

УДК 691.535

СУХІ БУДІВЕЛЬНІ СУМІШІ ДЛЯ НАЛИВНИХ ПІДЛОГ НА ОСНОВІ РЕАКЦІЙНО-ПОРОШКОВИХ БЕТОНІВ

DRY CONSTRUCTION MIXTURES FOR POUR FLOORS BASED ON REACTIVE POWDER CONCRETE

Дворкін Л.Й., д.т.н., професор, ORCID: 0000-0001-8759-6318, Марчук В.В., к.т.н., доцент, ORCID: 0000-0003-0999-0402, Лащівський В.В. к.т.н., доцент, (Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне)

Dvorkin L.J., doctor of technical sciences, professor, ORCID: 0000-0001-8759-6318, Marchuk V.V., candidate of technical sciences, associate professor, ORCID: 0000-0003-0999-0402, Lashchivsky V.V., candidate of technical sciences, associate professor, (National University of Water and Environmental Engineering, Rivne)

У статті наведені результати експериментальних досліджень будівельних сумішей для улаштування наливних підлог на основі реакційно-порошкових бетонів. Показана можливість отримання таких сумішей. Наведені і проаналізовані експериментально-статистичні моделі технологічних та фізико-механічних властивостей розчинових сумішей та розчинів для наливних підлог, показано шляхи їх покращення. Доведено, що реакційно-порошкові бетони можуть бути напівфабрикатом для одержання сухих будівельних сумішей для улаштування наливних підлог.

This article presents the results of experimental studies of building mixtures for the installation of self-leveling floors based on reaction-powder concrete. Reaction-powder concretes (RPC), in turn, before mixing with water, can be considered as a dry mixture containing a binder, a dispersed filler, a superplasticizer, and, if necessary, modifier additives. RPB provide high strength, adhesive ability and durability of concretes and mortars in different operating conditions. By adjusting the composition of the RPB with different components, it is possible to achieve the properties of dry mixes, mortars and concretes for various purposes. Dry building mixes are promising types of building materials and are increasingly used in the construction industry and are becoming more relevant in construction due to a number of advantages compared to commercial solutions. The use of dry building mixes contributes to an increase in labor productivity and quality of work, a reduction in transportation and storage costs, and a reduction in technological operations.

The article shows the possibility of obtaining such mixtures, and also presents and analyzes experimental and statistical models of technological and physical-mechanical properties of mortar mixtures and self-leveling floors, shows ways to improve them.

Ключові слова:

Реакційно-порошковий бетон, будівельний розчин, міцність, суперпластифікатор, сухі будівельні суміші, довговічність.

Reactive-powder concrete, mortar, strength superplasticizer, dry building mixes, durability.

Вступ. Сухі будівельні суміші (СБС) відносяться до перспективних видів будівельних матеріалів і знаходять все ширше застосування в будівельній галузі. СБС стають все більше актуальними в будівництві завдяки ряду переваг у порівнянні із товарними розчиновими сумішами [1, 2]. В багатьох випадках стає неефективною експлуатація великих заводів з виробництва товарних розчинових сумішей внаслідок підвищення транспортних витрат. Головною особливістю сухих будівельних сумішей є те, що вони готуються у заводських умовах. Використання СБС сприяє підвищенню продуктивності праці і якості робіт, зниженню витрат на транспортування і зберігання, скороченню технологічних операцій. Можливість управління основними властивостями СБС шляхом зміни вмісту різних компонентів створює широкий асортимент необхідних для зведення споруд матеріалів і тим самим дозволяє використовувати їх при виконанні всіх видів робіт.

Стан питання та задачі дослідження. Для сучасного стану розвитку будівельної індустрії та будівництва на Україні характерне зростання інтересу та попиту на СБС для влаштування наливних підлог [3, 4]. Особливістю таких підлог є швидкий набір міцності, що дозволяє експлуатувати їх відразу після вкладання на відміну від цементних композицій для підлог. Класифікація сумішей для влаштування підлог регламентується ДСТУ Б В.2.7-126:2011, згідно цих норм, до підлог ставляться високі вимоги щодо їх міцності – 15...35 МПа, при цьому розтічність розчину для підлог повинна бути не менше 17 см.

