

К.В. Плахотніков, О.В. Старкова, Т.О. Костюк, Д.О. Бондаренко

Харківський національний університет будівництва та архітектури, Харків

ОПТИМІЗАЦІЯ ВМІСТУ ДОБАВОК У СКЛАДАХ КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ МЕТОДАМИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-СТАТИСТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ

Проведено дослідження композиційного матеріалу, до складу якого входять алюмосилікатні мікросфери, портландцемент, добавка метилцелюлози та комплексна хімічна добавка, що сприяє додатковому синтезу кристалогідратів з алюмінатними та силікатними фазами цементу. В роботі було поставлено задачу, а саме оптимізувати вміст складових композиту за допомогою математичного моделювання. Було отримано модель у вигляді поліному другого порядку. Перевірено значимість коефіцієнтів у рівнянні, адекватність моделі. Побудовано поверхні відгуку та їх проекції на площину. Внаслідок чого було отримано скорегований склад і раціональні області вмісту складових суміші із застосуванням математичного апарату.

Ключові слова: алюмосилікатні та скляні мікросфери, глибина проникнення, матриця планування, рівняння регресії, нормовані, натуральні змінні.

Вступ

Постановка проблеми. При розробці складів композиційних матеріалів все частіше застосовують методи експериментально-статистичного моделювання [1–3]. Це дозволяє з більшою вірогідністю враховувати усі фактори, що впливають на кінцевий результат та отримати матеріал з заданими властивостями і мінімальною кількістю експериментальних досліджень, що зберігає час на розробку нових матеріалів. Натурний експеримент, що є складовою експериментально-статистичного моделювання, включає збір інформації та математичну обробку даної інформації і побудову математичної моделі, що придатна для інженерно-статистичного аналізу.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Нові норми з енергозбереження у житловому секторі та підвищення вимог до теплозахисту робить актуальним розробку принципово нових теплоізоляційних матеріалів, що відповідають вимогам часу [4–5]. До таких матеріалів можна віднести рідкі композиційні системи, наповнені скляними та алюмосилікатними мікросферами на основі полімерів [6–8]. Відношення до теплоізоляційних характеристик таких матеріалів не є однозначним [9–10]. Тому актуальною залишається задача з розробки і вивчення їх властивостей та дослідження з ефективного використання подібних композиційних матеріалів.

Метою статті є отримання раціонального вмісту метилцелюлози та комплексної хімічної добавки у складі теплоізоляційного композиту на основі портландцементу для досягнення максимальної глибини проникнення рідини композиту у структуру бетонного або іншого мінерального підґрунтя.

Основна частина роботи

Проведено дослідження композиційного матеріалу, до складу якого входять алюмосилікатні мікросфери, портландцемент, добавка метилцелюлози та комплексна хімічна добавка, що сприяє додатковому синтезу кристалогідратів з алюмінатними та силікатними фазами цементу. Структури композиту на мікрорівні досліджено засобами електронної мікроскопії. Раціональний вміст добавок проводили за допомогою статистичних методів планування експерименту, побудовою математичної моделі та побудовою поверхні відгуку отриманого рівняння засобами пакету Statistica 6.0.

Кількісний вибір комплексної хімічної добавки дозволяє додатково синтезувати на поверхні мікросфер кристалогідрати у вигляді гелю-агрегатів CSH, волокон еtringіту та ламінарних C4AH13 (рис. 1). При надлишку добавки метилцелюлози і нестачі комплексної хімічної добавки порушується цілісність кристалічної обійми на поверхні мікросфер та знижується глибина проникнення нанесеного на пористе підґрунтя (бетон, цегла тощо) композиційного матеріалу, в наслідок чого знижується його зчеплення з основою.

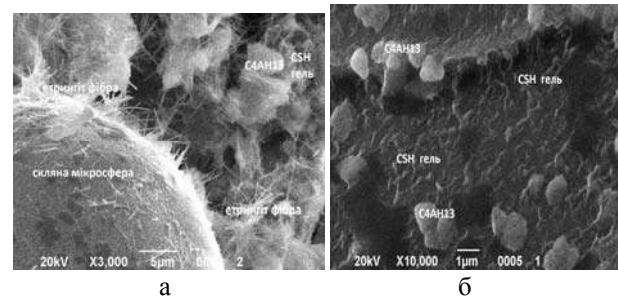


Рис. 1. Електронна мікрофотографія скляної мікросфери у складі композиту

На рис. 1 показано: а – мікросфера вкрита волокнами еtringіту; б – збільшена поверхня мікросфери з кристалогідратними новоутвореннями.

