

РЕСУРСОЕКОНОМНІ МАТЕРІАЛИ ТА НОВІ ТЕХНОЛОГІЇ ЇХ ВИГОТОВЛЕННЯ

УДК 666.97

ОСОБЛИВОСТІ ПРОЕКТУВАННЯ СКЛАДІВ МОДИФІКОВАНИХ РОЗЧИНІВ

ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СОСТАВОВ МОДИФИЦИРОВАННЫХ РАСТВОРОВ

FEATURES OF DESIGNING THE COMPOSITIONS OF MODIFIED MORTARS

Дворкін Л.Й., д.т.н., проф., Марчук В.В., к.т.н., доцент. (Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне)

Дворкин Л.И., д.т.н., проф., Марчук В.В., к.т.н., доцент. (Национальный университет водного хозяйства и природопользования, г. Ровно)

Dvorkin L.J., doctor of technical sciences, professor, Marchuk V.V., candidate of technical sciences, assistant professor (National University of Water Management and Nature Resources, Rivne)

Досліджено вплив поліфункціональних модифікаторів трьох типів, що містять суперпластифікатор, а також повітровтягувальну або водоутримуючу добавки чи карбонатний наповнювач на властивості цементно-зольних розчинових сумішей та розчинів. Наведені експериментально-статистичні моделі технологічних та міцнісних властивостей модифікованих розчинових сумішей. На основі виконаних досліджень запропоновано методику проектування складів золівмісних сумішей для розчинів марок М50...М125 з використанням поліфункціональних модифікаторів

Исследовано влияние полифункциональных модификаторов трех типов, содержащих суперпластификатор, а также воздухововлекающую или вододерживающую добавки или карбонатный наполнитель на свойства цементно-зольных растворных смесей и растворов. Приведены экспериментально-статистические модели технологических и прочностных свойств модифицированных растворных смесей. На основе выполненных исследований предложена методика проектирования составов золосодержащих смесей для растворов марок М50 ... М125 с использованием полифункциональных модификаторов.

The effect of three types of polyfunctional modifiers containing a superplasticizer, as well as an air-entraining or water-retaining additive or a carbonate filler, on the properties of cement-ash mortar mixtures for adhesive and masonry mortars has been investigated. The influence of polyfunctional modifiers of three types, containing air-entraining and water-retaining additives, as well as a carbonate filler, on the most important indicators of the quality of adhesive and masonry cement-ash mortars has been investigated. In particular, for compressive strength, adhesive strength, frost resistance, fluidity. It was determined that the main factors of the composition, that they are determined, are the water-cement and ash-cement ratio, the ratio of sand: cement, the content of modifier additives. The necessary indicators of the quality of mortars and dry mixes can be obtained with different ratios of these factors. Therefore, when designing the composition of the mixture, it becomes necessary to choose such a ratio of components that provides all the necessary characteristics of the mixture and mortars. The paper presents experimental-statistical models of technological and strength properties of modified mortar mixtures and mortars. On the basis of these models, a methodology for designing the compositions of ash-containing mixtures for mortars of grades M50...M125 with the use of polyfunctional modifiers is proposed.

Ключові слова:

Будівельний розчин, водоутримуюча добавка, суперпластифікатор, довговічність.

Строительный раствор, вододерживающая добавка, суперпластификатор, долговечность.

Mortar, water-retaining agent, superplasticizer, durability.

Найбільш важливими показниками якості мурувальних та клейових розчинів є міцність на стиск, розтяг, адгезійна міцність, морозостійкість, рухомість [1-3], а основними факторами складу, які їх визначають – водоцементне та золоцементне відношення, співвідношення пісок : цемент, вміст добавок-модифікаторів [3-5]. 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 необхідні характеристики мурувального розчину та розчинової суміші[6].

У найбільш загальному вигляді задачу проектування складу СБС можна сформулювати як систему рівнянь[7].

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

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; C_r – 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).

Метою виконаних досліджень була розробка методики проектування золовмісних розчинових сумішей з введенням добавок-модифікаторів.