Реакційно-порошкові бетони (РПБ) (Reactive Powder Concrete) – до замішування водою можна розглядати, як суху суміш, що містить в'язуче, дисперсний наповнювач і суперпластифікатор, а також добавки-модифікатори, варто відмітити, що вони не містять крупного заповнювача [5]. Даний вид бетону отриманий в кінці двадцятого століття відноситься до бетонів нового покоління, що володіють цілим рядом специфічних властивостей, що дозволяють створювати унікальні будівлі і споруди з використанням передових технологій. Вони забезпечують високу міцність, адгезійну здатність та довговічність бетонів у різних умовах експлуатації [6]. Коректуючи склади РПБ різними компонентами можна досягати

властивостей сухих сумішей, розчинів та бетонів різного складу та функціонального призначення [5]. Ефективність РПБ підтверджується рядом досліджень щодо його використання [6, 7].

В сухі суміші доцільно вводити порошкоподібні поліакрилатні або полікарбоксилатні суперпластифікатори зокрема «Melflux 2651F».

Мета роботи результати якої наведені в даній статті полягала у підтвердженні доцільності використання РПБ у будівельних розчинах для наливних підлог, а також дослідженні впливу факторів їх складу на основні властивості.

Для досліджень використано наступні матеріали:

- РПБ, що містив: ПЦ-I-500 у кількості - 35%, виробництва “Волинь-цемент” філія ПАТ "ДЦУ", мінералогічний склад клінкеру наступний: $C_3S - 57,1\%$. $C_2S - 21,27\%$, $C_3A - 6,87\%$, $C_4AF - 12,19\%$; золу-виносу Бурштинської ТЕС - 15%, пісок фр. 0,16...1,25мм - 50%, суперпластифікатор 0,5% від маси портландцементу,
- фракціонований кварцовий пісок з розмірами зерен 0,2...0,8 мм Славутського кар’єру (Хмельницька обл.),
- водоутимуюча добавка - «WeKcelo MP 400»,
- технічний хлорид кальцію $CaCl_2 \cdot 2H_2O$.
- суперпластифікуюча добавка «Melflux 2651F»;

Методика досліджень та результати. Експерименти виконано згідно вимог ДСТУ Б В.2.7-126:20011. Для вибору технологічних параметрів виготовлення СБС для підлог, виконано алгоритмізовані експерименти у відповідності з типовим планом Na_5 [8]. Умови планування експерименту представлені в табл. 1, матриця планування – табл. 2.

Таблиця 1

Умови планування експериментів

Параметр	Фактор	Рівні варіювання			Інтервал
		-1	0	+1	
Пісок/ РПБ, по масі	X_1	2	3	4	1
Вміст $CaCl_2$, % від маси РПБ	X_2	2	3	4	1
Вміст Melflux, % від маси РПБ	X_3	0,2	0,4	0,6	0,2
Вміст WeKcelo, % від маси РПБ	X_4	0,1	0,15	0,2	0,05
Вода/ РПБ, по масі	X_5	0,4	0,45	0,5	0,05

Склади сумішей для матриці планування (табл. 2) розраховано на 1 л суміші на кожну точку, при цьому враховано, що $\rho_{\Sigma в'яз.} \approx \rho_{п} \approx 2,80$ кг/л.

Де $\rho_{\Sigma в'яз.}$ - істинна густина суміші з РПБ, хлориду кальцію, Melflux 2651F і WeKcelo MP 400. Далі було складено систему рівнянь:

$$\begin{cases} \text{Вода} + (\text{Пісок} + (\text{в'язуче})) / 2,80 = 1 \text{ л} \\ \text{Пісок} / \text{РПБ} = x_1 \\ \text{Вода} / \text{РПБ} = x_5 \end{cases} \quad (1)$$

При складенні даної системи враховувався той факт, що сумарний об’єм хлориду кальцію, Melflux 2651F і WeKcelo MP 400 відносно не значний, і

тому зміни витрат цих компонентів по точкам матриці не вплине суттєво на величину $\rho_{\Sigma \text{в'яз}}$ і точність результатів визначення витрат компонентів. Підставляючи в систему (1) співвідношення Пісок/РПБ (x_1) і Вода/РПБ (x_5) з даних табл. 2 можна визначити величини витрат піску, води і РПБ. Далі, враховуючи значення x_2 , x_3 і x_4 (табл. 2) можливо розрахувати витрати всіх компонентів.