Для вирішення задачі з пошуку оптимального вмісту добавок було використано план двохфакторного експерименту (ПФЭ-3²) з двома серіями.

Матрицю планування та умови експерименту наведено у табл. 1.

Таблиця 1

Матриця планування експерименту

Но- мер до- сліду	План у кодованих змінних		План у натуральних змінних*	
	x ₁	x ₂	X ₁ , % від цементу	X ₂ , % від цементу
1	-1	-1	0,05	1
2	-1	0	0,05	3
3	-1	+1	0,05	5
4	0	-1	0,075	1
5	0	0	0,075	3
6	0	+1	0,075	5
7	+1	-1	0,1	1
8	+1	0	0,1	3
9	+1	+1	0,1	5

*X₁ – вміст добавки метилцелюлози, X₂ – вміст комплексної хімічної добавки.

Оскільки область можливого рішення визначена іншими дослідниками [11–12], для опису глибини

проникнення композиту у будь якій точці експерименту використано поліноми другого порядку

$$\hat{Y} = a_0 + \sum_{i=1}^n a_i x_i + \sum_{i < j} a_{ij} x_i x_j + \sum_{i=1}^n a_{ii} x_i^2 + \varepsilon(x^2),$$

де \hat{Y} – параметр оптимізації;

x_i – x_n – змінні параметри;

a₀, a_i, a_{ij}, a_{ii} – коефіцієнти рівняння.

За змінний параметр X₁ прийнято процентний вміст добавки метилцелюлози по відношенню до цементу, а за X₂ – комплексної хімічної добавки по відношенню до цементу в %. Межі X₁ і X₂ обумовлені пошуковими експериментами: 0,05 < X₁ < 0,1; 1 < X₂ < 5. Крок варіювання для X₁ дорівнює 0,005, а для X₂ – 0,1. з переходом до безрозмірних змінних (нормованим величинам):

$$x_i = (X_i - X_{0i}) / \Delta X_i,$$

де $\Delta X_i = 0,5 (X_{i \max} - X_{i \min})$; $X_{0i} = 0,5 (X_{i \max} + X_{i \min})$,

що дозволило трансформувати прямокутну призму у гіперкуб.

У ході експерименту було проведено 9 випробувань двома дублюючими серіями. Вхідні дані для планування та вихід системи Y (глибина проникнення композиту у пористе підґрунтя у мм) наведені у табл. 2.

Таблиця 2

Результати експерименту та розрахункові величини

№ п/п	Матриця базисних функцій						Y, мм	Розрахунок сум елементів матриці				
	План		x ₀	x ₁ ²	x ₂ ²	x ₁ x ₂		x ₁ y	x ₂ y	x ₁ ² y	x ₂ ² y	x ₁ x ₂ y
	x ₁	x ₂										
1	-1	-1	+1	1	1	1	15	-15	-15	15	15	15
2	-1	0	+1	1	0	0	14	-14	0	14	0	0
3	-1	+1	+1	1	1	-1	13	-13	13	13	13	-13
4	0	-1	+1	0	1	0	13	0	-13	0	13	0
5	0	0	+1	0	0	0	12	0	0	0	0	0
6	0	+1	+1	0	1	0	13	0	13	0	13	0
7	+1	-1	+1	1	1	-1	10	10	-10	10	10	-10
8	+1	0	+1	1	0	0	13	13	0	13	0	0
9	+1	+1	+1	1	1	1	14	14	14	14	14	14
(00)	(01)	(02)	(00)	(11)	(12)	(22)	(0y)	(1y)	(2y)	(11y)	(22y)	(12y)
=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=
9	0	0	9	6	6	0	117	-5	2	79	78	6

Невідомі оцінки коефіцієнтів нашої моделі утворюють вектор розміром (к+1)x1, де к – число факторів, відомі суми (00), (i0), (ij), (ii), що визначаються з табл. 2, утворюють квадратичну матрицю розміром (к+1)x(к+1).

Отримана матриця за елементами табл. 2 є симетричною, але не ортогональною, оскільки сума добутку базисних функцій у стовбцях 5, 6 (табл.2) не дорівнює нулю.

