, durability.