

УДК 691.311

*Дворкін Л.Й., доктор техн. наук, професор,
Миرونенко А.В., канд. техн. наук, доцент,
Поліщук-Герасимчук Т.О., канд. техн. наук, асистент,
Національний університет водного господарства та
природокористування, м. Рівне*

СУХІ БУДІВЕЛЬНІ СУМІШІ ДЛЯ ВЛАШТУВАННЯ ПІДЛОГ НА ОСНОВІ МОДИФІКОВАНИХ ГІПСОВИХ І ФОСФОГІПСОВИХ В'ЯЖУЧИХ

Сучасне виробництво орієнтується на виготовлення ефективних матеріалів за технологіями, які б передбачали мінімальні витрати сировини, енергії, застосування вторинних ресурсів та ін. В цій категорії будівельних матеріалів особливе місце займають гіпсові в'язучі (ГВ) β-модифікації, завдяки низькій енергоємності та широкій розповсюдженості сировини, до якої належить і великотоннажний гіпсовий відход хімічної промисловості – фосфогіпс. ГВ мають ряд унікальних властивостей, але при цьому невисоку міцність (5-6 МПа) [1-3].

Відомо, що кардинальні способи підвищення міцності низьковипалювальних гіпсових в'язучих передбачають наступне:

- отримання альфа-модифікації напівводного гіпсу;
- виробництво високоміцного гіпсу у рідких середовищах;
- застосування жорстких сумішей;
- замішування або просочування будівельного гіпсу водорозчинними полімерами (карбамідними, акриловими та ін.).

Але наведені методи підвищення міцності ГВ пов'язані з рядом недоліків, які ускладнюють процес виготовлення, а саме:

- автоклавна обробка – здорожчує технологію виготовлення в'язучих і в зв'язку з цим використовується дуже обмежено;
- виробництво високоміцного гіпсу у рідких середовищах потребує промивання продукту гарячою водою, зневоднення в фільтрах або центрифугах і сушіння;
- застосування жорстких сумішей суттєво обмежує номенклатуру можливих гіпсових матеріалів і виробів, потрібне пресове обладнання;
- для отримання полімергіпсу необхідна велика кількість синтетичних полімерів високої вартості, а для тверднення їх у порах матеріалу – теплова обробка виробів протягом 10...14 год.

Останнім часом застосовують спрощені, енерго- та ресурсозберігаючі технології виробництва будівельних матеріалів. Суттєвого покращення властивостей гіпсових в'язучих можна досягнути шляхом їх модифікування хімічними добавками, а саме суперпластифікаторами нового покоління.

На даний час розроблені добавки-гіперпластифікатори, що наділені високим водоредукуючим ефектом. У в'язучих системах на основі портландцементу вони можуть знижувати водопотребу до гранично низьких значень [4]. Стосовно будівельного гіпсу, хоча і відмічене при введенні основних видів суперпластифікаторів певне зниження водогіпсового відношення [5], ефект є значно меншим і задача розробки для них ефективних добавок-модифікаторів є актуальною.

Перспективними будівельними матеріалами на основі модифікованих гіпсових в'язучих є сухі будівельні суміші (СБС) модифіковані – однорідні сипкі композиції оптимального складу, що вміщують точно віддозовані та перемішані сухі компоненти. Чинними нормативними документами

в Україні на сухі будівельні суміші модифіковані є ДБН В.2.6–22–2001 та ДСТУ-П Б В.2.7-126:2011. Сухі будівельні суміші для влаштування підлог згідно ДБН В.2.6–22–2001 являють собою полімермінеральні системи, що містять мінеральні в'язучі, заповнювачі, наповнювачі та різні добавки (для підвищення тріщиностійкості, стиранності, водостійкості). В якості в'язучих компонентів вводять в СБС для влаштування підлог переважно портландцементи, глиноземистий, високоглиноземистий цементи або їх суміші. Останнім часом на ринку будівельних матеріалів попитом користуються гіпсові самонівельовані суміші, так звані ангідритові підлоги [6]. Такі сухі будівельні суміші модифіковані потребують введення до їх складу дефіцитного компонента – ангідритового в'язучого або високоміцних гіпсових в'язучих α -модифікації.

