

## ВПЛИВ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ФАКТОРІВ НА ВЛАСТИВОСТІ ПОРИЗОВАНИХ БУДІВЕЛЬНИХ РОЗЧИНІВ НА ОСНОВІ СУХИХ БУДІВЕЛЬНИХ СУМІШЕЙ

Вінницький національний технічний університет

*Сухі будівельні суміші – сучасний композиційний будівельний матеріал, що за останні десятиліття набув широкого попиту за рахунок своїх високих технологічних якостей. Перевагою сухих будівельних сумішей є можливість розроблення різноманітних складів для певних видів робіт, а також можливість застосування широкої сировинної бази. Актуальним питанням залишається розробка сухих будівельних сумішей з покращеними тепло- та звукоізоляційними властивостями для підлог цивільних будівель, а також технології виготовлення полегшених будівельних розчинів із стабільною пористою структурою. Перспективним є виготовлення поризованих сухих будівельних сумішей із використанням місцевої сировинної бази та відходів промисловості.*

*Важливим питанням для поризованих сумішей є збереження стабільної пористої структури та міцності розчину, усунення явищ усадки на початкових строках тверднення та розтріскування під час подальшого набору міцності. Також, однією із основних вимог до сухих будівельних сумішей для влаштування підлог є висока рухливість та розтічність при збереженні високої міцності. На утворення стабільної пористої структури розчину впливає ряд технологічних факторів приготування розчинової суміші, дослідження яких і було метою роботи.*

*У статті досліджуються технологічні фактори, які впливають на отримання якісних поризованих будівельних розчинів на основі сухих будівельних сумішей. Встановлено, що суттєвий вплив на отримання стабільної пористої структури мають водоцементне відношення розчинової сумішей, вміст добавки-поризатора, відношення цементу до заповнювача, вміст пластифікуючих добавок, гранулометрія заповнювачів та наповнювачів. Експериментально встановлено, що на міцність поризованих розчинів також впливає час змішування та швидкість обертання змішувача, від яких залежить кількість втягнутого поризуючими добавками повітря і його рівномірний розподіл у шарі суміші. Проаналізовано комплексний вплив на властивості поризованих розчинів на основі сухих будівельних сумішей витрати цементу, активних мінеральних наповнювачів та полімерних добавок при заданій рухомості розчинової суміші.*

*Ключові слова: сухі будівельні суміші, поризований будівельний розчин, технологічні фактори приготування, параметри змішування, водоцементне відношення, добавка, відношення цемент/заповнювач.*

### Вступ

Ресурсо- та енергозбереження залишають важливими задачами сучасної будівельної галузі. Сьогодні гостро стоїть питання не лише економії ресурсів при виготовленні будівельних матеріалів, але і енергозбереження при експлуатації будівель і споруд. Ці питання спонукають звернути увагу на матеріали ніздрюватої (пористої) структури. Застосування для отримання таких матеріалів технологій сухих будівельних сумішей (СБС) дозволить підвищити продуктивність праці на будівельному майданчику, знизити матеріалоємність будівельних конструкцій, підвищити якість будівельних робіт при зниженні їх вартості та скороченні термінів виконання за рахунок стабільності складів СБС, які здатні тривалий час зберігати свої властивості, а приготування на їх основі теплоізоляційних покриттів не потребує використання спеціального дорогого обладнання і заводських умов.

Актуальною залишається розробка поризованих складів СБС для влаштування елементів підлог цивільних будівель. Сучасний ринок будівельних матеріалів переважно пропонує сухі штукатурні суміші з використанням легких заповнювачів, які мають підвищену вартість та ряд технологічних недоліків (наприклад, складність перемішування розчинів на легких заповнювачах природнього походження, нерівномірний розподіл легких полімерних заповнювачів у шарі розчину), високу паропроникність, низькі механічні властивості [1, 2]. Склади СБС для влаштування підлог розробляють в основному для стяжок та покриттів наливних підлог [3], а у якості теплозвукоізоляційних прошарків підлог цивільних будівель використовуються недовговічні матеріали на зразок прокладок із дерево-волокнистих, гіпсових чи пінополістирольних плит, засипки із пісків, керамзитового гравію тощо. Вважається, що якісні полегшені склади СБС для влаштування підлог з використанням добавок-поризаторів та поверхнево-активних речовин (ПАР) складно отримати через ряд технологічних перешкод.

