

УДК 691.322

**БЕТОННІ ВИРОБИ ДЛЯ РЕКОНСТРУКЦІЇ ТА
ІНЖЕНЕРНОГО БЛАГОУСТРОЮ МІСЬКИХ ТЕРИТОРІЙ**

**CONCRETE PRODUCTS FOR RECONSTRUCTION AND
ENGINEERING IMPROVEMENT OF URBAN AREAS**

**Чепурна С.М., к.т.н., ст. викладач (Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова),
Жидкова Т.В., к.т.н., доцент (Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова), Чепурна М.Є., ст. 4 курсу
ПЦБ (Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова)**

Chepurna S.M., PhD, Senior lecturer Associate (O.M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv), Zhydkova T.V., PhD, Associate Professor O.M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv), Chepurna M.E., student 4 courses Civil Engineering (O.M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv)

У статті наведені результати комплексних досліджень бетонів з добавкою високодисперсного кальциту та оксиду заліза (охри) на естетичність, довговічність та експлуатаційні властивості. Розроблено склад бетону яскравого жовтого кольору для виготовлення елементів універсального дизайну.

The article presents the results of complex studies on the concrete with the addition highly dispersed calcite and iron oxide (ocher) on the aesthetics, durability and performance properties. The most important aspect of the future product, used for engineering improvement is its color range, because bright objects attract more attention than buildings made of gray cement. To obtain different colors of concretes, various mineral and artificial colors are used - pigments. At the same time, pigments must meet certain requirements: they must be resistant in the alkaline environment of cement, resistant to the action of sunlight, have low cost and meet the requirements of ecology. Artificial pigments do not always meet these requirements. Therefore, for the study were taken mineral, in particular iron oxide (ocher) - a yellow pigment. But for

obtaining bright decorative concretes, white cement is used, which has a high cost, and the use of Portland cement for making such products gives them muted shades of primary colors and a dirty gray color.

The goal is to obtain concrete that is most appropriate in composition, structure and properties for the manufacture of products for engineering improvement, given that such products are operated in the open air, exposed to atmospheric factors (humidity variation, insolation, low temperatures, etc.). One of the ways to obtain decorative concrete with desired properties is the development of concrete mixtures on Portland cement and the use of natural carbonate additives. The authors are conducting research on the development of compositions of decorative concretes with the addition of highly dispersed chalk and color pigments. The results of the study showed that the introduction of highly dispersed calcite in an amount of 10–20% increases frost resistance, corrosion resistance, water resistance, and concretes get a bright color. The composition of concrete using iron oxide (ocher) has been developed. The concrete has a bright yellow, which can be actively used for elements of universal design.

Ключові слова: бетон, пігмент, охра, морозостійкість, корозійна стійкість, тактильні смуги.

Keywords: concrete, pigment, ocher, frost resistance, corrosion test, universal design elements.

Вступ. За останні роки різко змінилося ставлення до ландшафтної архітектури та елементів зовнішнього благоустрою. Зріс інтерес до нових конструктивних рішень, сучасних матеріалів, стилістики оформлення міського простору.

До елементів інженерного благоустрою міських територій належать покриття вулиць, площ, набережних, підпірні стінки, сходи, огорожі, вуличні меблі, альтанки, садово-паркові скульптури, альтанки, лави, фонтани, вазони, паркани, стовпи ліхтарів, а також візуальні елементи універсального дизайну – попереджувальні смуги та тактильні інформаційні покажчики.

Найважливішим аспектом майбутнього виробу, що використовується для інженерного благоустрою, є його кольорова гамма, адже яскраві об'єкти привертають більше уваги, ніж споруди, що виконані із сірого цементу. Для цього до складу бетонної суміші вводять різноманітні мінеральні барвники –

пігменти. Пігменти повинні відповідати певним вимогам: мати стійкість до лужного середовища цементу, до дії сонячного світла, дії кисню повітря, мати відносно невисоку вартість і відповідати сучасним вимогам екології [1, 2, 3].

