

БУДІВЕЛЬНІ МАТЕРІАЛИ ТА ВИРОБИ

УДК 691.5:691.322:666.973.2

DOI 10.31649/2311-1429-2022-1-55-62

А. В. Бондар
І. Н. Дудар
Д. В. Мороз

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ПОЛІМЕРНИХ ДОБАВОК НА ВЛАСТИВОСТІ ПОРИЗОВАНИХ СУХИХ БУДІВЕЛЬНИХ СУМІШЕЙ

Вінницький національний технічний університет

Наведено теоретичні передумови отримання модифікованих полімерними добавками поризованих розчинів на основі сухих будівельних сумішей та експериментальні дослідження щодо визначення впливу даних добавок на параметри приготування суміші та на реологічні і фізико-механічні властивості поризованого розчину.

У статті приведені результати теоретико-експериментальних досліджень комплексного впливу полімерних добавок на властивості сухих будівельних сумішей, виготовлених на активованій мінеральній складовій – портландцементі та мінеральних наповнювачах і мікронаповнювачах на основі місцевих сировинних ресурсів. Наведено основні результати експериментальних досліджень поризованих складів сухих сумішей для підлог з додаванням полімерних добавок.

Встановлено, що модифікація сухих будівельних сумішей на основі портландцементу та активованих мінеральних наповнювачів полімерними добавками дозволяє підвищити на 25-40% фізико-механічні властивості затверділих розчинів для підлог і отримати склади з міцністю на стиск до 16,3 МПа, а також значно покращити реологію розчинової суміші та зменшити усадочні явища при введенні поризуючих добавок без збільшення водопотреби суміші та перевитрати в'язучого.

Ключові слова: сухі будівельні суміші, добавка, мінеральні компоненти суміші, поліпропіленова фібра, редиспергуючі порошки, ефір целюлози, модифікація, пориста структура, суміші для підлог, міцність, розтічність, середня щільність, поверхнево-активні речовини, полівінілацетатна добавка (ПВА), рідке скло (силікатний клей), пластифікатор, активація.

Вступ

Полімерні речовини у технології отримання сухих будівельних сумішей (СБС) можуть використовуватись у ролі як основного в'язучого, так і добавок-модифікаторів властивостей суміші. Використання полімерних добавок дозволяє регулювати технологічні, реологічні, фізико-механічні та експлуатаційні властивості сухих сумішей, матеріалів та виробів на їх основі. Також, заміна високовартісних імпортованих полімерних в'язучих аналогічними добавками у сумішах на досить дешевій місцевій активованій мінеральній складовій (мінеральні в'язучі у поєднанні з активованими мінеральними наповнювачами на основі відходів промисловості) позитивно впливає на екологічну ситуацію у регіоні, розширює сировинну базу для СБС та значно знижує цінову політику виготовлення якісних сухих сумішей [1-5].

Основні способи модифікації СБС – введення до їх складу ефірів целюлози та редиспергуючих порошків, які активно впливають на процес формування структури цементного каменю. Склади СБС для отримання поризованих розчинів для влаштування прошарків підлог потребують модифікації не лише зв'язуючого компоненту (у нашому випадку – портландцементу), а і введення речовин, які здатні стабілізувати показники якості піноутворення та повітровтягнення – стійкість та кратність піннодисперсної системи, зниження усадкових явищ та тріщиноутворення при твердненні поризованого розчину. У якості поризуючих добавок можуть використовуватись піноутворювачі різної природи та поверхнево-активні добавки [6-8].

Стабільна пориста структура при оптимальних реологічних та фізико-механічних властивостях досягалася введенням пластифікаторів, полівінілацетатної добавки (ПВА), рідкого скла (силікатний клей) та полімерних армуючих компонентів (поліпропіленової фібри певної довжини) [4, 8, 9].