*Метою роботи є* отримання складів сухих будівельних сумішей для приготування поризованих розчинів різної щільності на основі місцевих матеріалів і відходів промисловості та дослідження впливу технології виготовлення на властивості останніх.

Результатом попередніх досліджень, проведених автором, є отримання поризованих розчинових сумішей на основі СБС з використанням ПАР та звичайних щільних заповнювачів і наповнювачів. Дані суміші характеризуються коефіцієнтом теплопровідності  $\lambda=0,277-0,536$  Вт/(м·К) та міцністю на стиск 0,5-4,9 МПа при затратах цементного в'язучого 10-12 % від маси сухих компонентів [4]. Також, попередньо встановлено, що технологія виготовлення ніздруватих (поризованих) розчинів на основі мінеральних СБС вимагає введення стабілізуючих добавок для покращення характеристик технологічної піни [5, 6].

### Результати дослідження

Для вирішення поставлених завдань використовувалися такі матеріали: у якості в'язучого – портландцемент ПЦ І-500 Кам'янець-Подільського цементного заводу; у якості заповнювачів – вапняковий пісок, пісок кварцевий крупністю 0,63-1,25 мм; у якості наповнювачів – глиняний порошок, вапняковий пісок крупністю до 0,315-0,63 мм; зола-винос Ладиженської ТЕС; ПАР у якості піноутворюючої добавки – смола деревна омилена, синтетичний піноутворювач «Софір»; добавка-поризатор – порошковий піноутворювач ЛОПІ; полімерні модифікуючі добавки.

Дослідження проводилися за вимогам ДСТУ Б В.2.7-126:2011 «Суміші сухі будівельні модифіковані». Методи випробувань включали: визначення вологості для сухої суміші; рухливості для розчинної суміші; щільності, міцності на стиск і згин, водопоглинання, теплопровідності для затверділого розчину.

Для комплексного дослідження впливу основних технологічних факторів на властивості поризованих сухих будівельних сумішей планом експериментальних досліджень необхідно передбачити визначення: впливу кількості цементу ( $x_1$ ), водо-твердого відношення ( $x_2$ ), концентрації піноутворювача ( $x_3$ ), впливу відношення цемент/заповнювач (наповнювач) Ц/З (Н) ( $x_4$ ), співвідношення заповнювач/наповнювач (З/Н) ( $x_5$ ), гранулометрії компонентів суміші ( $x_6$ ). В якості функції відгуку ( $y$ ) прийняти міцність поризованого розчину заданої щільності.

Для одержання якісних СБС із заданими властивостями можна застосувати принцип оптимізації технологічних процесів. Розрізняють дві задачі оптимізації:

1. досягнення поставленої мети (міцність поризованої СБС) при мінімальній витраті ресурсів;
2. одержання найбільшого ефекту (максимальна міцність поризованої СБС) при заданих ресурсах.

Отримати найбільший ефект при мінімальній витраті ресурсів, тобто максимально розкрити внутрішні резерви міцності поризованих СБС, можливо шляхом комплексного взаємоузгодження впливу кількості в'язучого, водо-твердого відношення, концентрації піноутворювача, впливу відношення цемент/заповнювач (наповнювач) Ц/З (Н), співвідношення заповнювач/наповнювач (З/Н), гранулометрії компонентів суміші, витрат стабілізуючих добавок.

При оптимізації окремих технологічних процесів критерієм ефективності можна прийняти мінімальне чи максимальне значення, що характеризуються приростом міцності у віці 28 діб ( $R_{cm,28}$ ). Одними з найголовніших параметрів поризованих СБС для підлог є міцність і середня щільність, тому було вирішено провести оптимізацію наступних критеріїв:  $R_{cm}$  – міцність поризованої СБС та  $\rho_m$  – середня щільність.