Основним матеріалом, що використовується для виготовлення елементів інженерного благоустрою, на даний час є бетон. За оцінками фахівців, майже половина малих архітектурних форм виготовляється з цього матеріалу. Застосування бетону при створенні текстурних ефектів і складних форм значно дешевше, ніж при використанні каменю, плитки або мармуру, при цьому бетон не поступається цим матеріалам за якістю і довговічністю.

Основними вимогами до бетонних сумішей, які використовуються для виготовлення декоративних виробів, є: здатність до ущільнення у формах складної конфігурації; наявність високих показників атмосферної, корозійної стійкості та морозостійкості. На відміну від інших матеріалів бетон при додаванні пігментів може бути розфарбований в різні кольори [1, 2, 3].

Основним недоліком бетонів на портландцементі є неможливість отримання яскравих насичених кольорів: лужне середовище цементної суміші надає їм, як правило, приглушених відтінків основних кольорів чи брудно-сірого відтінку. Для уникнення цього ефекту й отримання декоративного бетону застосовують білий цемент, що значно збільшує вартість виробів. До того ж, такі бетони не відповідають необхідним вимогам щодо стирання, довговічності та декоративності, тобто опірності агресивному середовищу [5, 6].

Аналіз останніх досліджень. Одним зі шляхів отримання необхідного результату є розробка складу бетонної суміші на портландцементі з використанням природних карбонатних добавок, зокрема, крейди. Крейда – мінеральна осадова порода біогенного походження, є літологічним різновидом вапняків і складається з м'якої пухкої слабозцементованої, дрібнозернистої маси, що представлена тонким (2-5, рідше 10 мкм), органогенним і пелітоморфним кальцитом, кальцитовими уламками, а також залишками кокколів (2-5 мкм) [4]. Крейда містить катіони, які входять до складу більшості клінкерних мінералів.

Поверхня крейди у водних дисперсіях має надлишковий негативний заряд, про що свідчить невелике від'ємне значення

ζ -потенціалу, при цьому еквіпотенціальна точка крейди відповідає рН від 5 до 7 [7]. Пояснюється це тим, що поверхня крейди, за даними [8], вкрита аморфною формою кремнезему, тому механізм взаємодії крейди з клінкерними мінералами та продуктами їх гідратації суттєво відрізняється від відомих механізмів взаємодії інших карбонатних порід.

Високодисперсна крейда гідрофільна, тому її можна використовувати як добавку для отримання декоративних бетонів та виробів з них, бо крейда впливає на формування фазового складу гідросилікатів кальцію. При цьому основними продуктами гідратації є низькоосновні гідросилікати типу CSH(I) і гідрокарбосилікати кальцію, що веде до підвищення міцності й морозостійкості таких сполук [9]. В присутності кальциту може також змінюватися і характер кристалізації гідросилікатів кальцію, а саме: замість великих волокнистих кристалів утворюються дрібні з більш розвинутою поверхнею.

На даний час авторами проводяться дослідження щодо отримання складу декоративних бетонів із добавкою високодисперсної крейди та кольорових пігментів.

Однією з актуальних проблем сьогодення є створення міського середовища, дружнього для всіх, із застосуванням принципів універсального дизайну. Основним кольором, яким розрізняють люди з вадами зору, є яскравий жовтий колір. Саме тому його й застосовують для розроблення складу бетону яскравого жовтого кольору для виготовлення елементів універсального дизайну – попереджувальних смуг і тактильних інформаційних покажчиків, як засіб орієнтування й попередження про небезпеку або перешкоди при пересуванні на об'єктах соціальної, інженерно-транспортної інфраструктури, пішохідних шляхах, прилеглою до об'єктів території.

Мета досліджень. Розробка складу бетонної суміші на портландцементі з добавкою високодисперсної крейди для бетонів яскравого жовтого кольору.

Матеріали та методи дослідження. В експериментальних дослідженнях застосовувалися портландцемент марки ПЦ І-500Н, кварцовий пісок з модулем крупності $M_k=0,9$, гранітний щебінь фракції 2,5÷5 мм і 5÷10 мм, крейда Слов'янського родовища,

пігмент охра - глина, що забарвлена оксидами заліза, яка має різноманітні відтінки від світло-жовтого, золотистого до темного, червонуватого і навіть коричневого. Склад суміші був визначений з урахуванням того, що такі бетони експлуатуються на відкритому повітрі та піддаються впливу атмосферних факторів, зокрема низьким температурам, сонцю, опадам, а також умовам агресивного середовища.