Таблиця 2

Матриця планування експериментів Na_5

№ точки	Кодовані значення факторів					Натуральні значення факторів				
	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	Пісок/ РПБ	CaCl ₂ , %	Melflux %	WeKcelo, %	Вода /РПБ
1	+	+	+	+	+	4	3	0,6	0,20	0,55
2	-	-	+	+	+	2	1	0,6	0,20	0,55
3	-	+	-	-	-	2	3	0,2	0,10	0,45
4	+	-	-	-	-	4	1	0,2	0,10	0,45
5	-	+	-	+	+	2	3	0,2	0,20	0,45
6	+	-	-	+	+	4	1	0,2	0,20	0,55
7	+	+	+	-	-	4	3	0,6	0,10	0,45
8	-	-	+	-	-	2	1	0,6	0,10	0,45
9	-	+	+	+	-	2	3	0,6	0,20	0,45
10	+	-	+	+	-	4	1	0,6	0,20	0,45
11	+	+	-	-	+	4	3	0,2	0,10	0,55
12	-	-	-	-	+	2	1	0,2	0,10	0,55
13	-	+	+	-	+	2	3	0,6	0,10	0,55
14	+	-	+	-	+	4	1	0,6	0,10	0,55
15	+	+	-	+	-	4	3	0,2	0,20	0,45
16	-	-	-	+	-	2	1	0,2	0,20	0,45
17	+	0	0	0	0	4	2	0,4	0,15	0,50
18	-	0	0	0	0	2	2	0,4	0,15	0,50
19	0	+	0	0	0	3	3	0,4	0,15	0,50
20	0	-	0	0	0	3	1	0,4	0,15	0,50
21	0	0	+	0	0	3	2	0,6	0,15	0,50
22	0	0	-	0	0	3	2	0,2	0,15	0,50
23	0	0	0	+	0	3	2	0,4	0,20	0,50
24	0	0	0	-	0	3	2	0,4	0,10	0,50
25	0	0	0	0	+	3	2	0,4	0,15	0,55
26	0	0	0	0	-	3	2	0,4	0,15	0,45
27	0	0	0	0	0	3	2	0,4	0,15	0,50
28	0	0	0	0	0	3	2	0,4	0,15	0,50
29	0	0	0	0	0	3	2	0,4	0,15	0,50

На основі експериментальних даних побудовані рівняння регресії міцності на згин та стиск наливних підлог на основі РПБ (2...5).

Рівняння регресії міцності на згин у віці 1 доба, МПа:

$$R_{зг}^1 = 3,24 - 0,42 X_1 + 0,15 X_2 + 0,21 X_3 - 0,12 X_4 - 0,24 X_5 + 0,18 X_1^2 - 0,09 X_2^2 - 0,12 X_3^2 + 0,06 X_4^2 + 0,18 X_5^2 + 0,02 X_1 X_2 - 0,03 X_1 X_3 - 0,07 X_1 X_4 - 0,06 X_1 X_5 + 0,09 X_2 X_3 + 0,13 X_2 X_4 - 0,02 X_2 X_5 + 0,02 X_3 X_4 - 0,05 X_3 X_5 + 0,02 X_4 X_5 \quad (2)$$

