

ОСОБЛИВОСТІ ПРОЕКТУВАННЯ СКЛАДУ СУХИХ ЗОЛОВМІСНИХ БУДІВЕЛЬНИХ СУМІШЕЙ ДЛЯ МУРУВАЛЬНИХ РОЗЧИНІВ

ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СОСТАВА СУХИХ ЗОЛОСОДЕРЖАЩИХ СТРОИТЕЛЬНЫХ СМЕСЕЙ ДЛЯ КЛАДОЧНЫХ РАСТВОРОВ

FEATURES OF THE DESIGN OF ASH-CONTAINING DRYPACK MIXES FOR MASONRY MORTARS

Риженко І. М., к.т.н. (Національний університет водного господарства і природокористування, м. Рівне)

Рыженко И. Н., к.т.н. (Национальный университет водного хозяйства и природопользования, г. Ровно)

Righenko I. N., candidate of technical sciences, (National University of Water Management and Nature Resources, Rivne)

Розглянуто метод проектування складу сухих цементно-зольних сумішей для мурувальних розчинів із забезпеченням нормованих показників їхньої якості і мінімальної собівартості суміші.

Рассмотрен метод проектирования состава сухих цементно-зольных смесей для кладочных растворов с обеспечением нормированных показателей их качества и минимальной себестоимости смеси.

We consider the design method of ash-cement dry mixtures for masonry mortars with providing standardized indicators of quality and lowest cost mix.

Ключові слова:

Проектування складу, сухі будівельні суміші, зола-виносу, мурувальні розчини.

Проектирование состава, сухие строительные смеси, зола-унос, кладочные растворы.

Design composition, drypack mixes, fly ash, masonry mortars.

Технологічний процес кам'яної кладки - один з найбільш поширених і трудомістких у будівельному виробництві. Зменшити трудозатрати і поліпшити якість мурувальних робіт можна шляхом використання сухих будівельних сумішей (СБС) для приготування мурувальних розчинів. До

складу таких СБС доцільно вводити золу виносу теплових електростанцій [1], що дозволяє не тільки зменшити вартість розчинів, але і поліпшити їхні будівельно-технічні властивості, зокрема збільшити пластичність, зменшити водовідділення і висолоутворення. До складу золівмісних мурувальних сумішей крім цементу, золи і піску також вводять добавки, які збільшують пластичність розчину і перешкоджають його розшаровуванню. Такими добавками можуть бути вапно-пушонка, вапняно-карбонатний піл, хімічні добавки - повітровтягувальні, суперпластифікатори, комплексні.

Найбільш важливими нормованими показниками якості золівмісних мурувальних розчинів є міцність на стиск, розтяг, адгезійна міцність, морозостійкість, рухливість, а основними факторами складу, які їх визначають – водоцементне та золоцементне відношення, співвідношення пісок : цемент, вміст добавок-модифікаторів. Необхідні показники якості мурувальних СБС можна отримати при різних співвідношеннях цих факторів. Тому при проектуванні складу суміші виникає необхідність вибрати таке співвідношення компонентів, при якому забезпечуються не тільки необхідні міцність і рухливість розчину, але і мінімальна собівартість сухої суміші. При цьому також повинні забезпечуватись інші нормовані показники мурувального розчину та розчинової суміші, такі як зчеплення з основою кладки, морозостійкість, термін придатності та час коригування.

У найбільш загальному вигляді задачу проектування складу СБС можна сформулювати як систему рівнянь:

$$\begin{aligned}
 y_1 &= f_1(P_1, P_2, \dots, P_{n-1}) \geq y_1^0; & (\text{чи } < y_1^0) \\
 y_2 &= f_2(P_1, P_2, \dots, P_{n-1}) \geq y_2^0; & (\text{чи } < y_2^0) \\
 & \dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots .. ; \\
 y_{n-1} &= f_{n-1}(P_1, P_2, \dots, P_{n-1}) \geq y_{n-1}^0; & (\text{чи } < y_{n-1}^0) \\
 Cr &= f(P_1, P_2, \dots, P_{n-1}) \rightarrow \text{opt} ,
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

де y_1^0, y_2^0, y_{n-1}^0 - задані показники властивостей суміші та розчину;

P_1, P_2, \dots, P_{n-1} - фактори складу суміші; Cr - критерій оптимізації.

Знаходження необхідних факторів складу розв'язанням системи (1) практикується звичайно при можливості використання лінійних рівнянь. При використанні квадратичних рівнянь $y_i = f(P_i)$ необхідно визначити можливість включення в систему лінійних рівнянь $\partial y_i / \partial P_i = 0$, отриманих диференціюванням вихідних параметрів по факторах, які оптимізуються. В окремих випадках можливі інші прийоми розв'язання системи (1).