Багаторічними попередніми дослідженнями було визначено високий рівень корозійної стійкості й морозостійкості цементного каменю, у складі якого присутня високодисперсна крейда, та бетонів на його основі [10, 11, 12].

Морозостійкість визначалась на зразках-кубах $100 \times 100 \times 100$ мм за прискореним методом при температурі заморожування $-18 \pm 2^\circ\text{C}$, коли середовище насичення і відтавання були вода і 5% розчин хлориду натрію (NaCl) згідно з ДСТУ Б В. 2.7–42–97.

Для підтвердження корозійної стійкості була використана експресна методика оцінювання корозійної стійкості цементного каменю в агресивному рідкому середовищі, розроблена М.І. Стрелковим [13, 14]. За основу була прийнята концентраційна діаграма чотирикомпонентної системи (Na^+ , Mg^{2+} , Cl^- , SO_4^{2-} , за якою висока агресивність цієї системи зумовлена утворенням сполук з великою молекулярною масою в результаті хімічної взаємодії між солями системи NaCl , Na_2SO_4 , MgCl_2 , MgSO_4 та продуктами гідратації цементу.

Дослідженнями було також доведено позитивний вплив високодисперсної крейди на водонепроникність бетонів [15].

Дослідження фізико-механічних властивостей проводили на зразках, модифікованих 10 %, 20 %, 30 % та 40 % високодисперсної крейди (табл. 1).

Результати дослідження. Морозостійкість бетонних зразків визначалася двома способами: 1 спосіб – при насиченні й відтаванні зразків у водному середовищі; 2 спосіб – при насиченні й відтаванні зразків у 5 відсотковому розчині хлориду натрію (NaCl). Для визначення фактичної зміни міцності зразків через задану кількість циклів заморожування й відтавання визначали коефіцієнт морозостійкості за формулою:

$$K_{мор} = \frac{f_{cm}^{мор}}{f_{cm}^{28}}, \quad (1)$$

де $f_{cm}^{мор}$ – границя міцності зразків після випробування на заморозування-відтавання, МПа;

f_{cm}^{28} – міцності зразків після 28 - добового твердіння, МПа.

Таблиця 1

Склад бетонних зразків

Марка цементу	% крейди від сумарної маси цементу	Витрати матеріалу, %		В/Ц
		Ц	К	
ПЦ I-500Н	0	100	-	0,466
	10	90	10	0,460
	20	80	20	0,462
	30	70	30	0,468
	40	60	40	0,472

*Ц- порландцемент; К- високодисперсна крейда

Марка бетону за морозостійкістю вважається забезпеченою через необхідну кількість циклів, якщо $K_{мор} \geq 0,95$ [16]. Морозостійкість оцінювалася за кількістю циклів заморозування та відтавання.

Дослідження морозостійкості показало, що марка за морозостійкості бетону, модифікованого 10 % крейди, становить $F400$, а бетонів, модифікованих 20 %, 30 %, 40 % високодисперсної крейди, становить $F300$ (табл. 2) [17].

Відповідно до експресної методики, корозійна стійкість в'язучого компонента бетону оцінювалася за ступенем впливу агресивного середовища на фракцію 140-315 мкм подрібненого цементного каменю. Зміна величини седиментаційного осаду, що складається з продуктів корозії, які утворилися у цементному камені під дією агресивних розчинів.

Дослідження показали, що введення високодисперсної крейди забезпечує високі показники корозійної стійкості.