Мета дослідження – теоретичне обґрунтування та експериментальне підтвердження введення полімерних добавок на підвищення реологічних та фізико-механічних властивостей цементних сухих будівельних сумішей для виготовлення поризованих розчинів для підлог.

Задачі дослідження:

1. Вивчення сучасного стану питання використання полімерних добавок для створення, виробництва і використання поризованих сухих будівельних сумішей.

2. Обґрунтування вибору, типу і вмісту модифікуючих добавок з метою регулювання і оптимізації властивостей поризованого розчину з використанням СБС.

Вплив функціональних добавок та поліпропіленової фібри на властивості поризованих розчинів

Попередніми дослідженнями встановлено, що на зміни реологічних та фізико-механічних властивостей сухих будівельних сумішей впливають вид, кількість та розміри мінеральних наповнювачів та заповнювачів. Регулювати ці властивості також можна введенням функціональних добавок [3, 4, 9].

Експериментальні дослідження проводились на розчинових сумішах, отриманих із СБС, до складу яких входили портландцемент М500, заповнювачі (вапняковий пісок з $M_k=0,315-0,63$ мм, карбонатний пісок з $M_k=1,2$ мм), наповнювачі (вапняковий пісок з $M_k=0,14$ мм і менше, зола-виносення ТЕС), полімерні дисперсні добавки (неіонні водорозчинні ефіри целюлози марки BERMOCOLL, редиспергуючі полімерні порошки марки ELOTEX), мікроармуючий наповнювач у вигляді поліпропіленової фібри довжиною до 2, 4, 6 мм, порошоків аніонні піноутворювачі в кількості 1,6 % від маси цементу. Мінеральні наповнювачі вводились в кількісному співвідношенні від маси сухої суміші, редиспергуючі полімерні порошки у кількості 1-5 % та ефіри целюлози у кількості 0,1-0,5 % від маси сухих компонентів. Фібра вводилась у кг на приготування 1 м³ розчину. Для контролю випробовувався склад суміші без добавок. Склади сумішей наведені у табл. 1-3. Із даних СБС було виготовлено стандартні зразки-балочки розміром 40×40×160 мм, які витримувались в нормальних умовах та випробовувались на міцність у віці 28 діб [9].

Таблиця 1

Склади сухих будівельних сумішей

Вміст компонентів, кг					Витрата добавок, % від маси				Витрати кг/м ³		
ПЦ	П	ЗВ	ВП, M_k		ЕЦ	РП	СП	ПД	Фібра, мм		
	$M_k=1,2$		>0,14	0,63					2	4	6
210	150	90	75	75	0,1	1	*	1,6	0,1		
210	150	90	75	75	0,2	2	*	1,6	0,2		
210	150	90	75	75	0,3	3	*	1,6	0,3		
210	150	90	75	75	0,4	4	*	1,6	0,4		
210	150	90	75	75	0,5	5	*	1,6	0,5		

*випробовувались окремо

Таблиця 2

Склади сухих будівельних сумішей

Вміст компонентів, кг					Витрата суперпластифікатора, % від маси цементу			
ПЦ	П	ЗВ	ВП, M_k		SanPol	MasterTherm	Бето-Пласт	Sika Mix Plus
	$M_k=1,2$		>0,14	0,63				
210	150	90	75	75	2*	0,01*	0,9*	0,05*
210	150	90	75	75	3	0,02	1,0	0,1*
210	150	90	75	75	4	0,03	1,1	0,15*
210	150	90	75	75	5	0,04	1,2	0,2*
210	150	90	75	75	6	0,05	1,3	0,25

*рекомендовані виробником витрати

Таблиця 3

Властивості контрольного складу без добавок

Вміст компонентів, кг					Властивості розчинової суміші			Властивості розчину, у віці 28 діб	
ПЦ	П	ЗВ	ВП, M_k		В/Т	Рухомість, см	Розтічність, см	$R_{ст}$, МПа	ρ_m , кг/м ³
	$M_k=1,2$		0,315	0,63					
210	150	90	75	75	0,30	8,0	12,0	7,05	945

Вплив суперпластифікаторів на властивості суміші

Вплив суперпластифікаторів на властивості сухої будівельної суміші та поризованого розчину, виготовленого з неї, наведено в таблиці 4.