Значення величин середньої щільності є функцією 3-х параметрів:

$$\rho_m = f(k, B/T, Ц),$$

де  $k$  – витрата (концентрація) піноутворювача, кг;  $B/T$  – водо-твердне відношення;  $Ц$  – витрата цементу, кг.

Значення величин міцності  $R_{cm}$  є функцією 5-ти параметрів:

$$R_{cm} = f(k, B/T, Ц, Ц/З, \rho_m),$$

де  $Ц/З$  – відношення витрат цементу до витрат заповнювача (наповнювача).

Враховуючи дані залежності можна прийняти:

$$R_{cm} = f(Ц/З, \rho_m).$$

Дослідження впливу перерахованих вище факторів на процес виготовлення поризованих СБС потребував проведення проведенні багатфакторного експерименту для отримання рівнянь регресії для функцій відгуку  $\rho_m$  і  $R_{cm}$ . Істинні значення факторів, встановлені на основі проведення пошукових експериментів, наведені в табл. 1-2.

Таблиця 1

Рівні факторів та інтервали варіювання для  $\rho_m$

Фактори	Рівні факторів					Інтервал варіювання
	-1.682	-1	0	+1	+1.682	
$x_1$ – концентрація піноутворювача;	21,59	25	30	35	38,41	5
$x_2$ – В/Т;	4,636	6	8	10	11,364	2
$x_3$ – витрати в'язучого, кг	16,59	20	25	30	33,41	5

Таблиця 2

Рівні факторів та інтервали варіювання для  $R_{cm}$ .

Фактори	Рівні факторів					Інтервал варіювання
	-1.682	-1	0	+1	+1.682	
$x_1$ – Ц/З;	21,59	25	30	35	38,41	5
$x_2$ – $\rho_m$	4,636	6	8	10	11,364	2

Планувалось отримати наступні регресійні моделі 2-го порядку:

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_{12}x_1x_2 + b_{13}x_1x_3 + b_{23}x_2x_3 + b_{11}x_1^2 + b_{22}x_2^2 + b_{33}x_3^2,$$

де  $y$  – одна із функцій  $R_{cm,28}$ ,  $K_p$ ,  $\rho_m$  і  $R_{cm}$ ;  $b_0, b_1, \dots, b_3, b_{12}, \dots, b_{13}, b_{11}, \dots, b_{33}$  – коефіцієнти регресії.

Для функції відгуку  $\rho_m$  рівняння регресії згідно проведеного багатофакторного експерименту має вигляд:

$$\rho_m(k, B/T, Ц) = 5806 - 20390k + 124,5 - 31950(B/T) + 47,39k \cdot Ц + 28850k \cdot (B/T) - 1,01831k^2 - 0,30795Ц^2 + 38280(B/T)^2$$

Для функції відгуку  $R_{cm}$  рівняння регресії згідно проведеного багатофакторного експерименту має вигляд:

$$R_{cm}(Ц/3, \rho_m) = -20,511 - 397,461(Ц/3) + 0,254\rho_m + 0,257(Ц/3) \cdot \rho_m + 153,356(Ц/3)^2 - 1,845 \cdot 10^{-4}(\rho_m)^2.$$

Отримані рівняння регресії дозволяють провести оптимізацію параметрів технологічного процесу виготовлення поризованих СБС з максимальними значеннями міцності та з мінімальною середньою щільністю і мінімальними витратами в'язучого, які забезпечують необхідну проектну міцність.