Таблиця 2
Коефіцієнти морозостійкості

Відсоток крейди від сумарної маси цементу	Кількість циклів заморожування та відтавання							
	за 1 способом				за 2 способом			
	100	200	300	400	45	75	110	150
0	1,16	1,2	1,18	0,96	1,21	1,18	1,0	0,75
10	1,18	1,25	1,2	0,98	1,28	1,26	1,15	0,95
20	1,14	1,18	1,12	0,95	1,25	1,21	1,1	0,8
30	1,09	1,12	1,05	–	1,15	1,11	0,89	–
40	1,02	0,95	0,75	–	1,11	1,04	0,82	–

Ступінь стійкості зразків встановлювався за величиною коефіцієнта стійкості (K_c), який визначався за формулою:

$$K_c = \frac{f_{cm}^{3\text{міс}}}{f_{cm}^{28}} \quad (2)$$

де $f_{ct}^{3\text{міс}}$ – міцність на стиск зразка після занурення в агресивне середовище на протязі 3 місяців, МПа;

f_{ct}^{28} – міцності зразків після 28 - добового твердіння до занурення у агресивне середовище, МПа.

Найбільш агресивними щодо портландцементу і в'язучого, модифікованого високодисперсною крейдою, є чотирикомпонентні розчини (табл. 3).

Зразки з добавкою 10-20 % високодисперсної крейди найбільш стійкі у всіх агресивних середовищах (коефіцієнт стійкості K_c перевищує 85 %), у той час як цементний камінь без добавок у цих розчинах не дуже стійкий. Для забезпечення підвищення корозійної стійкості оптимальна кількість добавки високодисперсної крейди становить 10-20 % [18].

Необхідна кількість пігменту, що вводиться до складу бетонної суміші, визначається бажаним кольором. Збільшення кількості

пігменту до певного рівня призводить до збільшення інтенсивності фарбування. Дослідження впливу охри в кількості від 1 до 3% від маси цементу на властивості бетонної суміші з добавкою високодисперсного кальциту показали зменшення пористості зразків. Показники морозостійкості й водонепроникності не змінились.

Таблиця 3

Коефіцієнт стійкості цементного каменю

Д Ц+Д %	Початкова міцність на стиск f_{cd} , МПа	Коефіцієнт стійкості, %, в агресивному розчині (номер розчину)*					
		12	13	17	23	27	31
0	41,8	70	78	62	85	76	67
10	41,9	120	103	99	92	90	95
20	38,4	123	99	98	92	85	93
30	33,5	98	95	88	86	93	91
40	25,4	86	91	76	78	87	86

*12 - 0,4NaCl+0,2Na₂SO₄+0,27MgCl₂+0,13MgSO₄; 31 - 0,2MgCl₂+0,8MgSO₄;
27 - MgCl₂; 13 - 0,42NaCl + 0,4Na₂SO₄ +0,13MgCl₂+0,27MgSO₄;
17- 0,13NaCl+0,27Na₂SO₄+0,2MgCl₂+0,4MgSO₄;
23 - 0,1NaCl+0,1Na₂SO₄+0,4MgCl₂+0,4MgSO₄.

Висновки. Отримані результати показали, що бетонні зразки з добавкою високодисперсної крейди мають яскраво білий колір, що дозволяє використовувати її як альтернативу білому цементу. Експериментально встановлено, що добавка високодисперсної крейди в кількості 10 % від маси цементу зумовлює підвищення: морозостійкості у воді – на 26 %, у розчині NaCl – на 28 %; корозійної стійкості в розчинах хлоридів – на 18 %, сульфатів – на 32 %, магнезійних – на 39 %.

Введення до складу бетонної суміші з добавкою високодисперсної крейди жовтого пігменту охри не знижує фізико-механічні та експлуатаційні характеристики суміші. Дозування пігменту становить від 1 до 3% від маси цементу, залежно від бажаного кольору. Бетони з добавкою високодисперсної крейди й

пігменту (охри) можна рекомендувати для виготовлення виробів, що використовуються для інженерного благоустрою міських територій та елементів універсального дизайну.

1. Деденёва Е.Б. Мелкозернистые бетоны для декоративных архитектурных форм города Харьков / Е.Б. Деденева, О.И. Дёмина // Тези доповідей 69-ї наук.-техн. конф. Харківського нац. ун-ту буд-ва та арх. – Харків: ХНУБА. – 2014. – С. 10.

2. Деденева Е.Б. Применение декоративных мелкозернистых бетонов для малых архитектурных форм / Е.Б. Деденёва, О.И. Демина, А.В. Рачковская и др. // Зб. наук. праць Харківського ун-ту Повітряних Сил: мех-ка, буд-во та електропостачання. – Харків, 2016. – Вип. 3(48). – С. 108–111.