Властивості контрольного складу з додаванням пластифікаторів

Витрата суперпластифікатора, % від маси цементу		Властивості розчинової суміші			Властивості розчину у віці 28		
		В/Т	Рухомість, см	Розтічність, см	R _{ст.} , МПа	ρ _{т.} , кг/м ³	
1	Контрольний склад без добавок	0,30	8,0	12,0	7,05	945	
2	SanPol	2*	0,28	8,3	12,5	7,15	940
		3	0,28	8,3	12,5	7,18	928
		4	0,27	8,8	13,3	7,23	925
		5	0,27	9,2	15,0	7,26	920
		6	0,27	9,8	15,8	7,4	920
3	MasterTherm	0,01*	0,30	8,1	12,0	7,15	943
		0,02	0,30	8,4	12,4	7,21	938
		0,03	0,29	9,0	12,8	7,24	930
		0,04	0,29	9,5	13,1	7,10	927
		0,05	0,27	9,8	14,0	6,97	920
4	Бето-Пласт	0,9*	0,28	8,0	12,0	7,0	936
		1,0	0,26	8,0	12,2	6,87	915
		1,1	0,26	8,3	12,6	6,65	893
		1,2	0,26	8,7	13,0	6,60	878
		1,3	0,25	9,1	13,5	6,38	860
5	Sika Mix Plus	0,05*	0,29	8,5	12,8	7,32	920
		0,1*	0,27	9,0	13,5	7,48	910
		0,15*	0,23	10,2	15,0	7,67	883
		0,2*	0,21	12,0	17,3	7,89	846
		0,25	0,20	16,1	18,5	6,92	807

*рекомендовані виробником витрати

Експериментально визначено, що збільшення рухомості та розтічності поризованого розчину із СБС можна спостерігати при введенні суперпластифікатора (СП) Sika Mix Plus у кількості 0,2 % від маси в'язучого (рис. 1). Інші пластифікатори не чинять прогнозованого ефекту покращення реологічних та фізико-механічних властивостей суміші.

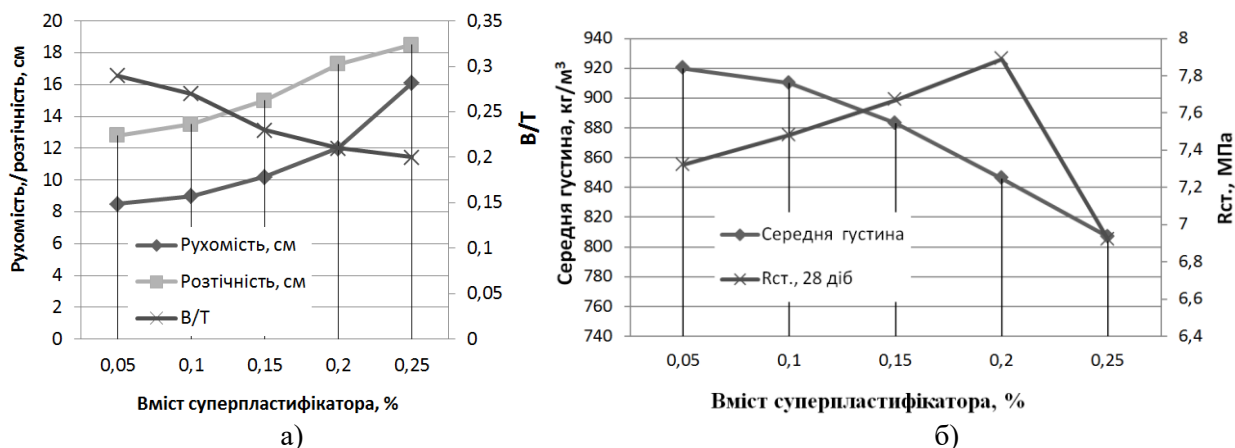


Рисунок 1 – Залежність властивостей СБС від вмісту СП Sika Mix Plus:
а) реологічні властивості розчинової суміші; б) середня густина затверділого розчину