Вихідними матеріалами при проведенні досліджень служили портландцемент Здолбунівського ВАТ “Волинь-цемент”, зола-виносу Бурштинської ТЕС, кварцовий пісок з родовищ Славутського р-ну Хмельницької обл., карбонатний наповнювач (ВКП), що отриманий при виготовленні вапна на ВАТ «Любомирський ВСЗ».

У якості хімічних модифікаторів СБС використовували суперпластифікатор СП-1, повітровтягувальну добавку “Міх-ДН”, водоутримуючу добавку - ефір целюлози торгової марки Tylose SE.

Досліджена технологічна ефективність ПФМ трьох типів:

- -----ПФМ₁- (суперпластифікатор(СП) + повітровтягуюча добавка(ПД)),
- -----ПФМ₂ – (суперпластифікатор(СП) + водоутримуюча добавка (ЕЦ),
- -----ПФМ₃ – (суперпластифікатор(СП) + карбонатний наповнювач(ВПК)).

Для вивчення впливу вмісту і складу ПФМ на основні властивості модифікованих цементно-зольних сумішей були виконані алгоритмізовані експерименти[8]. Умови планування експериментів наведені у табл. 1...3.

Таблиця 1

Умови планування експериментів при дослідженні легкоукладальності розчинових сумішей з добавками ПФМ

Технологічні фактори		Рівні варіювання			Інтервал варіювання
Натуральний вид	Кодовий вид	-1	0	+1	
Вміст повітровтягувальної добавки, % маси цем.	$X_{1(I)}$	0	0,025	0,05	0,025
Продовження таблиці 1					
Вміст водоутримуючої добавки (ЕЦ), % маси цем.	$X_{1(II)}$	0	0,15	0,3	0,15
Вміст карбонатного наповнювача (ВКП), % маси цем.	$X_{1(III)}$	0	7,5	15	7,5

Вміст суперпластифікатора СП-1, % маси цем.	X ₂	0	0,35	0,7	0,35
З/Ц	X ₃	0	0,35	0,7	0,35
Витрата води В, кг/м ³	X ₄	240	270	300	30
В/Ц	X ₅	0,6	0,8	1,0	0,2

Статистична обробка експериментальних даних дозволила отримати рівняння регресії у кодованих змінних, наведених у табл. 4.

Таблиця 2

Умови планування експериментів при дослідженні міцності при стиску та адгезійної міцності модифікованих розчинів

Технологічні фактори		Рівні варіювання			Інтервал варіювання
Натуральний вид	Кодовий вид	-1	0	+1	
В/Ц	X ₁	0,6	0,8	1,0	0,2
З/Ц	X ₂	0	0,35	0,7	0,35
Вміст суперпластифікатора СП-1, % маси цем.	X ₃	0	0,35	0,7	0,35
Вміст повітровтягувальної добавки, % маси цем.	X _{4(I)}	0	0,025	0,05	0,025
Вміст водоутримуючої добавки Tylose (ЕЦ), % маси цем.	X _{4(II)}	0	0,15	0,3	0,15
Вміст карбонатного наповнювача (ВКП), % маси цем.	X _{4(III)}	0	7,5	15	7,5

Таблиця 3

Умови планування експериментів при дослідженні морозостійкості модифікованих розчинів

Технологічні фактори		Рівні варіювання			Інтервал варіювання
Натуральний вид	Кодовий вид	-1	0	+1	
В/Ц	X ₁	0,6	0,8	1,0	0,2
З/Ц	X ₂	0	0,35	0,7	0,35
Вміст суперпластифікатора СП-3, % маси цем.	X ₃	0	0,35	0,7	0,35
Вміст повітровтягувальної добавки (ПД), % маси цем.	X _{4(I)}	0	0,025	0,05	0,025

Продовження таблиці 3					
Вміст водоутримуючої добавки (ЕЦ), %	$X_{4(II)}$	0	0,15	0,3	0,15
Вміст карбонатного наповнювача (ВКП), % маси цем.	$X_{4(III)}$	0	7,5	15	7,5