Рівняння регресії міцності на згин у віці 28 діб, МПа:

$$R_{зг}^{28} = 9,34 - 2,04 X_1 + 0,72 X_2 + 1,19 X_3 - 0,31 X_4 - 0,64 X_5 + 0,24 X_1^2 - 0,42 X_2^2 - 0,47 X_3^2 + 0,07 X_4^2 + 0,56 X_5^2 + 0,25 X_1 X_2 - 0,16 X_1 X_3 - 0,21 X_1 X_4 - 0,07 X_1 X_5 + 0,35 X_2 X_3 + 0,23 X_2 X_4 - 0,05 X_2 X_5 + 0,09 X_3 X_4 - 0,22 X_3 X_5 + 0,13 X_4 X_5 \quad (3)$$

Рівняння регресії міцності на стиск у віці 1 доба, МПа:

$$R_{ст}^1 = 5,88 - 1,34 X_1 + 0,49 X_2 + 0,78 X_3 - 0,20 X_4 - 0,41 X_5 + 0,14 X_1^2 - 0,25 X_2^2 - 0,29 X_3^2 + 0,03 X_4^2 + 0,33 X_5^2 + 0,17 X_1 X_2 - 0,11 X_1 X_3 - 0,40 X_1 X_4 + 0,05 X_1 X_5 + 0,06 X_2 X_3 + 0,17 X_2 X_4 - 0,03 X_2 X_5 + 0,06 X_3 X_4 - 0,13 X_3 X_5 + 0,09 X_4 X_5 \quad (4)$$

Рівняння регресії міцності на стиск у віці 28 діб, МПа:

$$R_{ст}^{28} = 18,79 - 4,16 X_1 + 1,32 X_2 + 2,55 X_3 - 0,56 X_4 - 1,35 X_5 + 0,43 X_1^2 - 0,77 X_2^2 - 1,12 X_3^2 + 0,09 X_4^2 + 1,08 X_5^2 + 0,48 X_1 X_2 - 0,36 X_1 X_3 - 0,49 X_1 X_4 + 0,09 X_1 X_5 + 0,18 X_2 X_3 + 0,59 X_2 X_4 - 0,08 X_2 X_5 + 0,12 X_3 X_4 - 0,31 X_3 X_5 + 0,40 X_4 X_5 \quad (5)$$

Графічні залежності міцності при стиску від технологічних факторів приведені на рис. 1...3, теж, при згині – рис. 4. Із зростанням тривалості зберігання міцність при згині розчинів наливних підлог на основі РПБ зростає від 4,5 до 14,3 МПа, а міцність при стиску від 8,5 до 32 МПа; при цьому водов'язуче відношення становить біля 0,40, а розтічність розчину (при витіканні з конусу Віка), знаходиться в межах 215...230 мм. Характерне для РПБ сповільнене зростання міцності у перші 3 доби твердіння у нашому випадку може бути подолане за рахунок використання максимальної кількості прискорювача тужавлення - хлориду кальцію при одночасному зниженні водопотреби розчину за рахунок застосування суперпластифікатора Melflux 2651F Водоутримуюча здатність суміші для підлог забезпечується шляхом введення ефіру целюлози WeKselo MP 400 в кількості не менше 0,10 %, а необхідний термін придатності розчинів – не менше 30 хв забезпечується термінами тужавлення РПБ, для якого навіть у присутності значних кількостей хлориду кальцію початок тужавлення відбувається не раніше 60 хвилин.