Вплив поліпропіленової фібри на властивості суміші

Поліпропіленову фібру ефективно використовують для об'ємного армування і запобігання утворенню тріщин під час пластичного осідання в процесі тверднення розчину, для збільшення міцності на згин, для підвищення міцності зчеплення до різних основ. Фібра здатна зменшувати виділення води та вносити в розчин незначну кількість повітря, контролювати переміщення води в розчинової суміші, підвищувати міцність на стиск в перший день набору міцності. Суміші з поліпропіленовою фіброю демонструють низькі розшарування і усадку та високі реологічні властивості пористих розчинової сумішей [4, 8]. Це пояснюється тим, що збільшуються геометричної площі контакту складових, зокрема і на поверхні повітряних пор.

Міцність адгезійного зв'язку збільшується з ростом поверхневої енергії полімеру, з якого виготовлене волокно [10, 11]. Результати досліджень зміцнення поризованих розчинів фіброю різної довжини наведені в табл. 5 та на рис. 2.

Таблиця 5

Властивості контрольного складу з додаванням фібри

Витрата фібри, кг/м ³		Властивості розчинової суміші			Властивості розчину, у віці 28 діб		
		В/Т	Рухомість, см	Розтічність, см	R _{ст} /R _{зг.} , МПа	ρ _m , кг/м ³	
1	Контрольний склад без добавок	0,30	8,0	12,0	7,05/2,52	945	
2	Довжина, мм	Витрата	-	-	-	-	
	2	0,1	0,27	8,0	12,5	7,63/2,98	900
		0,2	0,23	8,0	13,5	7,91/3,42	876
		0,3	0,24	8,2	14,0	7,15/3,07	870
		0,4	0,26	7,9	15,1	6,98/2,95	902
		0,5	0,29	7,9	13,8	6,57/2,80	923
3	4	0,1	0,28	8,0	12,0	7,3/2,8	937
		0,2	0,26	8,0	12,8	7,49/3,1	918
		0,3	0,24	8,0	14,2	7,57/3,7	904
		0,4	0,24	8,0	15,6	6,83/3,15	920
		0,5	0,6	8,0	16,0	6,74/3,0	927
4	6	0,1	0,30	8,0	12,3	7,63/2,82	936
		0,2	0,30	8,0	12,8	7,91/3,02	912
		0,3	0,31	8,0	13,9	7,15/3,37	887
		0,4	0,31	8,0	14,1	6,89/3,05	842
		0,5	0,31	8,0	13,4	6,73/2,90	840

Слід зазначити, що міцність на згин зростає у 4-6 разів при використанні фібри всіх довжин. Однак, при застосуванні фібри довжиною волокон 6 мм виникає її намотування на вал і лопасті змішувача, тому рекомендовано використовувати фібру довжиною 2-4 мм. Найкращі результати отримані при введенні в поризований розчин 0,2 кг фібри довжиною 2 мм та 0,3 кг фібри довжиною 4 мм. При подальшому збільшенні її кількості (більше 0,3 кг) відбувається зниження міцності. Експериментально визначено, що при введенні в 1 м³ поризованого розчину 0,2 кг фібри довжиною 2 мм та 0,3 кг фібри довжиною 4 мм можна досягнути збільшення міцності на згин у 1,5-2,7 разів та зниження середньої щільності на 40-70 кг/м³ (рис. 2). Використання фібри довжиною 6 мм веде до технологічних складностей приготування і укладання поризованих розчинів [9].