Мета даної роботи полягала у розробці ефективного поліфункціонального модифікатора гіпсових і фосфогіпсових систем на основі сучасних суперпластифікаторів для підвищення міцності гіпсових і фосфогіпсових в'язучих (ФГВ) β -модифікації та у підборі рецептур сухих будівельних сумішей модифікованих для влаштування підлог на основі цих в'язучих.

Авторами розроблено комплексний модифікатор гіпсових систем, який складається з гіперпластифікаторів на основі поліакрилатних (Dynamon) або полікарбоксилатних (Melflux) полімерів та вапна гашеного. Високоміцне ГВ виготовляють шляхом помелу в кульовому млині будівельного гіпсу (Г-5), суперпластифікатора (Melflux 1641F або Melflux 2651F, або Dynamon SP3) та вапна, взятих у оптимальному співвідношенні. Результати досліджень наведені в табл.1.

Таблиця 1 – Властивості гіпсового в'язучого з комплексними добавками на основі суперпластифікаторів

Вид суперпластифікатора	Кількість суперпластифікатора від маси в'язучого, %	Кількість вапна від маси в'язучого, %	В/Г	Строки тужавлення, хв		Міцність у віці 2 год, МПа	
				початок	кінець	згин	стиск
Без добавки	-	-	0,6	5	10	2,5	4,8
Dynamon SP3	0,22	2	0,45	8	12	3,9	6,8
Dynamon SP3	0,44	2	0,4	10	13	4,3	8,8
Dynamon SP3	0,66	1	0,4	12	15	4,8	9,7
Dynamon SP3	0,66	2	0,34	22	25	6,9	12,6
Dynamon SP3	0,88	2	0,34	23	26	6,8	13,0
Dynamon SP3	0,88	3	0,34	24	27	7,0	12,9
Dynamon SP3	1,10	3	0,35	24	28	6,7	12,4
Melflux 1641F	0,2	1	0,45	12	14	5,9	11,1
Melflux 1641F	0,4	2	0,38	15	18	6,3	11,8
Melflux 1641F	0,6	2	0,32	20	23	8,2	16,1
Melflux 1641F	0,6	2	0,31	19	22	9,0	17,9
Melflux 1641F	0,6	3	0,32	24	26	8,3	15,6
Melflux 2651F	0,4	1	0,41	34	38	5,2	10,1
Melflux 2651F	0,4	2	0,4	36	39	5,1	9,9
Melflux 2651F	0,6	2	0,3	40	45	9,8	19,3
Melflux 2651F	0,7	3	0,31	48	52	9,1	17,8

Експериментально встановлено, що вміст добавок типу Dynamon повинен бути близько 0,66 %, а Melflux – 0,6 %, кількість вапна (на CaO) – близько 2 % від маси в'язучого, при цьому В/Г=0,31-0,35, розплив по Суттарду 185-220 мм, а міцність гіпсового каменю у віці 2 год становить

12-18 МПа. Подальше збільшення витрати добавок не призводить до значного збільшення пластифікуючих властивостей.

Дослідження показали, що для досягнення високої міцності гіпсового в'язучого (12-18 МПа) і низьких показників водогіпсового відношення (0,31-0,35) велике значення має спосіб приготування тіста в'язучого і тривалість твердіння. Просте перемішування, згідно з вимогами ДСТУ Б В.2.7-82-99, тобто отримання пластичного тіста за 30 секунд за допомогою ручного змішувача не є ефективним. При застосуванні інтенсивного «силового» перемішування і вищевказаного поліфункціонального модифікатора вапно-Melflux або вапно-Dynamon в оптимальному співвідношенні можна отримати високоміцні гіпсові в'язучі при $V/G \leq 0,35$ з міцністю 12...18 МПа через 2 год твердіння при стандартній консистенції. Таке інтенсивне перемішування доцільно здійснювати на змішувачах бігункового типу протягом 2...3 хв.