Виконані експериментальні дослідження золівмісних СБС дозволили отримати квадратичні математичні моделі їх властивостей. Розглядалися два варіанти складу мурувальної суміші. У першому як добавка-пластифікатор

використовувалась комплексна хімічна добавка “суперпластифікатор СП-3 + суха повітровтягувальна добавка” із співвідношенням компонентів 8:1. Друга суміш включала комплексний наповнювач, який складався з золи-виносу і вапняно-карбонатного пилу (ВКП), який вловлюється електрофільтрами обортових печей по виробництву вапна. Співвідношення зола : ВКП приймалося постійним і рівним 3:2. Умови планування експерименту наведені в табл. 1.

Таблиця 1

Умови планування експерименту при вивченні розчинів

Фактор, вид		Рівні варіювання			Інтервал варіювання
натуральний	кодований	-1	0	+1	я
Суміш 1					
Вміст комплексної добавки, % (Ц+З)	X_1	0,1	0,2	0,3	0,1
Доля золи $D_3 = Z/(Ц+З)$ по масі у суміші цементу і золи, %	X_2	20	40	60	20
Відношення $V/(Ц+З)$	X_3	1,00	0,80	0,60	0,20
Суміш 2					
Вміст СП-3, % (Ц+З+ВКП)	X_1	0,2	0,4	0,6	0,2
Об'ємна концентрація зольно-вапняної частини у в'язучому, %	X_2	20	40	60	20
Відношення $V/(Ц+З+ВКП)$	X_3	1,00	0,80	0,60	0,20

Обробкою експериментальних даних були отримані математичні моделі міцності розчину у віці 28 доби (2) - для суміші складу 1 і (3) - для суміші складу 2, а також параметра $n = П / Ц$, при якому забезпечується необхідна рухливість мурувального розчину (4):

$$R^{(1)}_{28} = 14,4 + 5,10X_2 - 3,67X_3 + 0,26X_1^2 - 3,54X_2^2 - 1,03X_3^2 - 1,51X_1X_2 - 1,24X_1X_3 - 1,19X_2X_3 \quad (2)$$

$$R^{(2)}_{28} = 10,3 + 3,32X_2 + 5,07X_3 + 0,14X_1^2 - 0,98X_2^2 - 0,93X_3^2 - 2,24X_1X_2 - 9,94X_1X_3 - 1,78X_2X_3 \quad (3)$$

$$n = 2,93 - 0,16X_1 + 0,34X_2 - 1,82X_3 - 0,064X_1^2 + 0,036X_2^2 - 0,036X_3^2 - 1,74X_1X_3 - 0,62X_2X_3 \quad (4)$$

Проектування складів золовмісних мурувальних СБС можна виконувати в наступному порядку. Спочатку задаються близькими до оптимальних значеннями X_1 - вмісту добавки-пластифікатора і X_2 - витрати дисперсного

наповнювача. Потім з рівняння (2) або (3) знаходять X_3 - водовязуче відношення, яке забезпечує необхідне значення міцності розчину. При відомих значеннях X_1 , X_2 і X_3 з рівняння (4) знаходиться масове співвідношення піску і цементу, яке забезпечує необхідну рухливість мурувального розчину.

Витрату цементу, води і піску можна визначити за відомими формулами методу абсолютних об'ємів.

Витрата цементу Ц:

$$Ц = \frac{1000 - V_v}{1/\rho_{Ц} + B/B_{ж} + n/\rho_{П}}, \quad (5)$$

де $\rho_{Ц}$ та $\rho_{П}$ – дійсна густина цементу та піску; V_v – об'єм втягнутого повітря.

Витрата води:

$$B = \frac{Ц}{B / Ц}. \quad (6)$$

Витрата піску

$$П = nЦ. \quad (7)$$

Даний склад близький до оптимального з технологічних міркувань, однак не враховує співвідношення вартості отриманих матеріалів. Задача вибору оптимального складу мурувальної суміші з урахуванням вартості матеріалів строго може бути вирішена методами математичного програмування. Можливі різні умови оптимальності: мінімізація вартості розчинної суміші, мінімізація витрати цементу без або з обмеженнями по витраті одного чи двох компонентів добавок і ін. В усіх випадках обов'язковими обмеженнями є забезпечення необхідного комплексу нормованих властивостей розчину.

При мінімізації собівартості мурувальної суміші (C_p) критерій оптимізації може бути виражений лінійним рівнянням:

$$C_p = Ц_{Д}Д + Ц_{нп}Н + Ц_{ц}Ц + Ц_{п}П, \quad (8)$$

де $Ц_{Д}$, $Ц_{нп}$, $Ц_{ц}$, $Ц_{п}$ - ціна відповідно добавки-модифікатора, наповнювача, цементу і піску, Д, Н, Ц і П – їх витрати.

Для проектування складу при прийнятому критерії оптимальності може бути використаний метод послідовних наближень. На першому етапі перевіряється можливість забезпечення нормованих властивостей з мінімальним вмістом добавок, потім з визначеним кроком по вмісту добавок розрахунок повторюється. У кінцевому рахунку, такі розрахунки, виконувани з застосуванням ЕОМ, дозволяють вибрати оптимальний склад.