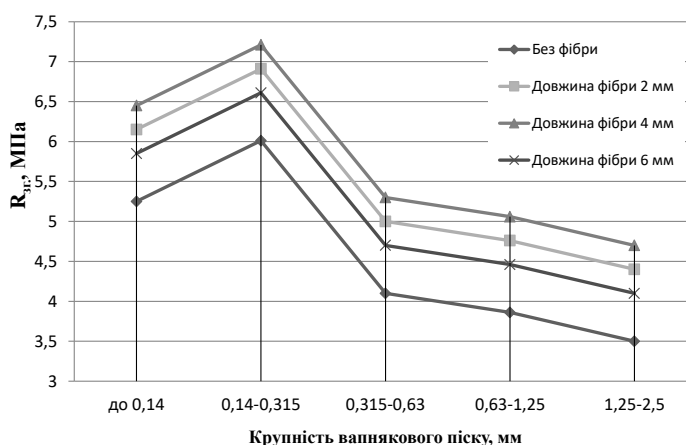


Рисунок 2 – Залежність властивостей СБС від гранулометрії КД при додаванні поліпропіленової фібри різної довжини

Вплив ефірів целюлози та редиспергуючих порошків на властивості суміші

Найкращі показники рухомості суміші та фізико-механічних властивостей при зниженні В/Т отримано при додаванні комплексу модифікуючих добавок, а саме при введенні 0,3 % ефіру целюлози Vertocolл САА та 4 % редиспергуючого порошку Elotex FX2320 (рис. 3-4).

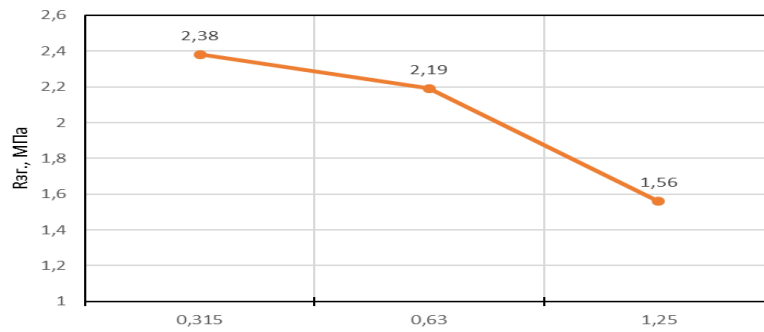


Рисунок 3 – Залежність міцності на згин СБС від гранулометрії КД при додаванні 0,3 % ефіру целюлози, 4 % редиспергуючого порошку

З рис. 3 видно, що міцність на згин знижується із збільшенням крупності вапнякового наповнювача. Це пояснюється тим, що за умови крупності більше 0,63 мм відбувається нерівномірне розподілення зерен заповнювача, часток в'язучого та повітряної маси, втягнутої піноутворювачем. Як наслідок, отримуються розчин з крупнопористою структурою та значною усадкою при твердненні.

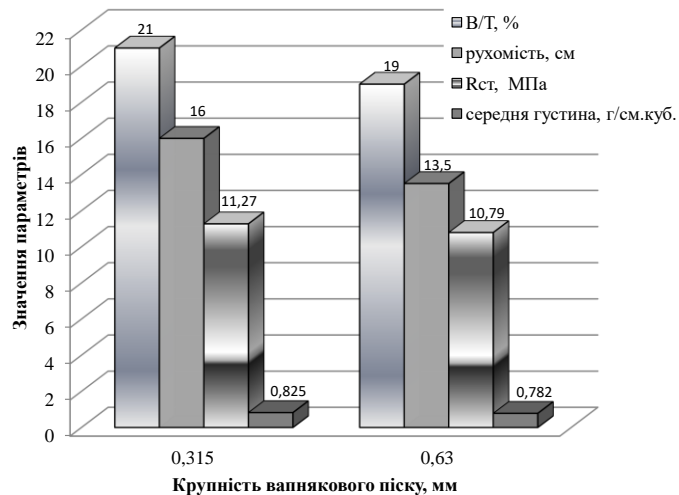


Рисунок 4 – Залежність властивостей СБС від гранулометрії КД при додаванні 0,3 % ефіру целюлози, 4 % редиспергуючого порошку