Подібні результати досліджень ($V/G \leq 0,35$, розплив по Суттарду - 180...220 мм, міцність на стиск – 11-16 МПа) отримано і при введенні комплексного модифікатора, який містить суперпластифікатори нового покоління та вапно гашене, у фосфогіпсові в'язучі. Модифіковані гіпсові і фосфогіпсові в'язучі за своїми основними показниками не поступаються гіпсу α -модифікації.

Ефект модифікації полікарбонату вапном можна пояснити тим, що при взаємодії суперпластифікаторів типу Melflux з вапном, відбувається модифікація полікарбонатного ефіру шляхом заміщення в активних радикалах цієї сполуки (CO_2Na) іонів Na^+ на іони Ca^{2+} . Подібний процес спостерігається і при використанні цієї добавки в цементних розчинах і бетонах, в яких вапно виділяється при гідратації цементу, у гіпсових же розчинах, за відсутності лужного середовища, вищевказана модифікація Melflux, без додаткового введення вапна неможлива. Схожий ефект спостерігається і при застосуванні суперпластифікатора поліакрилатного типу Dynamon.

Отже, комплексні модифікатори у складі *гашене вапно + добавки-суперпластифікатори I-ї групи* на основі поліакрилатів (Dynamon SP3) або полікарбонатів (Melflux 1641F або Melflux 2651F) є ефективними гіперпластифікаторами гіпсу, які дозволяють зменшити водопотребу гіпсового розчину до $V/G=0,31...0,35$ і збільшити міцність гіпсового каменю від 5...6 до 12...18 МПа, тобто отримати із рядового низькоміцного гіпсу β -модифікації високоміцне в'язуче, міцність якого наближається до міцності гіпсу α -модифікації.

На основі розроблених високоміцного гіпсового і фосфогіпсового в'язучих виготовлено самонівельовані суміші для покриття підлог. Особливістю таких розчинів гіпсових підлог є швидкий набір міцності, що дозволяє експлуатувати їх відразу після вкладання на відміну від цементних композицій для підлог. Згідно діючих нормативних документів, до підлог ставляться високі вимоги щодо їх міцності – 15...35 МПа, при цьому розтічність розчину повинна бути не менше 17 см.

Запропоновані гіпсові суміші для влаштування покриттів підлог виготовлено шляхом механічного змішування в кульовому млині наступних компонентів: модифікованого ГВ (будівельного гіпсу марки Г-5, гашеного будівельного вапна, суперпластифікатора Melflux 1641 F), портландцементу М500 (ПЦ), добавки ефіру целюлози, сповільнювача тужавлення – лимонної кислоти, дисперсного наповнювача – метакаоліну, заповнювача – кварцового піску.

Вибір компонентів для виготовлення наливних підлог пояснюється необхідністю забезпечення швидкого зростання міцності в початковий період твердіння за рахунок дії гіпсового в'язучого (або фосфогіпсового) і суперпластифікатора Melflux, а в більш пізньому віці (14-28 діб) - процесів структуроутворення при твердінні портландцементу та метакаоліну.

Для вибору технологічних параметрів виготовлення сухих будівельних сумішей для влаштування підлог, виконано алгоритмізовані експерименти у відповідності з типовим планом На5 [7]. Умови планування та матриця експерименту наведені в табл. 2-3.

Таблиця 2 - Умови планування експерименту

Параметр	Фактор	Рівні варіювання			Інтервал варіювання
		-1	0	+1	
Пісок /модифіковане ГВ	x_1	0,7	1	1,3	0,3
Вміст ПЦ, %	x_2	5	10	15	5
Вміст метакаоліну, %	x_3	5	15	25	10
Вміст Tylose, %	x_4	0	0,03	0,06	0,03
Водов'язуче відношення	x_5	0,45	0,50	0,55	0,05

Таблиця 3 – Матриця планування та результати досліджень гіпсових розчинів самонівельованих наливних підлог з добавкою метакаоліну