Р_{ст.}, МПа

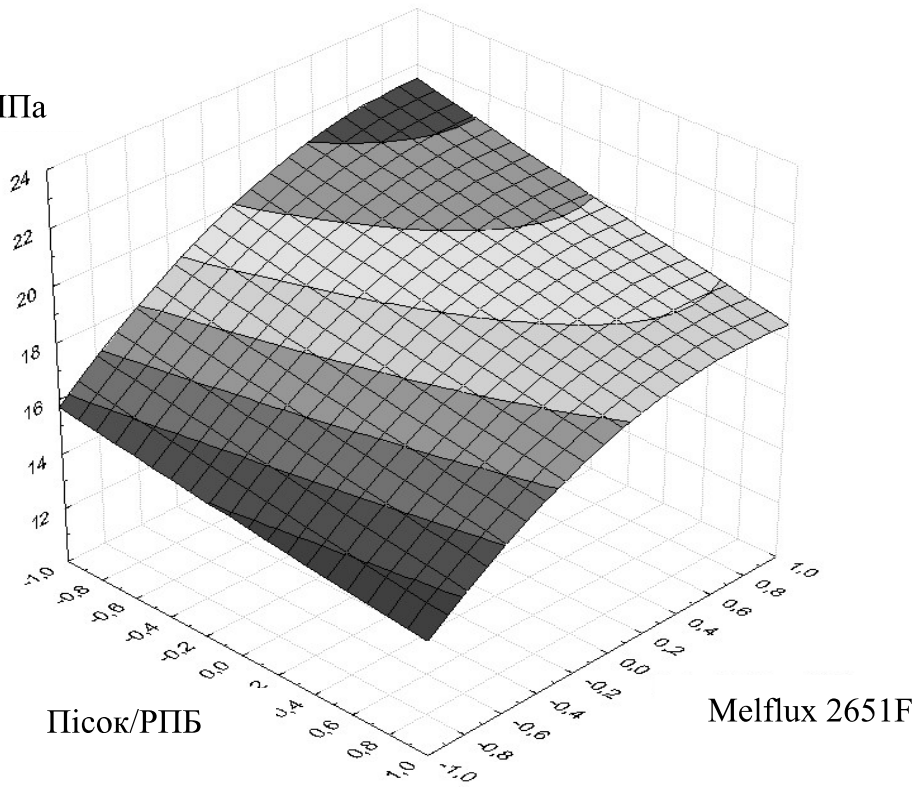


Рис.1. Міцність при стиску розчинів у віці 1 доби для наливних підлог на основі РПБ ($X_2=X_4=X_5=0$)

Р_{ст.}, МПа

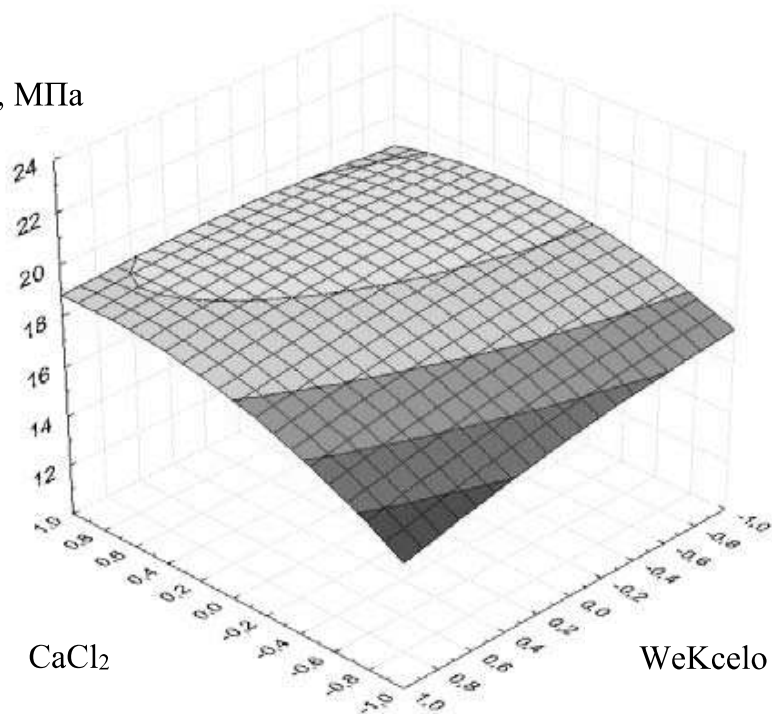


Рис.2. Міцність при стиску розчинів у віці 28 діб для наливних підлог на основі РПБ ($X_1=X_3=X_5=0$)

