

УДК 691.53

*Саницький М.А., доктор техн. наук, професор,
зав. кафедри будівельного виробництва;
Кропивницька Т.П., канд. техн. наук, асистент;
Котів Р.М., аспірант;
Мазурак Т.А., магістр,
НУ "Львівська політехніка", м. Львів*

КОМПЛЕКСНІ МОДИФІКАТОРИ ДЛЯ ВИСОКОФУНКЦІОНАЛЬНИХ БУДІВЕЛЬНИХ РОЗЧИНІВ

На даний час все більшого впровадження і вдосконалення набуває монолітно-каркасна технологія будівництва, яка забезпечує високий рівень індустріалізації, не вимагає створення виробничої бази високої вартості та дозволяє зменшити затрати у промисловому та цивільному будівництві. Дана технологія передбачає застосування цегли та блоків, які скріплюються мурувальним розчином, для зведення огорожувальних конструкцій та внутрішніх перегородок будівель, при цьому також виникає необхідність проведення опоряджувальних робіт [1, 2]. Кладка з цегли та дрібноштучних виробів залишається актуальною і при будівництві малоповерхового житла та інших громадських будівель.

Останнім часом будівельні розчини, як правило, виготовляються в централізованому порядку на стаціонарних розчинобетонних автоматизованих вузлах і доставляються автобетонозмішувачами у виді готових високорухомих сумішей до місця будівельних робіт. Тому виникає потреба одержання легкокладальних розчинових сумішей з підвищеним терміном придатності та будівельних розчинів з необхідною номенклатурою показників якості, зокрема при твердненні в умовах понижених додатних та від'ємних температур. Це визначає, що будівельні розчини повинні характеризуватись високою функціональністю, а їх технологія вимагає розробки комплексних модифікаторів пластифікуюче-повітровтягувальної дії [3, 4].

При проведенні експериментів використано портландцементи загальнобудівельного призначення ПЦ І-500 ВАТ "Івано-Франківськцемент" та ПЦ ІІ/А-Ш-400 ВАТ "Миколаївцемент", а також добавки гідрофобно-пластифікуючої дії з повітровтягувальним ефектом (FEBMIX, SLES, Mortan 81) та високорозчинні солі натрію тіосульфату $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ (ТН) і натрію роданіду NaCNS (РН) або їх суміші (ТРН). Стабілізуюча добавка Mortan 81 (Альпі-Львів) є рідким пластифікатором із сповільнюючим ефектом, до складу якої входять повітровтягувальні компоненти (LP), що забезпечують пластичність та низьку в'язкість розчинової суміші, а також компонент (VZ), що дозволяє збільшити термін придатності до 36 годин.

Структура та властивості розчинової суміші і будівельного розчину в значній мірі регулюються за рахунок використання пластифікуючих добавок різного типу [5-7]. При застосуванні складних розчинів отримуються лише малорухомі розчинові суміші (марка за рухомістю П4), а при вищій рухомості (П12; П14) такі суміші схильні до розшарування та водовідділення. Добавки гідрофільного типу є ефективними пластифікаторами сумішей з високим вмістом портландцементу, тому введення 0,5 мас. % ЛСТ в розчинові суміші не суттєво впливає на їх легкокладальність (табл. 1). В той же час аніонактивні гідрофобно-пластифікуючі добавки повітровтягувальної дії навіть у невеликих кількостях (0,04-0,10 мас. %) призводять до збільшення рухомості сумішей для жирних та пісних розчинів від 2 см відповідно до 8 та 10...12 см. При цьому середня густина суміші зменшується на 12-15% і міцність розчину знижується у віці 7 та 28 діб – відповідно на 20-50 та 10-15%. Синергетичне поєднання добавок повітровтягувальної та прискорюючої дії (ПВ+ТРН) призводить до зростання кінетики набору міцності будівельних розчинів.

З метою одержання максимальної міцності будівельних розчинів в різних умовах тверднення, при забезпеченні високої рухомості розчинових сумішей, проведено математичне планування експерименту. Графічна інтерпретація даних дозволяє визначити оптимальний склад комплексного модифікатора пластифікуюче-повітровтягувальної дії з протиморозним ефектом (0,05 мас. % ПВ та 1,5 мас. % РН). Використання комплексної хімічної добавки забезпечує одержання будівельних розчинів (марка за рухомістю П8; П12) марок за міцністю на стиск: в нормальних умовах

БУДІВЕЛЬНІ МАТЕРІАЛИ, ВИРОБИ ТА САНІТАРНА ТЕХНІКА

тверднення - M150; M200, в умовах понижених додатних температур (+5 °С) – M100; M150 та від’ємних температур (-15°С) – M50; M75.

Таблиця 1 – Вплив модифікаторів на рухомість розчинових сумішей та міцність будівельних розчинів

Кількість та вид добавки, мас. %	В/Ц	Рухомість, см	Середня густина розчинової суміші, кг/м ³	Витрата цементу на 1 м ³ розчинової суміші, кг	$\frac{\Delta V}{V}$, %	Границя міцності на стиск, МПа, у віці, діб	
						7	28
-	1,30	2,0	1930	207	-	1,4	2,5
0,5% ЛСТ	1,30	3,0	1900	204	1,6	2,8	3,3
0,04% FEBMIX DH	1,30	3,5	1890	203	0,5	2,4	3,4
-	1,16	5,5	2000	280	-	5,1	6,0
0,04% Цемплас	1,16	10,5	1745	243	14,6	0,7	2,1
0,05% SLES	1,16	12,0	1770	247	12,9	2,6	5,1
-	0,70	3,1	2100	447	-	14,2	21,0
20% вапн. тіста	0,70	4,0	2025	430	3,7	13,9	19,2
0,05% SLES	0,70	8,4	1840	390	14,1	11,9	18,7

Розчинова суміш з комплексним модифікатором (КМ) характеризується підвищеною здатністю до збереження заданої марки за рухомістю в умовах понижених температур. Так (рис. 1), рухомість модифікованої розчинової суміші зменшується від 12 до 8 см за 6 год, що відповідає запроектованій марці за рухомістю П12. Слід відзначити, що модифіковані розчинові суміші відповідають вимогам ДСТУ Б В.2.7-23-96 щодо розшаровуваності та водоутримувальної здатності.