Натуральні значення факторів					Розлив по Суттарду, мм	Термін придатності, хв	Границя міцності, МПа		
Пісок/ Модифік. ГВ, (x_1)	ПЦ, % (x_2)	Метакаолін, % (x_3)	Tylose, % (x_4)	В/В'язуче (x_5)			1 доба	3 доби	28 діб
							Стиск		
1,3	15	15	0,06	0,55	200	45	3,63	6,13	11,36
0,7	5	15	0,06	0,55	205	43	4,42	7,47	13,83
0,7	15	5	0	0,45	195	35	5,02	8,44	15,63
1,3	5	5	0	0,45	182	32	2,85	4,82	8,92
0,7	15	5	0,06	0,55	201	42	4,48	7,57	14,01
1,3	5	5	0,06	0,55	202	45	2,31	3,89	7,21
1,3	15	15	0	0,45	195	33	4,03	6,76	12,51
0,7	5	15	0	0,45	185	32	5,77	10,74	18,04
0,7	15	15	0,06	0,45	198	41	5,42	9,12	16,88
1,3	5	15	0,06	0,45	180	43	3,29	5,57	10,31
1,3	15	5	0	0,55	182	35	2,78	4,71	8,11
0,7	5	5	0	0,55	190	34	4,77	8,06	14,92
0,7	15	15	0	0,55	200	32	4,89	8,24	15,25
1,3	5	15	0	0,55	195	33	2,94	4,97	9,21
1,3	15	5	0,06	0,45	180	42	3,13	5,29	9,8
0,7	5	5	0,06	0,45	180	43	4,47	7,55	13,98
1,3	10	10	0,03	0,50	190	38	3,16	5,34	9,89
0,7	10	10	0,03	0,50	195	39	4,65	7,86	14,55
1	15	10	0,03	0,50	180	37	4,05	6,84	12,66
1	5	10	0,03	0,50	190	38	3,79	6,39	11,83
1	10	15	0,03	0,50	195	36	4,01	6,76	12,52
1	10	5	0,03	0,50	190	37	3,86	6,51	12,05
1	10	10	0,06	0,50	180	40	3,79	6,41	11,85
1	10	10	0	0,50	195	32	4,23	7,13	13,21
1	10	10	0,03	0,55	180	37	3,61	6,06	11,23
1	10	10	0,03	0,45	180	32	4,87	8,21	15,21
1	10	10	0,03	0,50	180	35	4,11	6,93	12,83

В результаті експериментальних досліджень отримані рівняння регресії міцності на згин та стиск розчинів самонівельованих наливних підлог на основі високоміцному модифікованого гіпсового в'язучого у різному віці (табл. 4).

Таблиця 4 - Рівняння регресії міцності гіпсових розчинів для самонівельованих наливних підлог

Вихідні параметри	Рівняння регресії
Міцність на згин у віці 1 доба, МПа	$R_{зг}^{1доба} = 2,08 - 0,28x_1 + 0,05x_2 + 0,07x_3 - 0,06x_4 - 0,12x_5 + 0,12x_1^2 - 0,03x_2^2 - 0,04x_3^2 - 0,04x_4^2 + 0,12x_5^2$ (1)
Міцність на згин у віці 3 доби, МПа	$R_{зг}^{3доби} = 3,41 - 0,75x_1 + 0,15x_2 + 0,25x_3 - 0,08x_4 - 0,26x_5 - 0,06x_1^2 - 0,06x_2^2 - 0,05x_3^2 + 0,02x_4^2 + 0,20x_5^2$ (2)
Міцність на згин у віці 28 діб, МПа	$R_{зг}^{28діб} = 6,22 - 1,36x_1 + 0,24x_2 + 0,41x_3 - 0,20x_4 - 0,43x_5 - 0,16x_1^2 - 0,14x_2^2 - 0,09x_3^2 + 0,04x_4^2 + 0,37x_5^2$ (3)
Міцність на стиск у віці 1 доба, МПа	$R_{ст}^{1доба} = 4,0 - 0,88x_1 + 0,16x_2 + 0,26x_3 - 0,13x_4 - 0,28x_5 - 0,09x_1^2 - 0,08x_2^2 - 0,06x_3^2 + 0,01x_4^2 + 0,24x_5^2$ (4)
Міцність на стиск у віці 3 доби, МПа	$R_{ст}^{3доби} = 6,77 - 1,47x_1 + 0,26x_2 + 0,44x_3 - 0,22x_4 - 0,47x_5 - 0,15x_1^2 - 0,13x_2^2 - 0,11x_3^2 + 0,02x_4^2 + 0,39x_5^2$ (5)
Міцність на стиск у віці 28 діб, МПа	$R_{ст}^{28діб} = 12,53 - 2,77x_1 + 0,44x_2 + 0,85x_3 - 0,37x_4 - 0,9x_5 - 0,28x_1^2 - 0,25x_2^2 - 0,21x_3^2 - 0,03x_4^2 + 0,72x_5^2$ (6)