За допомогою розрахунків (табл. 2) визначаємо коефіцієнти виходу системи (Y, мм) наступним чином:

$$b_0 = 5/9(0Y) - 1/3 \sum_{i=1}^3 (iiY);$$

$$b_{ii} = 1/2 (iiY) + 0 \sum_{i=1}^3 (iiY) - 1/3(00Y);$$

$$b_i = 1/6 (iY); \quad b_{12} = 1/4 (12Y).$$

З урахуванням вищезначених формул отримаємо такі коефіцієнти поліному:

$$\begin{aligned} b_0 &= 12,67 & b_1 &= -0,83 \\ b_{11} &= 0,5 & b_2 &= 0,33 \\ b_{22} &= 0 & b_{12} &= 1,5 \end{aligned}$$

Рівняння початкової моделі (у нормованих змінних) буде виглядати наступним чином:

$$Y = 0,5 x_1^2 - 0,83x_1 + 0,33x_2 + 1,5x_1x_2 + 12,67. \quad (1)$$

Було розраховано гаусівську точність коефіцієнтів:

$$\begin{aligned} h\{b_{11}\} &= 0,5 \sqrt{1/2} = 0,355 & h\{b_1\} &= |-0,83| \sqrt{1/6} = 1,01; \\ h\{b_2\} &= 0,33 \sqrt{1/6} = 0,4 & h\{b_{12}\} &= 1,5 \sqrt{1/4} = 3,0. \end{aligned}$$

Похибка експерименту S_e при $f_e = 20$ становить 0,5 мм. За додатком П,5 [12] визначено абсолютне значення $t_{0,5} = 0,687$, тоді критична гаусівська точність $h_{кр} = 0,343$, що є меншою ніж усі значення коефіцієнтів. Таким чином, наша модель підлягає статистичному аналізу.

Розрахункові значення виходу системи для перевірки адекватності моделі при $f_1 = 9 - 6 = 3$ (ступені свободи) наведені у табл. 3.

Таблиця 3

Розрахункові значення виходу системи

Розрахункові значення		
γ	$\Delta\gamma$	$\Delta\gamma^2$
15,17	0,17	0,029
14,0	0	0
12,83	-0,17	0,029
12,34	-0,66	0,436
12,67	0,67	0,449
13,0	0	0
10,51	0,51	0,26
12,34	-0,66	0,436
14,17	0,17	0,029
сума	0,03	$SS_{на} = 1,668$

Модель адекватна, оскільки $F_a = (SS_{на} / f_1) : S_e^2 = (2,129 \cdot 2) : 3 = 1,41$, що менше за табличне значення $F_{табл} = 2,353$, (табл. П,6 [12]).

Загальний вигляд поверхні відгуку рівняння регресії Y , побудований засобами пакету Statistica 6.0, наведено на рис. 2. На рис. 3 наведена її проекція на площину x_1x_2 .

Отримана модель описує поверхню відгуку гіперболічного параболоїду з ізолініями у вигляді сімейства гіпербол, тобто максимальне значення вихідного параметра буде знаходитися в околицях з координатами $(-1, -1)$ і $(+1, +1)$.

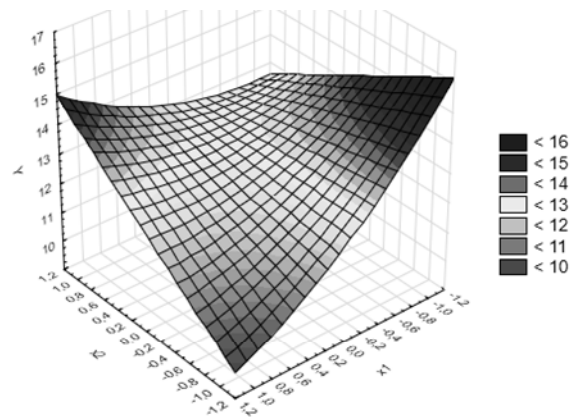


Рис. 2. Поверхня відгуку рівняння залежності глибини проникнення Y композиту від вмісту метилцелюлози x_1 та комплексної хімічної добавки x_2