Таблиця 4

Експериментально-статистичні моделі властивостей модифікованих розчинів

Модифікатор	Рівняння регресії				
Легкоукладальність, по зануренню конуса					
ПФМ ₁	$3K_{(I)} = 9,73 + 1,08X_{1(I)} + 2,2X_2 + 0,62X_3 + 1,25X_4 - 1,14X_{1(I)}^2 + 0,37X_2^2 + 0,62X_3^2 + 0,37X_4^2 + 0,37X_5^2 + 0,28X_{1(I)}X_2 + 0,28X_2X_4 + 0,41X_3X_5 - 0,59X_4X_5$				(2)
Рівняння регресії					
ПФМ ₂	$3K_{(2)} = 8,44 - 0,56X_{1(III)} + 2,47X_2 + 0,97X_4 + 0,07X_{1(III)}^2 + 0,82X_2^2 - 0,18X_3^2 - 0,18X_4^2 + 0,07X_5^2 - 0,25X_{1(III)}X_2 + 0,38X_2X_5 - 0,50X_3X_4 - 0,69X_4X_5$				(3)
ПФМ ₃	$3K_{(3)} = 9,06 - 0,28X_{1(III)} + 2,36X_2 + 0,53X_3 + 1,03X_4 - 0,51X_{1(III)}^2 + 0,24X_2^2 + 0,24X_3^2 + 0,24X_4^2 + 0,24X_5^2 + 0,38X_{1(III)}X_3 + 0,44X_3X_5 - 0,44X_3X_4 - 0,89X_4X_5$				(4)
Міцність при стиску у віці 28 діб					
ПФМ ₁	$R_{ст} = 24,8 - 8,04X_1 + 1,207X_2 + 2,49X_3 - 2,03X_4 + 1,04X_1^2 - 0,458X_2^2 + 0,342X_3^2 + 2,71X_4^2 + 0,33X_1X_2 + 0,66X_1X_3 + 0,23X_2X_3 + 0,44X_2X_4 - 0,18X_3X_4$				(5)
ПФМ ₂	$R_{ст} = 25,5 - 8,4X_1 + 1,106X_2 + 2,61X_3 - 1,62X_4 + 1,83X_1^2 - 1,62X_2^2 + 1,03X_3^2 - 1,87X_4^2 + 0,32X_1X_2 + 1,77X_1X_3 + 1,21X_2X_3 - 0,18X_3X_4$				(6)
ПФМ ₃	$R_{ст} = 26,5 - 7,84X_1 + 1,89X_2 + 2,44X_3 + 0,986X_4 + 0,948X_1^2 - 0,452X_2^2 + 0,998X_3^2 - 0,652X_4^2 + 0,294X_1X_3 + 0,506X_1X_4 + 0,858X_2X_3 + 1,14X_2X_4 + 0,41X_3X_4$				(7)

Адгезійна міцність

ПФМ ₁	$R_{ад,28} = 0,639 - 0,028X_1 + 0,018X_2 + 0,057X_3 + 0,026X_4 - 0,0792X_1^2 - 0,074X_2^2 - 0,0542X_3^2 - 0,0542X_4^2 + 0,004X_1X_2 + 0,004X_1X_4 + 0,011X_2X_3$	(8)
------------------	--	-----

ПФМ ₂	$R_{ад,28} = 0,706 - 0,030X_1 + 0,021X_2 + 0,060X_3 + 0,052X_4 - 0,097X_1^2 - 0,067X_2^2 - 0,067X_3^2 - 0,067X_4^2 + 0,006X_1X_2 + 0,006X_1X_4 + 0,016X_2X_3 + 0,003X_3X_4$	(9)
------------------	---	-----

ПФМ ₃	$R_{ад,28} = 0,67 - 0,03X_1 + 0,02X_2 + 0,06X_3 + 0,04X_4 - 0,08X_1^2 - 0,08X_2^2 - 0,05X_3^2 - 0,03X_4^2 + 0,01X_1X_2 + 0,01X_2X_3 + 0,01X_3X_4$	(10)
------------------	---	------

Морозостійкість

ПФМ ₁	$F = 1509 - 67X_1 - 4,5X_2 + 11,6X_3 + 28,7X_{4(1)} - 36,6X_1^2 - 3X_2^2 + 2X_3^2 + 4X_{4(1)}^2 + 1,1X_1X_2 - 11,6X_1X_{4(1)} - 2,4X_2X_{4(1)} + 2,8X_3X_{4(1)}$	(11)
------------------	--	------