Як видно з рис. 4 при гранулометрії вапнякового наповнювача до 0,315 мм спостерігається більша водопотреба, і як наслідок рухомість, розчинової суміші, а також вища середня густина затверділого розчину у порівнянні з розчином, де використовувались наповнювачі максимальною крупністю до 0,63 мм. Міцність зразків на стиск відрізняється несуттєво. Це пояснюється щільнішим упакуванням часток суміші з меншим розміром зерен та повітряних бульбашок, утворених піноутворюючими речовинами.

Позитивну дію на водоутримувальну здатність суміші чинить введення ефіру целюлози (рис. 5).

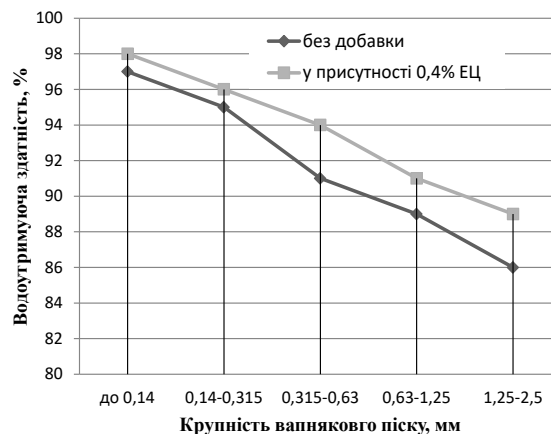


Рисунок 5 – Залежність водоутримуючої здатності суміші від гранулометрії КД та вмісту ефіру целюлози

З рис. 5 видно, що водоутримання розчинової суміші збільшується із використанням КД з $M_k < 0,315$.

Таким чином введення полімерних добавок дозволяє отримати СБС із покращеними реологічними та фізико-механічними властивостями. Це пояснюється тим, що полімерні добавки покращують водопоглинання та стабільність піннодисперсних цементних розчинів, а, отже, як наслідок зростає рухомість розчинів без збільшення водопотреби суміші, значно зменшились усадкові деформації. Також введення полімерних добавок дозволило підвищити міцність на стиск, а поліпропіленова фібра дозволила збільшити міцність на згин. Ці залежності пов'язані із міцними адгезійними зв'язками полімерних молекул та мінеральних складових суміші [9-11].

Зростання фізико-механічних характеристик розчинів, які мають дрібнопористу структуру, під час введення полімерних добавок можна пояснити сильною адсорбційною взаємодією полімеру й мінеральних наповнювачів. Також слід враховувати, що при введенні полімерних добавок у мінеральну систему суміші було проведено обробку поверхні тонкодисперсних мінеральних наповнювачів, що забезпечило міцний зв'язок полімерних молекул з поверхнею наповнювача [11].

Висновки

1. Досліджено позитивний вплив полімерних добавок у вигляді поліпропіленової фібри, редиспергуючих порошоків та ефірів целюлози на властивості СБС. Наведені результати експериментальних досліджень свідчать про збільшення міцності розчинів з пористою структурою на 25-28%, рухомості на 23-37% без збільшення водопотреби суміші та зменшення середньої густини 7-16% за рахунок стабілізації властивостей піннодисперсної суміші полімерними добавками.