Аналіз поліноміальних моделей (1-6), отриманих в результаті обробки експериментальних даних, дозволяє прослідкувати вплив досліджуваних факторів на міцність розчинів самонівельованих наливних підлог і знайти їх оптимальні значення (рис. 1). Згідно отриманих графічних залежностей (рис. 1) встановлено, що з часом міцність при стиску розчинів наливних підлог на основі модифікованого високоміцного гіпсового в'язучого зростає від 5,45 до 16,88 МПа, при цьому водогіпсове відношення становить 0,45, розтічність (по Суттарду) знаходиться в межах 180-200 мм. Підвищення міцності в більш пізньому віці (28 діб) пояснюється спільною дією таких компонентів, як портландцемент в кількості 15% і метакаолін – 15%. Водоутримуюча здатність суміші для підлог забезпечується шляхом введення ефіру целюлози Tylose в кількості 0,03%, а необхідний термін придатності розчинів становить 30-50 хв і забезпечується за рахунок сповільнення тужавлення лимонною кислотою.

Наливні самонівельовані підлоги можна виготовляти також і на основі високоміцного фосфогіпсового в'язучого. Залежності міцності розчину СБС на основі фосфогіпсового в'язучого від факторів складу в цілому подібні до залежностей гіпсового. При цьому необхідно враховувати більш сповільнене підвищення міцності фосфогіпсовим в'язучим у порівнянні з гіпсовим, що накладає деякі обмеження на строки виконання будівельних робіт; пересування людей та механізмів по такій підлозі можна починати не раніше 18...20 год після вкладання. Через 24 год твердіння такі розчини вже відповідають вимогам до груп П1 та П2 згідно класифікації сумішей для влаштування підлог згідно з ДБН В.2.6-22-2001 (міцність при стиску через 1 добу - 4...5 МПа, 3 доби – 10...11 МПа, через 28 дб - 15...18 МПа). А також встановлено, що в якості дисперсного наповнювача можна вводити в таку систему не лише метаколін, але й відход виробництва – золу-виносу, у кількості від 5 до 15 %.