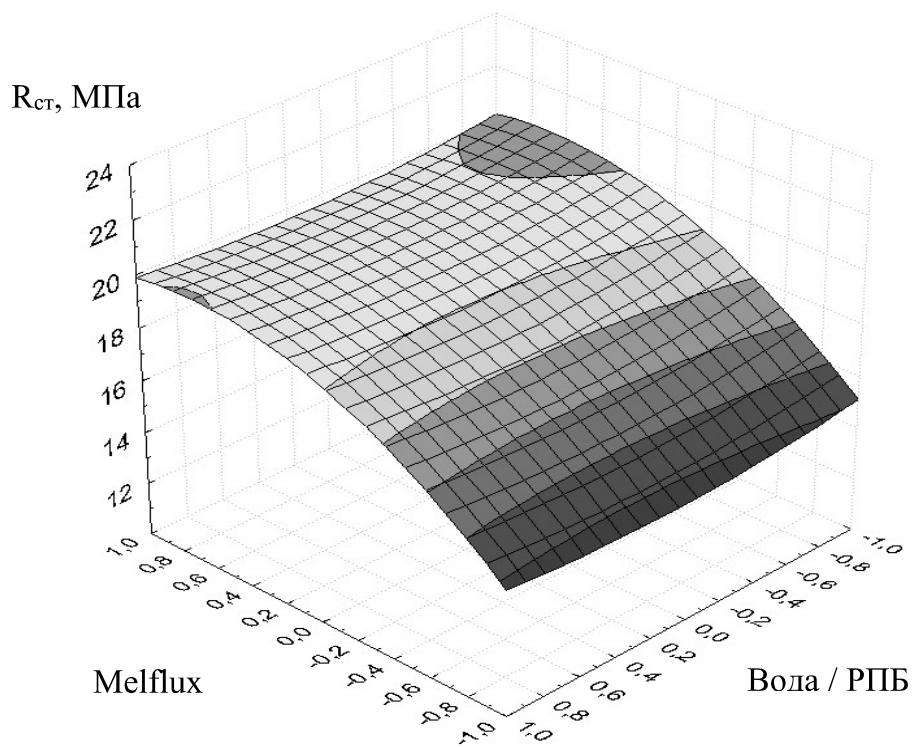


Рис.3. Міцність при стиску розчинів для наливних підлог на основі РПБ ($X_1 = X_2 = X_4 = 0$)