2. Експериментально обґрунтовано введення до складу суміші модифікуючих полімерних добавок: суперпластифікатор – 0,2 % від маси ПЦ, ефір целюлози – 0,3% від ПЦ, редиспергуючий порошок – 4 % від ПЦ, фібра поліпропіленова довжиною 4 мм – 0,3 кг. Використання СБС при наявності даних добавок у поєднанні із мінеральними добавками для отримання поризованого розчину дозволило відрегулювати і оптимізувати його властивості у напрямку підвищення рухомості на 37% без збільшення водопотреби, зменшення середньої густини на 16%, збільшення міцності поризованих розчинів при стиску на 28%, при згині – на 32%, закритої пористості – на 15%.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. А. В. Бондар, «Вплив мінеральних мікронаповнювачів і полімерних добавок на властивості сухих будівельних сумішей», на Міжнародній науково-технічній конференції «Інноваційні технології в будівництві», Вінниця: ВНТУ, 2018, с. 215-218.
2. А. В. Бондар, В. П. Ковальський, В. П. Бурлаков, та С. Р. Матвійчук, «Утилізація відходів промисловості шляхом виготовлення на їх основі сухих будівельних сумішей», Екологічні науки: науково-практичний журнал, № 3 (22), с. 21-24, 2018.
3. А. В. Бондар, «Вплив карбонатних добавок на властивості поризованих сухих будівельних сумішей», Науково-технічний журнал «Нові технології в будівництві», Випуск № 35, с. 63-67, 2018.
4. А. В. Бондар, «Модифікація мінеральних сухих будівельних сумішей полімерними добавками», на XLVII Науково-технічній конференції факультету будівництва, теплоенергетики та газопостачання (2018). [Електронний ресурс]. Доступно: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fbtegp/all-fbtegp-2018/paper/view/5252>. Дата звернення: Лютий 02, 2019.
5. Р. Ф. Рунова, та Ю. Л. Носовский, Технологія модифікованих будівельних розчинів. Київ, Україна: КНУБА, 2007.
6. ДСТУ Б В.2.7-126:2011. Суміші будівельні сухі модифіковані. Загальні технічні умови. Чинний від 2011-06-01. Вид. офіц. К.: Міністерство регіонального розвитку та будівництва України, 2011. 42 с.
7. Г. Б. Гірштель, та С. В. Глазкова, «Додавка поліфункціональної дії для цементних розчинів та сухих будівельних сумішей», Будівництво України, № 4, с. 19-22, 2009.
8. E. P. Kearsley, and H. F. Mostert, «The effect of fibre reinforcing on the properties of foamed concrete», on Role of Concrete in Sustainable Development: proceeding of International congress, Dundee, Scotland, 2003, P. 557-566.
9. А. В. Бондар, «Ефективні сухі будівельні суміші для елементів підлог цивільних будівель», дис. канд. наук.; Вінницький національний технічний університет, Вінниця, 2019.
10. Е. О. Спорягін, і К. С. Варлан, Теоретичні основи та технологія виробництва полімерних композиційних матеріалів: навч. посіб. Д.: Вид-во ДНУ, 2012.
11. А. В. Бондар, «Вплив мінеральних мікронаповнювачів і полімерних добавок на властивості сухих будівельних сумішей», на Міжнародній науково-технічній конференції «Інноваційні технології в будівництві», Вінниця: ВНТУ, 2018, с. 215-218.

REFERENCES

1. A. V. Bondar, "The influence of mineral microfillers and polymer additives on the properties of dry construction mixtures", at the International scientific and technical conference "Innovative technologies in construction", Vinnytsia: VNTU, 2018,