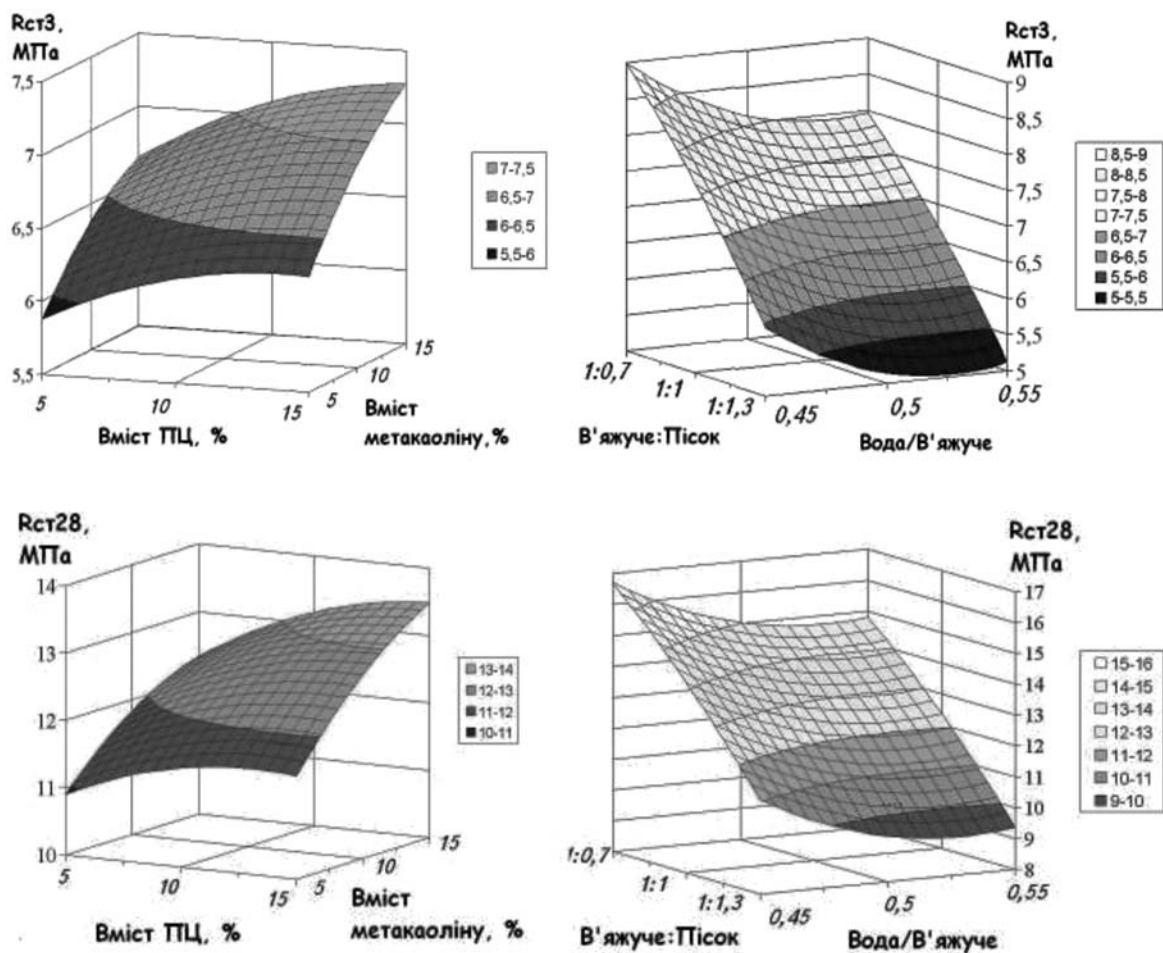


Рисунок 1 - Залежності міцності на стиск розчинів наливних самонівельованих підлог на основі високоміцного гіпсового в'язучого у віці 3 і 28 дб від технологічних факторів

Таким чином, запропоновані модифіковані гіпсові та фосфогіпсові в'язучі є технологічно та економічно ефективними матеріалами для виготовлення сухих будівельних сумішей для влаштування підлог. Розчини самонівельованих наливних підлог на основі ГВ та ФГВ з комплексною добавкою гіперпластифікатор + вапно гашене за основними показниками (рухливістю, терміном придатності, міцністю, адгезією та ін.) відповідають вимогам діючих нормативних документів ДБН В.2.6–22–2001 та ДСТУ Б В.2.7-126:2011.

ЛІТЕРАТУРА

1. Ферронская А.Ф. Развитие теории и практики в области гипсовых вяжущих веществ // Строительные материалы. – 2000. – № 2. – С. 26-29.
2. Ферронская А.Ф. Гипс в современном строительстве//Строительные материалы.–1995. –№ 2.–С.16-19.
3. Ферронская А.В. Гипсовые материалы и изделия (производство и применение)/ Ферронская А.В. – Москва: Издательство ассоциации строительных вузов, 2004. – 485 с. – (Справочник).
4. Поліфункціональні добавки на основі поліакрилатів у пуцоланових цементах/ П.С. Шилюк, В.І. Гоц, Р.Ф. Рунова [та ін.] // Будівництво України. – 2004. – №7. – С. 29-31.
5. Влияние пластификаторов на твердение гипсового вяжущего/ С. С. Шленкина, М.С. Гаркави, Х.Б. Фишер [и др.] // Строительные материалы. – 2007. – №9. – С. 61-64.
6. Сучасні композиційні будівельно-оздоблювальні матеріали/ [Захарченко П. В., Долгий Е. М., Галаган Ю. О та ін.] – Київ, 2005. – 511 с. 7. Рекомендация по применению методов математического планирования эксперимента в технологии бетона. -М.: НИИЖБ, 1982. – 97 с.