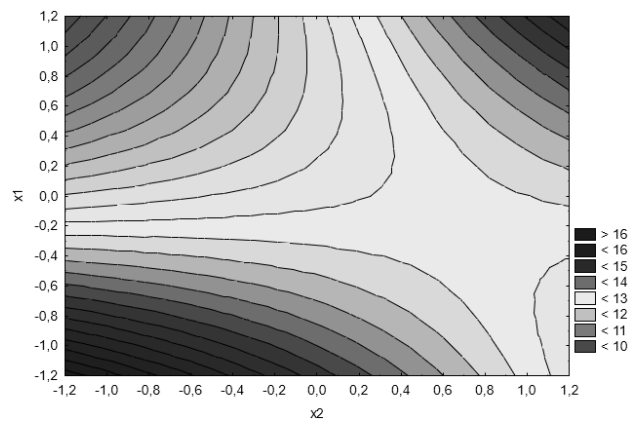


Рис. 3. Проекція поверхні відгуку Y на площину $x_1 x_2$

Прораховано ряди значень у рівнянні регресії вхідних і вихідних змінних (табл. 4), що дало можливість вдосконалити рецептуру нашого композиту з добавок метилцелюлози та комплексної хімічної добавки.

Таблиця 4

Ряди значень вхідних і вихідних змінних рівняння регресії в нормованих величинах $x_1 x_2$

x_1	x_2	Y	x_1	x_2	Y	x_1	x_2	Y
1	1	14,170	1	0,2	12,706	1	-0,6	11,242
0,8	1	13,856	0,8	0,2	12,632	0,8	-0,6	11,408
0,6	1	13,582	0,6	0,2	12,598	0,6	-0,6	11,614
0,4	1	13,348	0,4	0,2	12,604	0,4	-0,6	11,860
0,2	1	13,154	0,2	0,2	12,650	0,2	-0,6	12,146
0	1	13,000	0	0,2	12,736	0	-0,6	12,472
-0,2	1	12,886	-0,2	0,2	12,862	-0,2	-0,6	12,838
-0,4	1	12,812	-0,4	0,2	13,028	-0,4	-0,6	13,244
-0,6	1	12,778	-0,6	0,2	13,234	-0,6	-0,6	13,690
-0,8	1	12,784	-0,8	0,2	13,480	-0,8	-0,6	14,176
-1	1	12,830	-1	0,2	13,766	-1	-0,6	14,702
1	0,8	13,804	1	0	12,340	1	-0,8	10,876
0,8	0,8	13,550	0,8	0	12,326	0,8	-0,8	11,102
0,6	0,8	13,336	0,6	0	12,352	0,6	-0,8	11,368
0,4	0,8	13,162	0,4	0	12,418	0,4	-0,8	11,674
0,2	0,8	13,028	0,2	0	12,524	0,2	-0,8	12,020
0	0,8	12,934	0	0	12,670	0	-0,8	12,406
-0,2	0,8	12,880	-0,2	0	12,856	-0,2	-0,8	12,832
-0,4	0,8	12,866	-0,4	0	13,082	-0,4	-0,8	13,298
-0,6	0,8	12,892	-0,6	0	13,348	-0,6	-0,8	13,804

Закінчення табл. 4

-0,8	0,8	12,958	-0,8	0	13,654	-0,8	-0,8	14,350
-1	0,8	13,064	-1	0	14,000	-1	-0,8	14,936
1	0,6	13,438	1	-0,2	11,974	1	-1	10,510
0,8	0,6	13,244	0,8	-0,2	12,020	0,8	-1	10,796
0,6	0,6	13,090	0,6	-0,2	12,106	0,6	-1	11,122
0,4	0,6	12,976	0,4	-0,2	12,232	0,4	-1	11,488
0,2	0,6	12,902	0,2	-0,2	12,398	0,2	-1	11,894
0	0,6	12,868	0	-0,2	12,604	0	-1	12,340
-0,2	0,6	12,874	-0,2	-0,2	12,850	-0,2	-1	12,826
-0,4	0,6	12,920	-0,4	-0,2	13,136	-0,4	-1	13,352
-0,6	0,6	13,006	-0,6	-0,2	13,462	-0,6	-1	13,918
-0,8	0,6	13,132	-0,8	-0,2	13,828	-0,8	-1	14,524
-1	0,6	13,298	-1	-0,2	14,234	-1	-1	15,170
1	0,4	13,072	1	-0,4	11,608			
0,8	0,4	12,938	0,8	-0,4	11,714			
0,6	0,4	12,844	0,6	-0,4	11,860			
0,4	0,4	12,790	0,4	-0,4	12,046			
0,2	0,4	12,776	0,2	-0,4	12,272			
0	0,4	12,802	0	-0,4	12,538			
-0,2	0,4	12,868	-0,2	-0,4	12,844			
-0,4	0,4	12,974	-0,4	-0,4	13,190			
-0,6	0,4	13,120	-0,6	-0,4	13,576			
-0,8	0,4	13,306	-0,8	-0,4	14,002			
-1	0,4	13,532	-1	-0,4	14,468			