- p. 215-218.
2. A. V. Bondar, V. P. Kovalskyi, V. P. Burlakov, and E. R. Matviychuk, "Utilization of industrial waste by manufacturing dry construction mixtures based on it", *Ecological Sciences: Scientific and Practical Journal*, no. 3 (22), p. 21-24, 2018.
 3. A. V. Bondar, "The influence of carbonate additives on the properties of porous dry construction mixtures", *Scientific and technical journal "New technologies in construction"*, Issue No. 35, p. 63-67, 2018.
 4. A. V. Bondar, "Modification of mineral dry building mixtures with polymer additives", at the XLVII Scientific and Technical Conference of the Faculty of Construction, Heat and Power Engineering and Gas Supply (2018). [Electronic resource]. Available: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fbtegp/all-fbtegp-2018/paper/view/5252>. Application date: February 02, 2019.
 5. R. F. Runova and Yu. L. Nosovsky, *Technology of modified building mortars*. Kyiv, Ukraine: KNUBA, 2007.
 6. DSTU B V.2.7-126:2011. Dry modified construction mixes. General technical conditions. Valid from 2011-06-01. View. officer K.: Ministry of Regional Development and Construction of Ukraine, 2011. 42 p.
 7. G. B. Hirshtel and S. V. Glazkova, "Multifunctional additive for cement mortars and dry construction mixtures", *Building of Ukraine*, No. 4, p. 19-22, 2009.
 8. E. P. Kearsley, and H. F. Mostert, "The effect of fiber reinforcing on the properties of foamed concrete", on *Role of Concrete in Sustainable Development: proceeding of International congress*, Dundee, Scotland, 2003, P. 557-566.
 9. A. V. Bondar, "Effective dry construction mixtures for floor elements of civil buildings", diss. Ph.D. Sci.; Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, 2019.
 10. E. O. Sporyagin and K. E. Varlan, *Theoretical foundations and production technology of polymer composite materials: training. manual D.*: Publishing House of DNU, 2012.
 11. A. V. Bondar, "The influence of mineral microfillers and polymer additives on the properties of dry construction mixtures", at the International scientific and technical conference "Innovative technologies in construction", Vinnytsia: VNTU, 2018, p. 215-218.

Бондар Альона Василівна – кандидат технічних наук, доцент кафедри будівництва, міського господарства та архітектури, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, email: bondarav@vntu.edu.ua, ORCID 0000-0002-8098-1181

Дудар Ігор Никифорович – доктор технічних наук, професор кафедри будівництва, міського господарства та архітектури, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, email: maksymenko@vntu.edu.ua, ORCID 0000-0003-1345-8144

Мороз Дмитро Володимирович – магістр, кафедри будівництва, міського господарства та архітектури, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, email: scorpionwwe2106@gmail.com

**A. Bondar
I. Dudar
D. Moroz**

STUDY OF THE INFLUENCE OF POLYMER ADDITIVES ON THE PROPERTIES OF DRIED DRY BUILDING MIXTURES

Vinnytsia National Technical University

The theoretical prerequisites for obtaining porous mortars modified with polymer additives based on dry construction mixtures and experimental studies on determining the influence of these additives on the parameters of mixture preparation and on the rheological and physico-mechanical properties of porous mortar are presented.

The article presents the results of theoretical-experimental studies of the complex influence of polymer additives on the properties of dry construction mixtures made with an activated mineral component - Portland cement and mineral fillers and microfillers based on local raw materials. The main results of experimental studies of porous compositions of dry mixtures for floors with the addition of polymer additives are given.

It was established that the modification of dry building mixtures based on Portland cement and activated mineral fillers with polymer additives allows to increase by 25-40% the physical and mechanical properties of hardened solutions for floors and to obtain compositions with a compressive strength of up to 16.3 MPa, as well as to significantly improve the rheology of the mortar mixtures and reduce shrinkage phenomena when introducing corrosive additives without increasing the water consumption of the mixture and overusing the binder.

Key words: *dry construction mixtures, additive, mineral components of the mixture, polypropylene fiber, redispersing powders, cellulose ether, modification, porous structure, mixtures for floors, strength, spreading, average density, surfactants, polyvinyl acetate additive (PVA), liquid glass (silicate glue), plasticizer, activation.*

BondarAlen – PhD, associate professor of department construction, urban and architectural Vinnytsia National Technical University.

Ihor Dudar – Doctor of Technical Sciences, Professor of department construction, urban and architectural Vinnytsia National Technical University.

Dmytro Moroz – Master of department construction, urban and architectural Vinnytsia National Technical University.