Модифі-
катор

Рівняння регресії

ПФМ ₂	$F = 135,8 - 60,4X_1 - 2,30X_2 + 10,7X_3 + 7,93X_{4(2)} - 33,4X_1^2 + 2,06X_2^2 + 2,06X_3^2 + 2,06X_{4(2)}^2 - 0,688X_1X_2 - 0,688X_1X_3 - 5,44X_1X_{4(2)} + 0,688X_3X_{4(2)}$	(12)
------------------	--	------

ПФМ ₃	$F = 120,7 - 46,2X_1 - 6,10X_2 + 7,7X_3 - 5,4X_{4(3)} - 29,3X_1^2 - 1,3X_2^2 + 4,2X_3^2 - 8,3X_{4(3)}^2 + 5,1X_1X_2 + 1,0X_1X_3 + 1,1X_2X_3 + 5,4X_2X_{4(3)}$	(13)
------------------	---	------

На основі квадратичних математичних моделей нормованих властивостей проектування складів золівмісних мурувальних СБС можна виконувати в послідовності, що вказана нижче.

Задаємось близькими до оптимальних значеннями вмісту золи-виносу та добавок-модифікаторів. Аналіз викладених вище результатів експериментальних досліджень дозволяє рекомендувати вміст золи виносу, рівний 35...40% від витрати цементу для розчинів марок М100 і вище та 60...70% для розчинів нижчої міцності. Для збільшення водоутримуючої здатності розчинів та зменшення висолоутворення витрату золи у всіх випадках слід приймати не меншою 100 кг/м³.

Витрату суперпластифікатора СП-1 слід приймати 0,25...0,3% від витрати цементу для модифікатора ПФМ₁, 0,45...0,5% для модифікатора ПФМ₂ та 0,35...0,5% для модифікатора ПФМ₃. Більші значення приймаються при

використанні дуже дрібного піску. Оптимальна витрата повітровтягувальної добавки у складі модифікатора ПФМ₁ становить 0,04% від витрати цементу.

Витрату водоутримуючої добавки Tylose у складі ПФМ₂ слід приймати 0,2...0,25% від витрати цементу. Більше значення приймається при використанні піску з $M_{кр} > 1,5$.

Рекомендований вміст карбонатного наповнювача (ВКП) у складі ПФМ₃ становить 10...15% від маси цементу, але не менше 25 кг/м³.

Знаходимо необхідне В/Ц з рівнянь регресії, які описують нормовані властивості розчинів. Згідно ДСТУ [6] це міцність розчину на стиск, міцність зчеплення з основою (адгезійна міцність) та морозостійкість. Тому для знаходження В/Ц використовуються математичні моделі міцності (5...7), адгезійної міцності (8...10), морозостійкості (11...13). При наявності вимог до інших властивостей розчинових сумішей чи розчинів використовують інші отримані вище рівняння регресії. З усіх отриманих значень В/Ц вибирають найменше, як таке що задовільняє усім умовам.

Розв'язуючи модель рухомості розчинової суміші (2...4) відносно X_4 та перейшовши від кодованих до натуральних факторів, знаходимо витрату води (кг/м³), яка забезпечує необхідну рухомість розчинової суміші.

Знаходимо витрату цементу (кг/м³)

$$Ц = В : (В/Ц). \quad (14)$$

За відомою витратою цементу знаходимо витрату золи та добавок ПФМ.

Витрату піску знаходимо з умови абсолютних об'ємів

$$П = \left(1000 - \frac{Ц}{\rho_{ц}} + \frac{З}{\rho_{з}} + \frac{В}{\rho_{в}} + V_{п} \right) \rho_{п} \quad (15)$$

де $V_{п}$ – об'єм втягнутого в суміш повітря, л; $\rho_{ц}$, $\rho_{з}$, $\rho_{в}$, $\rho_{п}$ – дійсна густина цементу, золи, води та піску у кг/л.

Розрахуємо для прикладу склад золовмісної розчинової суміші на основі поліфункціонального модифікатора ПФМ₁. для мурувального розчину марки М100 за міцністю на стиск, F50 за морозостійкістю, з міцністю зчеплення з основою не менше 0,2 МПа. Використовуємо дрібний пісок з $M_{кр} = 1,6$ та дійсною густиною 2,65 кг/л.