У приймає вигляд:

$$Y = 0,0003125X_1^2 + 0,093625X_1 - 0,20425X_2 + 0,075X_1X_2 + 13,6.$$

Обговорення результатів роботи. З рис. 2, 3 та табл. 4 видно, що найбільш раціональними є значення, коли вміст добавок метилцелюлози та комплексної хімічної добавки є максимальними або мінімальними, але з урахуванням економічної складової, найбільш раціональним доцільно обирати значення у мінімальних межах. Тобто добавка метилцелюлози знаходиться в межах 0,05% – 0,09 % від цементу, а вміст комплексної хімічної добавки – від 1% до 2,8%.

Висновки

В результаті експериментальних досліджень із застосуванням методу математичного планування експерименту підібрано раціональне співвідношення метилцелюлози і комплексної хімічної добавки в композиті на основі портландцементу. Глибина проникнення композиту при цьому залишилась в межах пошукового експерименту, що підтверджено експериментами, поставленими після оптимізації.

Список літератури

- Morrison G.R. Research-Based Instructional Perspectives / G.R. Morrison, S.M. Ross // Handbook of Research on Educational Communications and Technology. – 2014. – P. 31-38.
- Плугин А.А. Возможности применения полимерной микрофибры в гидроизоляционных цементных составах / А.А. Плугин, В.А. Арутюнов, Т.А. Костюк, Д.А. Бондаренко // Материалы IX Международной научно-практической конференции «Дни науки – 2013». – Прага: Издательский дом «Образование и наука». – 2013. – Т. 32. – С. 79-85.
- Вознесенский В.А. Рецептурно-технологические поля свойств материала в компьютерном строительном материаловедении / В.А. Вознесенский, Т.В. Ляшенко // Строительные материалы. – 2008. – № 7. – С. 8-11.
- Thermal Insulation Materials. Material Characterization, Phase Changes, Thermal Conductivity // NETZSCH-Gerätebau GmbH. – Germany. Selb. – 2016. – 23 p.
- Yurkov A.L. Properties of Heat-Insulating Materials (A Review) / A.L. Yurkov, L.M. Aksel'rod // Refractories and Industrial Ceramics. – 2008. – Vol. 46. – Issue 3. – P. 170-174.
- Ryzhenkov A.V. Syntactic Foams Efficiency with the Use of Various Microspheres for Heat Supply Equipment and Pipelines Heat Insulation / A.V. Ryzhenkov, S.I. Pogorelov, N.A. Loginova, E.V. Belyaeva and A.Yu. Plestsheva // Modern Applied Science. – 2015. – Vol. 9. – № 4. – P. 319-327.
- Aruniit A. Influence of hollow glass microspheres on the mechanical and physical properties and cost of particle reinforced polymer composites / A. Aruniit, J. Kers, J. Majak, A. Krumme, K. Tall // Proceedings of the Estonian Academy of Sciences. – 2012. – Vol. 61. – № 3. – P. 160-165.
- Liang J.Z. Effects of the glass bead content and the surface treatment on the mechanical properties of polypropylene composites / J.Z. Liang, C.B. Wu // Journal of Applied Polymer Science. – 2012. – Vol. 123. – № 5. – P. 3054-3063.
- Valášek P. Polymeric composite based on glass powder – usage possibilities in agrocomplex / P. Valášek, M. Müller // Scientia Agriculturae Bohemica. – 2013. – Vol. 44. – № 2. – P. 107-112.
- Ku H. Tensile Tests of Phenol Formaldehyde Glass-Powder-Reinforced Composites: Pilot Study / H. Ku, M. Trada, T. Cecil, P. Wong // Journal of Applied Polymer Science. – 2010. – Vol. 116. – №. 1. – P. 10-17.
- Салия М.Г. Оптимизация состава сухой строительной смеси для повышения ее прочности с использованием метода математического планирования эксперимента / М.Г. Салия, О.В. Старкова, Д.А. Бондаренко // Системи обробки інформації. – Харків: ХУПС ім. І. Кожедуба, 2012. – Вип. 3(101). – С. 99-102.
- Арутюнов В.А. Моделирование оптимальных гидроизоляционных составов интегрально-капиллярного действия с повышенным содержанием полимерных волокон / В.А. Арутюнов, О.В. Старкова, Д.А. Бондаренко // Системи обробки інформації. – Харків: ХУПС ім. І. Кожедуба, 2013. – Вип. 5(112). – С. 83-86.