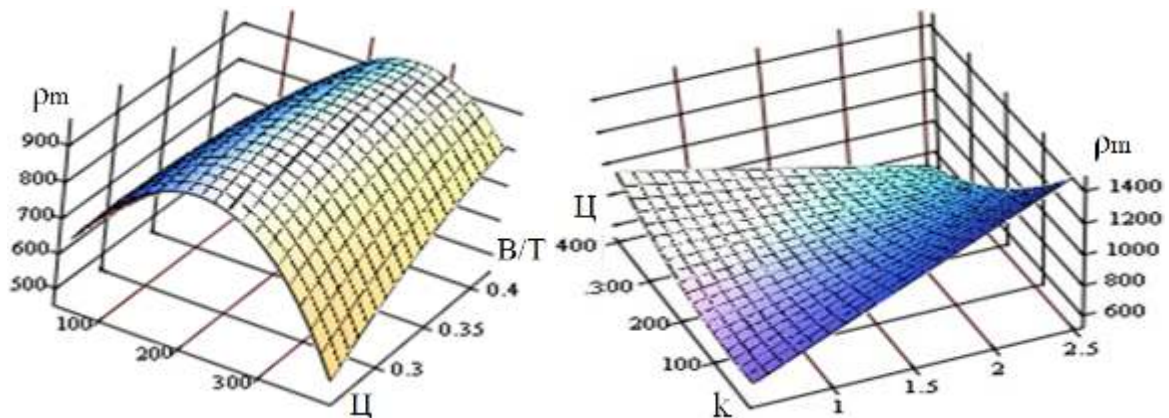
Як критерії оптимізації параметрів процесу виготовлення поризованих СБС вибираємо значення величин міцності  $R_{cm}$  та середньої щільності  $\rho_m$ .

На рис. 1-3 приведені поверхні відгуків критеріїв оптимізації та їх двомірні перерізи залежності значень величин міцності на стиск, середньої щільності поризованих складів СБС від окремих параметрів оптимізації технологічного процесу.

Так, згідно наведених залежностей (рис. 1-2) оптимальна величина середньої щільності ( $\rho_m=800-1000$  кг/м<sup>3</sup>) при економічно-обґрунтованих витратах цементного в'язучого (200-300 кг на 1 м<sup>3</sup> розчинової поризованої суміші) для проектованих СБС залежить від концентрації добавки-поризатора (чи ПАР), водо-твердого відношення (В/Т) та співвідношення витрат заповнювачів (наповнювачів) до витрат цементу (Ц/З).

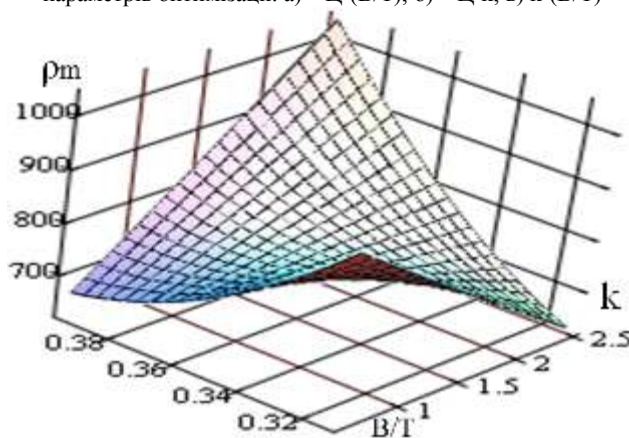
Це дозволило встановити залежність між міцністю на стиск затверділого поризованого розчину і його середньою густиною (рис. 3). Також, можна побачити, що суттєву роль у зростанні міцності відіграє саме відношення Ц/З: міцність 6-10 МПа можна отримати, коли Ц/З=0,4-1. Середня щільність при цьому знаходиться у межах  $\rho_m=800-900$  кг/м<sup>3</sup>. Це пояснюється природою сухих будівельних сумішей: за вимогою нормативів для матеріалів даного виду строго обмежується крупність заповнювачів, що дозволяє у якості останніх використовувати тонкомелені активні мінеральні добавки, які можуть включати тонкодисперсні відходи виробництва. Вимогами ДСТУ Б В.2.7-126:2011 «Суміші сухі будівельні модифіковані» не обмежується рецептура сумішей та не вимагається розробка нових хімічних складів при забезпеченні нормативних реологічних та фізико-механічних властивостей, екологічності та безпечності використання під час ремонтно-

будівельних робіт та впродовж усього терміну експлуатації. Тому подальшого вивчення вимагає питання розробки рецептури поризованих складів СБС з використанням місцевих мінеральних добавок та відходів виробництва у якості активної складової суміші поряд з в'язучим компонентом та функціональними добавками.