1. Витрату золи приймаємо 40%, СП-1 – 0,25%, повітровтягувальної добавки – 0,04% від маси цементу. Тоді у моделях міцності на стиск (5), адгезійної міцності (8) та морозостійкості (11) слід приймати:

$$X_2 = \frac{0,4 - 0,35}{0,35 - 0} = 0,14; \quad X_3 = \frac{0,25 - 0,35}{0,35 - 0} = -0,28; \quad X_4 = \frac{0,04 - 0,025}{0,025 - 0} = 0,6.$$

2. Розв'язавши рівняння (5), (8) та (11) відносно X_1 та перейшовши від кодованих до натуральних факторів, отримаємо з умови міцності $(В/Ц)_1 = 1,07$; адгезійної міцності $(В/Ц)_2 = 1,03$; морозостійкості $(В/Ц)_3 = 1,25$. Остаточо приймаємо $(В/Ц) = (В/Ц)_2 = 1,03$.

3. З моделі рухомості (2)

$$X_{1(0)} = \frac{0,04 - 0,025}{0,025 - 0} = 0,6; X_2 = \frac{0,25 - 0,35}{0,35 - 0} = -0,28; X_3 = \frac{0,4 - 0,35}{0,35 - 0} = 0,14 \text{ та}$$

$$X_5 = \frac{1,03 - 0,8}{1,0 - 0,6} = 1,15 \text{ отримуємо } X_4 = -0,32, \text{ або } B = 270 + (-0,32) \cdot 30 = 260 \text{ кг/м}^3.$$

4. Витрата цементу $\text{Ц} = 260 : 1,03 = 252 \text{ кг/м}^3$.

5. Витрата золи $Z = 0,4\text{Ц} = 0,4 \cdot 252 = 101 \text{ кг/м}^3$.

Витрата повітровтягувальної добавки ПД = $0,0004 \cdot 252 = 0,1 \text{ кг/м}^3$.

Витрата суперпластифікатора СП = $0,0025 \cdot 252 = 0,63 \text{ кг/м}^3$.

6. Об'єм втягнутого повітря $V_{\text{П}} = 6\% = 60 \text{ л/м}^3$.

Тоді витрата піску з рівняння (15) $\text{П} = 1476 \text{ кг/м}^3$.

Остаточний склад розчинової суміші: $\text{Ц} = 252 \text{ кг/м}^3$, $Z = 101 \text{ кг/м}^3$, $\text{П} = 1476 \text{ кг/м}^3$, $\text{ПД} = 0,1 \text{ кг/м}^3$, $\text{СП} = 0,63 \text{ кг/м}^3$.

За запропонованою методикою були розраховані склади мурувальних золівмісних сумішей для розчинів марок М50...М125, які наведені у табл. 5.

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 СБС у пропорціях вказаних у табл. 5 (параметр $n = \text{П}/\text{В}^{\text{яж}}$). Втім, у останньому випадку на властивості розчину будуть впливати характеристики піску, який застосовується, що може привести до погіршення властивостей.

Таблиця 5

Склади мурувальних розчинів на основі СБС

Марка розчину	Витрата компонентів на 1 м ³ розчину, кг								
	цемент	зола	СП-1	ПД	ЕЦ	ВКП	вода	пісок	n*
150	340	136	0,850	0,136	-	-	255	1374	2,9
	320	128	1,600	-	0,8	-	250	1468	3,3
	305	122	1,220	-	-	46	232	1587	3,4
100	255	102	0,638	0,102	-	-	255	1485	4,2
	240	96	1,200	-	0,6	-	247	1578	4,7
	230	92	0,920	-	-	35	242	1659	4,7
75	215	129	0,538	0,086	-	-	247	1510	4,4
	190	114	0,950	-	0,48	-	224	1662	5,5
	180	108	0,720	-	-	27	212	1761	5,6
50	150	105	0,375	0,06	-	-	225	1651	6,5
	140	98	0,700	-	0,35	-	217	1741	7,3
	135	94,5	0,540	-	-	25	204	1837	7,2

Примітка - * $n = \text{П}/\text{В}^{\text{яж}}$

Висновок. На основі виконаних досліджень запропоновано методикупроєктування складів золівмісних сумішей для розчинів марок 50...125з використанням поліфункціональних модифікаторів.