References

1. Morrison, G.R. and Ross, S.M. (2014), Research-Based Instructional Perspectives, *Handbook of Research on Educational Communications and Technology*, pp. 31-38.
2. Plugin, A.A., Arutjunov, V.A., Kostyuk, T.A. and Bondarenko, D.A. (2013), "Vozmozhnosti primeneniya polimernoy mikrofibry v gidroizolyatsionnykh tsementnykh sostavah" [Possibilities of application of polymeric microfiber in waterproofing cement compositions], *Materials of the IX International Scientific and Practical Conference "Days of Science - 2013"*, Vol. 32, Publishing House "Education and Science", Prague, pp. 79-85.
3. Voznesensky, V.A. and Lyashenko, T.V. (2008), "Retsepturno-tehnologicheskie polya svoystv materiala v kompyuternom stroitelnom materialovedenii" [The recipe-technological fields of material properties in computer construction material science], *Construction materials*, No. 7, pp. 8-11.
4. Thermal Insulation Materials. Material Characterization, Phase Changes, Thermal Conductivity, (2016), *NETZSCH-Gerätebau GmbH*, Selb. Germany, 23 p.
5. Yurkov, A.L. and Aksel'rod, L.M. (2008), Properties of Heat-Insulating Materials (A Review), *Refractories and Industrial Ceramics*, Vol. 46, Issue 3, pp. 170-174.
6. Ryzhenkov, A.V., Pogorelov, S.I., Loginova, N.A., Belyaeva E.V. and Plestsheva, A.Yu. (2015), Syntactic Foams Efficiency with the Use of Various Microspheres for Heat Supply Equipment and Pipelines Heat Insulation, *Modern Applied Science*, Vol. 9, No. 4, pp. 319-327.
7. Aruniit, A., Kers, J., Majak, J., Krumme, A. and Tall, K. (2012), Influence of hollow glass microspheres on the mechanical and physical properties and cost of particle reinforced polymer composites, *Proceedings of the Estonian Academy of Sciences*, Vol. 61, No. 3, pp. 160-165.
8. Liang, J.Z. and Wu, C.B. (2012), "Effects of the glass bead content and the surface treatment on the mechanical properties of polypropylene composites", *Journal of Applied Polymer Science*, Vol. 123, No. 5, pp. 3054-3063.
9. Valášek, P. and Müller, M. (2013), "Polymeric composite based on glass powder – usage possibilities in agrocomplex", *Scientia Agriculturae Bohemica*, Vol. 44, No. 2, pp. 107-112.
10. Ku, H., Trada, M., Cecil, T. and Wong, P. (2010), Tensile Tests of Phenol Formaldehyde Glass-Powder-Reinforced Composites: Pilot Study, *Journal of Applied Polymer Science*, Vol. 116, No. 1, pp. 10-17.
11. Saliya, M.G., Starkova, O.V. and Bondarenko, D.A. (2012), "Optimizatsiya sostava suhoy stroitelnoy smesi dlya povysheniya ee prochnosti s ispolzovaniem metoda matematicheskogo planirovaniya eksperimenta", [Optimization of the composition of dry construction mixture to increase its strength using the method of mathematical planning of the experiment], *Information Processing Systems*, No. 3(101), KAFU, Kharkiv, pp. 99-102.
12. Arutyunov, V.A., Starkova, O.V. and Bondarenko, D.A. (2013), "Modelirovanie optimalnykh gidroizolyatsionnykh sostavov integralno-kapillyarnogo deystviya s povyshennym soderzhaniem polimernykh volokon" [Modeling of optimal waterproofing compositions of integral-capillary action with increased content of polymeric fibers], *Information Processing Systems*, No. 5(112), KAFU, Kharkiv, pp. 83-86.