3. Устинова А.А. Модификация бетона для малых архитектурных форм / Устинова А.А., Потапова Е.Н., Коняшкина А.Ю. // Успехи в химии и химической технологии, 2017. – Т. XXXI, № 3. – С. 114-116.

4. Аршинніков Д.І. Порівняльний аналіз мінералогічного складу природної крейди родовищ України / Аршинніков Д.І., Свідерський В.А. // Technology audit and production reserves, 2015. – Vol. 4, № 4 (24). – P. 7-11.

5. Гузий С. Г. Исследования реологических и физико-механических свойств декоративных бетонов / С. Г. Гузий, С. А. Теренчук // Scientific Journal «ScienceRise» - 2016. – №9/2(26). – С. 49-54.

6. Пьячев В. А. Белый портландцемент – средство расширения архитектурного разнообразия / Пьячев В. А., Руднов В. С. // Наука и бизнес: пути развития, 2010. – № 2. – С. 1415.

7. Полуэктова В.А. Коллоидно-химические свойства водных дисперсий мела и мрамора / Полуэктова В.А., Ломаченко В.А., Столярова З.В., Ломаченко С.М. [и др.] // Фундаментальные исследования: Технические науки, 2014. – № 9. – С. 1205–1209.

8. Горькова И.М. Физико-химические исследования дисперсных осадочных пород в строительных целях / Горькова И.М. – М. : Стройиздат, 1975. – 152 с.

9. Паус К.Ф. Химия и технология мела / Паус К.Ф., Евтушенко И.С. – М. : Стройиздат, 1977. – С. 97 – 137.

10. Жидкова Т.В. Бетон с добавкой мела, как высокодисперсной составляющей его вяжущего компонента: дис. канд. техн. наук : 05.23.05 / Харьковский автомобильно-дорожный ин-т. Харьков, 1992. 147 с.

11. Чепурна С.Н. Бетон підвищеної водонепроникності та корозійної стійкості з добавкою високодисперсної крейди: дис. канд. техн. наук : 05.23.05 / Український державний університет залізничного транспорту. Харьков, 2018. 147 с.

12. А. с. 1498732, МПК: С04В 7/00 Вяжущее/ Мелешко М.А., Стрелков М. И., Попов Г.М., Спиранде Р.А. Жидкова Т. В. . – заявка (21) 4349885/23-33 (22) 24. 12.87 (46), опублик. 07.08.89. Бюл. Р 29 (71) [7]

13. Стрелков М.И. Ускоренная оценка агрессивности к бетону водных растворов с учетом многокомпонентности их состава [Текст] / М.И. Стрелков, И.Н. Заславский // Лен.ПромстройНИИпроект – 1987. – С. 4-10.

14. Об агрессивности по отношению к бетону жидких сред с учетом многокомпонентности их составов [Текст] / [М.И. Стрелков, М.Н. Заславский, В.В. Ворончук, С.Л. Дугина] // Неорганические материалы. – 1990 – Т.26, № 4. – С. 865-868.

15. Чепурная С.Н. Підвищення водонепроникності бетонів з добавкою високодисперсної крейди / СМ Чепурна, ТВ Жидкова, МС Чепурна // Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві. Збірник наукових праць. Випуск 5. Луцьк – 2016 – С. 85-91.

16. Дворкін Л.Й. Основи бетонознавства / Дворкін Л.Й., Дворкін О.Л. – Київ : Основа, 2007. – С. 42–43, 160, 165, 169, 176.

15. Чепурная С.Н. Морозостойкость бетона на основе вяжущего компонента, содержащего карбонат кальция (мел) / С.Н. Чепурная, М.С. Золотов // Науковий вісник будівництва. – Харків: ХДТУБА ХОТВ АБУ, 2009. – № 54. – С. 66-70.

16. Чепурная С.Н. Повышение коррозионной стойкости бетона транспортных сооружений добавкой высокодисперсного кальцита /С.Н. Чепурная, А.А. Плагин, О.С. Борзяк // Науковий вісник будівництва. – Харків: ХДТУБА ХОТВ АБУ, 2018. – № 1(91). - С. 292–298.