1. Рунова Р.Ф. Технологія модифікованих будівельних розчинів / Р.Ф.Рунова, Ю.Л. Носовський . - К: ВидавництвоКНУБіА, 2007.-256 с.
Runova R.F. Tekhnolohiiamodyfikovanykhbudivelnikhrozchyniv / R.F.Runova, Yu.L. Nosovskiy . - K: VydavnytstvoKNUBiA, 2007.-256 s.
2. Сучасні композиційні будівельно-оздоблювальні матеріали / Захарченко П.В., Долгий Е.М., Галаган Ю.О. та ін. - К, 2005.- 512 с.
Suchasni kompozitsiini budivselno-ozdobliuvalni materialy / Zakhar-chenko P.V., Dolhyi E.M., Halahan Yu.O. ta in. - K, 2005.- 512 s.
3. Дворкін Л.Й. Випробування бетонів і розчинів. Проектування їх складів. / Л.Й. Дворкін, В.І. Гоц, , О.Л. Дворкін // Навчальний посібник. – 2014. – 397 с.
Dvorkin L.I. Vyprobuvannia betoniv i rozchyniv. Proektuvannia yikh skladiv. / L.I. Dvorkin, V.I. Hots, , O.L. Dvorkin // Navchalnyi posibnyk. – 2014. – 397 s.
4. Дворкін Л.Й. та ін.. Клейові та мурувальні модифіковані суміші на основі дисперсних відходів промисловості / Л.Й.Дворкін, В.В. Марчук,І. М.Риженко, С.С. Стрихарчук // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди./Збірник наукових праць. – Рівне, 2015. Вип. 31.- С. 236-242.Дворкін Л.Й. та ін.. Золівмісні цементи низької водопотреби: Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди. Збірник наукових праць. – Рівне, 2012. Вип. 23.- С. 42-48.
Dvorkin L.I. ta in.. Kleiovi ta muruvalni modyfikovani sumishi na osnovi dyspersnykh vidkhodiv promyslovosti / L.I.Dvorkin, V.V. Marchuk, I. M. Ryzhenko, S.S. Strykharchuk // Resursoekonomni materialy, konstruktсии, budivli ta sporudy./Zbirnyk naukovykh prats. – Rivne, 2015. Vyp. 31.- S. 236-242.Dvorkin L.I. ta in.. Zolovmisnitsementy nyzkoii vodopotrebyResursoekonomichni materialy, konstruktсии, budivli ta sporudy. Zbirnyk naukovykh prats. – Rivne, 2012. Vyp. 23.- S. 42-48.
5. Карапузов Е.К.Сухие строительные смеси/ Е.К.Карапузов, Г.Лутц, Х.Герольд. – К.: Техніка, 2000. – 226 с.
Karapuzov E.K.Sukhyestroytelnyesmesy/ E.K.Karapuzov, H.Lutts, Kh.Herold. – K.: Tekhnika, 2000. – 226 s.
6. ДСТУ Б В.2.7-126:2011. Суміші будівельні сухі модифіковані. Загальні технічні умови.
DSTU B V.2.7-126:2011. Sumishi budivselni sukhi modyfikovani. Zahalni tekhnichni umovy.
7. Dvorkin L., Bordiuzhenko O, Zhitkovsky V, Marchuk V. Mathematical modeling of steel fiber reinforced concrete properties and selecting its effective composition/ IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. Reliability and Durability of Railway Transport Engineering Structures and Buildings. 2019. 708. 012085.
8. Дворкін Л.Й. Розв'язування будівельно-технологічних задач методами математичного планування експерименту /Дворкін Л.Й., Дворкін О.Л., Житковський В.В. - Рівне: НУВГП, 2011- 174 с.
Dvorkin L.I. Rozv'iazuvannia budivselno-tekhnolohichnykh zadach metodamy matematychnoho planuvannia eksperymentu /Dvorkin L.I., Dvorkin O.L., Zhytkovskiy V.V. - Rivne: NUVHP, 2011- 174 s.