Надійшла до редколегії 29.01.2018

Схвалена до друку 20.02.2018

Відомості про авторів:**Плахотніков Кирило Валерійович**

доцент кафедри Харківського національного
університету будівництва та архітектури,
Харків, Україна
<https://orcid.org/0000-0003-3925-3884>
e-mail: kirillplahotnikov84@gmail.com

Старкова Ольга Володимирівна

доктор технічних наук доцент
завідувач кафедри Харківського національного
університету будівництва та архітектури,
Харків, Україна
<https://orcid.org/0000-0002-9034-8830>
e-mail: starkova@ekit.org.ua

Костюк Тетяна Олександрівна

завідувач кафедри Харківського національного
університету будівництва та архітектури,
Харків, Україна
<https://orcid.org/0000-0002-9246-2899>
e-mail: takostuk@ukr.net

Information about the authors:**Kirill Plahotnikov**

Associate Professor of Department of Kharkiv National
University of Civil Engineering and Architecture,
Kharkiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0003-3925-3884>
e-mail: kirillplahotnikov84@gmail.com

Olha Starkova

Doctor of Technical Sciences Associate Professor
Head of Department of Kharkiv National University of
Civil Engineering and Architecture
Kharkiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0002-9034-8830>
e-mail: starkova@ekit.org.ua

Tatiana Kostyuk

Head of Department of Kharkiv National University of
Civil Engineering and Architecture
Kharkiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0002-9246-2899>
e-mail: takostuk@ukr.net

Бондаренко Дмитро Олександрович
кандидат технічних наук доцент кафедри
Харківського національного університету
будівництва та архітектури,
Харків, Україна
<https://orcid.org/0000-0002-2276-586X>
e-mail:dm_bondarenko@ekit.org.ua

Dmitro Bondarenko
Doctor of Philosophy
Senior Lecturer of Kharkiv National University
of Civil Engineering and Architecture,
Kharkiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0002-2276-586X>
e-mail:dm_bondarenko@ekit.org.ua

ОПТИМИЗАЦИЯ СОДЕРЖАНИЯ ДОБАВОК В СОСТАВЕ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ МЕТОДАМИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-СТАТИСТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

К.В. Плахотников, О.В. Старкова, Т.А. Костюк, Д.А. Бондаренко

Проведено исследование композиционного материала, в состав которого входят алюмосиликатные микросферы, портландцемент, добавка метилцеллюлозы и комплексная химическая добавка, которая способствует дополнительному синтезу кристаллогидратов с алюминатными и силикатными фазами цемента. В работе была поставлена задача, а именно оптимизировать содержание составляющих композита с помощью математического моделирования. Была получена модель в виде полинома второго порядка. Проверена значимость коэффициентов в уравнении, адекватность модели. Построены поверхности отклика и их проекции на плоскость. В результате был получен скорректированный состав и рациональные области содержания составляющих смеси с применением математического аппарата.

Ключевые слова: алюмосиликатные и стеклянные микросферы, глубина проникновения, матрица планирования, уравнение регрессии, нормированные, натуральные переменные.

OPTIMIZATION OF DOSSIERS CONTENT IN COMPOSITIONAL MATERIALS BY EXPERIMENTAL AND STATISTICAL MODELING METHODS

K. Plakhotnikov, O. Starkova, T. Kostyuk, D. Bondarenko

The possibility of obtaining a rational content of methylcellulose and complex chemical additives in the composition of a heat-insulating composite on the basis of Portland cement is considered in order to achieve maximum depth of penetration of a composite fluid into a structure of concrete or other mineral substrates. Dos-tracking of composite material consisting of aluminosilicate microspheres, portland cement, methylcellulose additive and complex chemical additive, which contributes to the additional synthesis of crystalline hydrates with aluminate and silicate phases of cement. The structure of the composite at the microlevel is investigated by means of electron microscopy. Rational content of supplements was carried out using statistical methods of planning the experiment, obtaining a mathematical model and constructing a response surface using the tools of the package Statistica 6.0. The quantitative selection of a complex chemical additive can further synthesize on the surface of microspheres crystalline hydrates in the form of gel aggregates CSH, fibers of etringitis and laminar C₄AH₁₃. With excessive amounts of methylcellulose additives and the lack of a complex chemical additive, the integrity of the crystalline shell on the surface of the microspheres is violated and the penetration depth of the substrate applied to the porous (concrete, brick, etc.) composite material is reduced, which reduces its adhesion to the base. The most rational is the value when the content of methylcellulose and complex chemical additives is maximal or minimal, within the limits set by search experiments, but taking into account the economic component, it is advisable to choose the values in the minimal limits with the most rational one.

Keywords: aluminosilicate and glass microspheres, penetration depth, matrix of planning, re-grazing equation, normalized, natural variables.