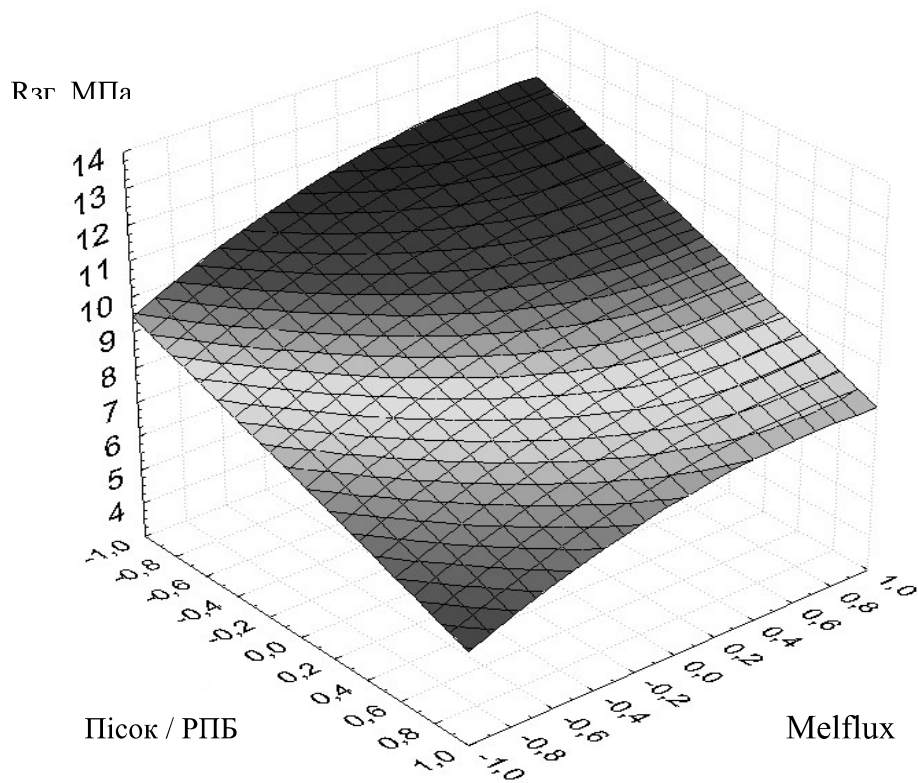


Рис.4. Міцність розчинів при згині у віці 28 діб на основі РПБ

Висновок. Реакційно-порошкові бетони можуть бути напівфабрикатом для одержання сухих будівельних сумішей для наливних підлог. В результаті експериментальних досліджень та аналізу відповідних експериментально-статистичних моделей розроблено комплекс таких сумішей з покращеними фізико-механічними властивостями. Досліджені суміші на основі РПБ, мають при забезпеченні рухомості понад 230 мм міцність на стиск до 30 МПа і згин до 14 МПа.

1. Рунова Р.Ф. Технологія модифікованих будівельних розчинів / Р.Ф.Рунова, Ю.Л. Носовський. - К: Видавництво КНУБіА, 2007.-256 с.

Runova R.F. Tekhnolohiia modyfikovanykh budivelnnykh rozchyniv / R.F.Runova, Yu.L. Nosovskyi. - K: Vydavnytstvo KNUBiA, 2007.-256 s.

2. Дворкін Л.Й. Випробування бетонів і розчинів. Проектування їх складів. / Л.Й. Дворкін, В.І. Гоц, О.Л. Дворкін // 2014. – 397 с.

Dvorkin L.I. Vuprobuvannia betoniv i rozchyniv. Proektuvannia yikh skladiv. / L.I. Dvorkin, V.I. Hots, O.L. Dvorkin // 2014. – 397 s.

3. Попов К. Н. Самовыравнивающиеся безусадочные полимерцементные композиции для покрытия полов / К. Н. Попов, М. Б. Каддо // Строительные материалы. – 2000. –№3. – С 42-43.

Popov K. N. Samovyrvnyvaiushchiesia bezusadochnnye polymertsementnye kompozitsyyi dlia pokrytyia polov / K. N. Popov, M. B. Kaddo // Stroitelnye materyaly. – 2000. –№3. – S 42-43.

4. Дворкін Л.Й. Модифіковані литі бетони для самонівельованих підлог / Л.Й. Дворкін, О.Л., Дворкін, І.М. Риженко // Ж. Строительные материалы и изделия №1,2014, с.10...12.

Dvorkin L.I. Modyfikovani lyti betony dlia samonivelovanykh pidloh / L.I. Dvorkin, O.L., Dvorkin, I.M. Ryzhenko // Zh. Stroitelnye materyaly y yzdeleya №1,2014, s.10...12.

5. Дворкін Л.Й. Реакційно-порошкові бетони і матеріали на їх основі / Л.Й. Дворкін, О.М. Бордюженко, В.В. Житковський, Д.В. Кочкар'юв, В.В. Марчук // Рівне: НУВГП. 2020. 305 с.

Dvorkin L.I. Reaktsiino-poroshkovi betony i materialy na yikh osnovi / L.I. Dvorkin, O.M. Bordiuzhenko, V.V. Zhytkovskyi, D.V. Kochkarov, V.V. Marchuk // Rivne: NUVHP. 2020. 305 s.

6. Swirzen, A., Penttala, V. and Vornanen, C. (2008), "Reactive powder based concretes: Mechanical properties, durability and hybrid use with OPC", Cement and Concrete Research, Vol. 38, pp. 1217-1226.

7. Reberntrost, M. and Cavill, B. (2006), "Reactive Powder Concrete Bridge", AustRoads Conference, pp. 1-11.

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 budivelnno-tekhnolohichnykh zadach metodamy matematychnoho planuvannia eksperymentu / Dvorkin L.I., Dvorkin O.L., Zhytkovskyi V.V. - Rivne: NUVHP, 2011- 174 s.