а)  $f(x_1, x_2) := -170.069 + 8.213 \cdot x_1 + 2.038 \cdot 10^3 \cdot x_2 + 18.619 \cdot x_1 \cdot x_2 - 0.044 \cdot x_1^2 - 6.758 \cdot 10^3 \cdot x_2^2$  б)  $f(x_1, x_2) := -1734 + 1723 \cdot x_1 - 19.549 \cdot x_2 - 8.053 \cdot x_1 \cdot x_2 - 1.023 \cdot x_1^2 + 0.07 \cdot x_2^2$

Рисунок 1 – Поверхні відгуків та їх двовірні перерізи залежності значень величини середньої щільності в площинах параметрів оптимізації: а) – Ц-(В/Т); б) – Ц-k; в) k-(В/Т)



$f(x_1, x_2) := 6255 - 1498 \cdot x_1 - 25420 \cdot x_2 + 4249 \cdot x_1 \cdot x_2 + 3.043 \cdot x_1^2 + 27900 \cdot x_2^2$

Рисунок 2 – Поверхні відгуків та їх двовірні перерізи залежності значень величини середньої щільності в площинах параметрів оптимізації k-(В/Т)

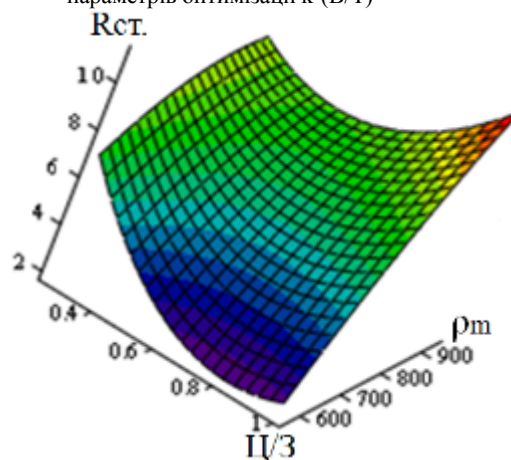


Рисунок 3 – Поверхні відгуків та їх двовірні перерізи залежності значень величини міцності  $R_{ст}$  в площинах параметрів оптимізації (Ц/3)- $\rho_m$

## Висновки

Підбір оптимальних складів сухих сумішей і дослідження впливу окремих компонентів на технологічні та фізико-механічні властивості одержуваних на їх основі розчинів здійснювалися методом математичного планування експерименту.

Встановлено, що залежності значень визначальних величин якості поризованих будівельних розчинів на основі СБС таких, як міцності  $R_{cm}$  та середньої щільності  $\rho_m$ , залежить від наступних параметрів виготовлення:

- кількості в'язучого Ц;
- водо-твердого відношення, В/Т;
- концентрації піноутворювача, к;
- відношення цемент/заповнювач (наповнювач) Ц/З (Н);
- співвідношення заповнювач/наповнювач (З/Н);
- гранулометрії компонентів суміші;
- витрат стабілізуючих полімерних добавок;
- швидкості і часу обертання міксера.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Ю. Степасюк, «Ефективні бетони та розчини на малоклінкерному шлакопортландцементі.» дис. канд. техн. наук, Нац. ун-т водного госп-ва та природокорист., Рівне, 2016.
2. Д. Бондаренко, «Суха будівельна суміш для отримання теплоізоляційних матеріалів зниженої паропроникності.» автореф. дис. канд. техн. наук, Укр. держ. акад. залізничного трансп., Харків, 2010.
3. С. Шептун, «Сухі суміші на основі портландцементу та мінеральних добавок для наливних підлог підвищеної зносостійкості.» дис. канд. техн. наук, Харк. нац. ун-т буд-ва та архіт., Харків, 2018.
4. А. В. Бондар, «Технологічні аспекти виготовлення поризованих складів сухих будівельних сумішей,» Науково-технічний збірник «Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві», Том 14, №1, с. 24-27. 2013.
5. В. П. Очеретний, В. П. Ковальський, А. В. Бондар, А. Ф. Діденко, «Технологічні особливості введення піноутворювачів при виготовленні ніздрюватих бетонів,» на IV Міжнародна конференція молодих вчених GAC-2011 «Геодезія, архітектура та будівництво», Львів, Національний університет "Львівська політехніка", 2011, с. 126-129.
6. В. П. Ковальський, В. П. Очеретний, А. В. Бондар, А. С. Кузьмич, «Використання глиняного порошку як мінерального мікронаповнювача у сухих будівельних сумішах,» Международное периодическое научное издание «Научные труды SWorld» (Иваново: Научный мир, 2016), Выпуск 2 (43), Том 7, с. 86-92. 2016.

## REFERENCES

1. Yu. Stepasyuk, «Efektivni betoni ta rozchini na maloklinkernomu shlakoportlandtsementi.» dis. kand. tehn. nauk, Nats. un-t vodnogo gosp-va ta prirodokorist., Rivne, 2016.
2. D. Bondarenko, «Suha budivelna sumish dlya otrimannya teploizolyatsyynih materialiv znizhenoyi paroproniknosti.» avtoref. dis. kand. tehn. nauk, Ukr. derzh. akad. zaliznichnogo transp., Harkiv, 2010.
3. S. Sheptun, «Suhi sumishi na osnovi portlandtsementu ta mineralnih dobavok dlya nalivnih pidlog pidvischenoyi znosostiykosti.» dis. kand. tehn. nauk, Hark. nats. un-t bud-va ta arhit., Harkiv, 2018.
4. A. V. Bondar, «Tehnologichni aspekti vigitovlennya porizovanih skladiv suhих budivelnih sumishey,» Naukovo-tehnlchniy zbirnik «Suchasni tehnologiyi, materialy i konstruktsiyi v budivnitstvi», Tom 14, №1, s. 24-27. 2013.
5. V. P. Ocheretnyy, V. P. Kovalskiy, A. V. Bondar, A. F. Didenko, «Tehnologichni osoblivosti vvedennya pinoutvoryuvachiv pri vigitovlenni nizdryuvatih betoniv,» na IV Mizhnarodna konferentsiya molodih vchenih GAC-2011 «Geodeziya, arhitektura ta budivnitstvo», Lviv, Natsionalniy universitet "Lvivska politehnika", 2011, s. 126-129.
6. V. P. Kovalskiy, V. P. Ocheretnyy, A. V. Bondar, A. S. Kuzmich, «Vikoristannya glinyanogo poroshku yak mineralnogo mikronapovnyuvacha u suhих budivelnih sumishah,» Mezhdunarodnoe periodicheskoe nauchnoe izdanie «Nauchnyie trudy SWorld» (Ivanovo: Nauchniy mir, 2016), Vyipusk 2 (43), Tom 7, s. 86-92. 2016.

**Бондар Альона Василівна** – асистент кафедри будівництва, міського господарства та архітектури, e-mail: alichka.vin@i.ua. ORCID 0000-0002-8098-1181.

**A. Bondar**

## THE IMPACT OF TECHNOLOGICAL FACTORS ON PROPERTIES OF POROUS BUILDING SOLUTIONS THAT ARE BASED ON DRY BUILDING MIXES

Vinnitsia National Technical University

*Dry building mixtures - modern composite building material, which in recent decades has gained wide demand due to its high technological qualities. The advantage of dry building mixtures is the ability to develop a variety of composition*

for certain types of work, as well as the possibility of using a wide raw material base. The urgent issue is the development of dry building mixtures with improved heat and sound insulation properties for floors of civil buildings and technology of making lightweight construction solutions with a stable porous structure. Perspective is the production of porous dry building mixtures using local raw material base and industrial waste.