До виконання розрахунків по визначенню складів суміші доцільне виконання аналізу математичних моделей графічним або дисоціативно-коровим методом [2]. Відповідно до останнього для факторів із

квадратичними коефіцієнтами моделей $b_{ii} < 0$ екстремум незалежно від зони експерименту визначається з рівності нулю першої часткової похідної функції:

$$\hat{y} = b_0 + \sum_{i=1}^K b_i X_i + \sum_{i=1}^K b_{ii} X_i^2 + \sum_{i \neq j} b_{ij} X_i X_j ; \quad (9)$$

$$\frac{dy}{dX_i} = \left(b_i + \sum_{i \neq j} b_{ij} X_j \right) + 2b_{ii} X_i ; \quad (10)$$

Місце екстремуму X_{ie} визначається лінійною залежністю

$$X_{ie} = - \frac{b_i + \sum b_{ij} X_j}{2b_{ii}} = - \frac{b_i}{2b_{ii}} - \frac{\sum b_{ij} X_j}{2b_{ii}} . \quad (11)$$

Для того, щоб X_{ie} завжди знаходився в зоні експерименту ($X_{ie} \leq 1$) необхідно, як це випливає із рівності (11), щоб виконувалися умови:

$$\left(|b_i| + \sum_{i \neq j} |b_{ij}| \right) \leq 2|b_{ii}| . \quad (12)$$

У тому випадку, коли має місце нерівність:

$$\left(|b_i| + \sum_{i \neq j} |b_{ij}| \right) \geq 2|b_{ii}| , \quad (13)$$

то необхідна перевірка додаткових умов:

$$\left(|b_i| - \sum_{i \neq j} |b_{ij}| \right) \geq 2|b_{ii}| ; \quad (14)$$

$$\left(|b_i| - \sum_{i \neq j} |b_{ij}| \right) \leq 2|b_{ii}| . \quad (15)$$

У випадку виконання умови (15) X_{opt} завжди знаходиться поза зоною експерименту і дорівнює граничному значенню ± 1 , визначаємому за знаком b_i .

За запропонованою методикою були розраховані склади мурувальних золівмісних сумішей для розчинів марок 50...125. У табл. 2 наведені склади розчинових сумішей з використанням як пластифікатор комплексної хімічної добавки "суперпластифікатор СП-3 + повітровтягувальна добавка (Mix-uk)". Для оцінки економічної ефективності застосування золівмісних сухих сумішей з комплексною добавкою вартість компонентів такої суміші порівнювали з вартістю аналогічного мурувального цементно-вапняного розчину, виготовленого на будівельному майданчику. Вартість піску не враховували, тому що його витрата практично не змінюється

Таблиця 2

Склади мурувальних розчинів на основі СБС

Марка розчину	Витрата компонентів на 1 м ³ розчину, кг				Собівартість в'язучого (сухої суміші), грн	Економічний ефект при застосуванні СБС, грн / %
	цемент	вапняне тісто	зола	комплексна добавка		
150	400	93			352,7	
	320	-	143	0,139	263,8	88,91 / 25,2
100	300	140			289	
	240	-	167	0,122	200,1	88,93 / 30,8
75	240	140			241	
	192	-	158	0,105	161	80,04 / 33,2
50	175	184			204,3	
	140	-	185	0,098	120	84,32 / 41,3

Таким чином, застосування золівмісних СБС для мурувальних розчинів дозволяє знизити собівартість останніх до 40%, підвищити якість виконання кладочних робіт, знизити їх трудомісткість.

Сухі мурувальні суміші можна рекомендувати до виробництва у двох варіантах. Найбільш доцільним є виготовлення у заводських умовах суміші, цілком готової до використання, тобто разом з піском. У більш простому варіанті можливе виготовлення суміші без піску. У такому випадку в заводських умовах виготовляють СБС, яка містить цемент, золу та добавки-модифікатори, а в умовах будівельного майданчика змішують цю СБС у пропорціях, вказаних у табл. 2 (параметр $n = П/В'яж$). Втім, у останньому випадку на властивості розчину будуть впливати особливості піску, який застосовується, що може привести до певної нестабільності експлуатаційних властивостей.

1. Дворкин Л.И., Дворкин О.Л., Гарницкий Ю.В., Рьженко И.Н. Сухие золосодержащие смеси для кладочных растворов.- Сухие строительные смеси, №3, 2008.- С. 2. Вознесенский В.А., Ляшенко Т.В., Огарков Б.Л. Численные методы решения строительно - технологических задач К.: Вища шк. 1989 - 328 с. 3. Рунова Р.Ф., Носовський Ю.Л. Технологія модифікованих будівельних розчинів.- К.: КНУБіА, 2007.- 256 с 4. Цементные бетоны с минеральными наполнителями / Дворкин Л.И., Соломатов В.И., Вывовой В.Н., Чудновский С.М.; Под ред. Л.И.Дворкина.- К.: Будівельник, 1991.- 136 с. 5. Сергеев А.М. Использование в строительстве отходов энергетической промышленности.- К.: Будівельник, 1984.- 120 с.