An important issue for porous mixes is a maintenance of a stable porous structure and strength of solution, eliminate of the shrinkage phenomena on the initial phases of hardening and cracking during the subsequent set of strength.

Also, one of the main requirements for dry building mixes for floor installation are high mobility and pourability with saving of high strength.

A lot of technological factors are influences for a formation process of stable porous structure, and researching of them is the goal of this work.

Technological factors that are impact for the production of high quality porous building solutions that are based on dry building mixtures are investigated in this article.

It was revealed that the water-cement ratio of the mortar mixtures, the content of the additive-porosity, the ratio of cement and filler, the content of plasticizers and granulometry of the fillers are having the significant influence of obtaining a stable porous structure.

During experimental studies was found that the strength of porous solutions is also affected with time and speed of mixing, which depends on the amount of air absorbed by the porous distribution in the mixture layer.

Was analyzed the complex influence of cement cost, an active mineral fillers and polymeric additives with specified mortar mobility on the properties of porous solutions that are based on dry building mixes.

Keywords: dry building mixes, porous building solution, technological factors of preparation, parameters of mixing, water-cement ratio, additive, cement/filler ratio.

**Bondar Alena** – assistant of Construction, Urban and Architecture Department, e-mail: alichka.vin@i.ua.

**А. В. Бондарь**

## ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА СВОЙСТВА ПОРИЗОВАННЫХ СТРОИТЕЛЬНЫХ РАСТВОРОВ, ПОЛУЧЕННЫХ НА ОСНОВАНИИ СУХИХ СТРОИТЕЛЬНЫХ СМЕСЕЙ

Винницкий национальный технический университет

Сухие строительные смеси - современный композиционный строительный материал, что за последние десятилетия получил широкое спроса за счет своих высоких технологических качеств. Преимуществом сухих строительных смесей является возможность разработки различных составов для определенных видов работ, а также возможность применения широкой сырьевой базы. Актуальным вопросом остается разработка сухих строительных смесей с улучшенными тепло- и звукоизоляционными свойствами для полов гражданских зданий, а также технологии изготовления облегченных строительных растворов со стабильной пористой структурой. Перспективным является изготовление поризованных сухих строительных смесей с использованием местной сырьевой базы и отходов промышленности.

Важным вопросом для поризованных смесей является сохранение стабильной пористой структуры и прочности раствора, устранения явлений усадки на начальных сроках твердения и растрескивания во время дальнейшего набора прочности. Также, одной из основных требований к сухим строительным смесям для устройства полов является высокая подвижность и растекаемость при сохранении высокой прочности. На образование стабильной пористой структуры раствора влияет ряд технологических факторов приготовления растворной смеси, исследования которых и целью работы.

В статье исследуются технологические факторы, которые влияют на получение качественных поризованных строительных растворов, изготовленных на основании сухих строительных смесей. Установлено, что существенное влияние на получение стабильной пористой структуры имеют водоцементное отношение растворных смесей, содержание добавки-поризатора, отношение цемента к заполнителю, содержание пластифицирующих добавок, granulometry заполнителей и наполнителей. Экспериментально установлено, что на прочность поризованных растворов также влияет время замеса и скорость вращения смесителя, от которых зависит количество втянутого пенообразующими добавками воздуха и его равномерное распределение в слое смеси. Проанализировано комплексное воздействие на свойства поризованных растворов, полученных на основании сухих строительных смесей, расхода цемента, активных минеральных наполнителей и полимерных добавок при заданной подвижности растворной смеси.

Ключевые слова: сухие строительные смеси, поризованный строительный раствор, технологические факторы приготовления, параметры смешивания, водоцементное отношение, добавка, отношение цемент / заполнитель.

**Бондарь Алёна Васильевна** – ассистент кафедры строительства, городского хозяйства и архитектуры, e-mail: alichka.vin@i.ua.