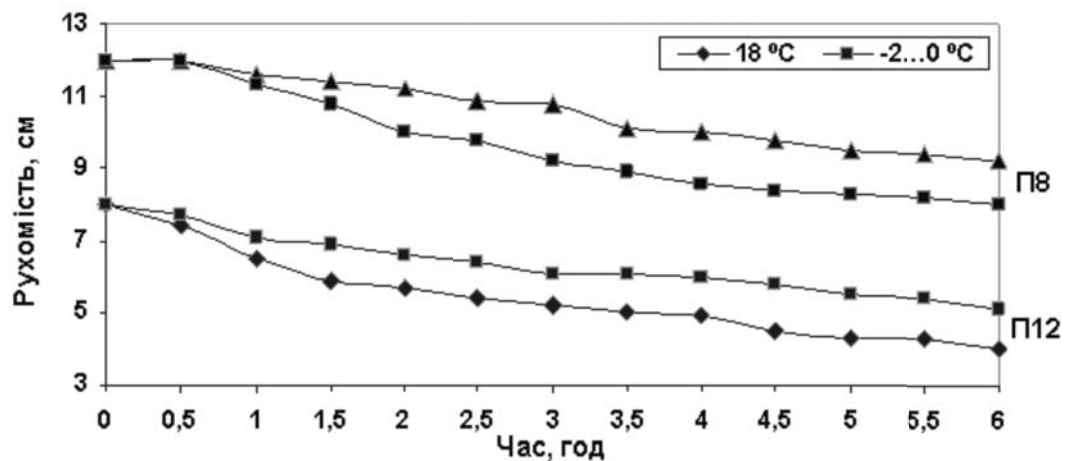


Рисунок 1 – Зміна рухомості модифікованих розчинових сумішей

Як видно з рис. 2, границя міцності на стиск модифікованого будівельного розчину з комплексним модифікатором (0,05 мас. % ПВ та 1,5 мас. % РН) через 28 діб тверднення при температурі +5°С становить 18,2 МПа, тоді як для традиційного розчину знижується у 8,6 разів. При температурі -15°С показник міцності модифікованого будівельного розчину збільшився в 4,7 разів, порівняно з будівельним розчином із добавкою вапняного тіста. Після додаткового зберігання зразків будівельних розчинів в нормальних умовах тверднення протягом 28 діб, границя міцності на стиск модифікованого розчину підвищилась до 19,8 МПа, а традиційного – лише до 4,3 МПа.

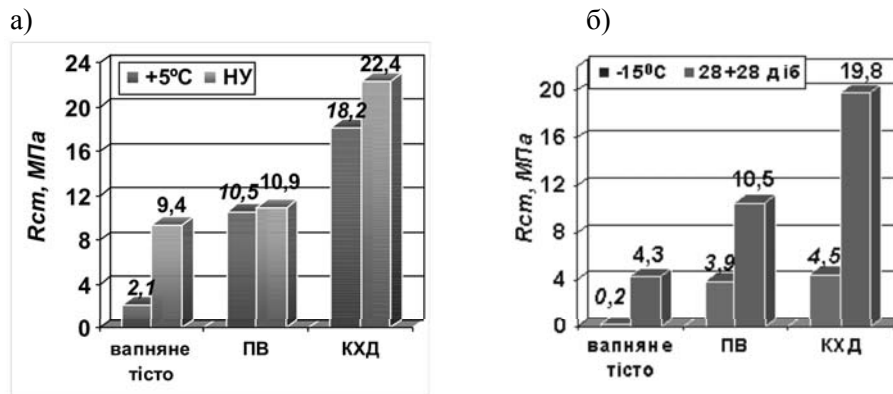


Рисунок 2 – Міцність модифікованих будівельних розчинів, що тверднули при понижених додатних (а) та від'ємних (б) температурах

Результати фізико-механічних випробувань модифікованих будівельних розчинів ($\rho=300$ кг на 1 м^3 піску; марка за рухомістю П12), що тверднули при знакозмінних температурах ($-10\dots+9^{\circ}\text{C}$), представлено в табл. 2. Звідси видно, що використання комплексних добавок з протиморозним ефектом (КМ) забезпечує зниження водоцементного відношення на 34% та зменшення середньої густини розчинової суміші від 1950 до 1560 кг/м^3 . При цьому границя міцності на стиск через 28 діб тверднення зростає на 25% та відповідає марці за міцністю М100.

Таблиця 2 – Фізико-механічні властивості будівельного розчину при твердненні в умовах знакозмінних температур ($t=-10\dots+9^{\circ}\text{C}$)

Вид та кількість добавки	В/Ц	РК, мм	$\rho_{p.c.}$, кг/м^3	Терміни тужавіння, год-хв		Границя міцності на стиск, МПа, у віці, діб		ρ_p , кг/м^3
				поч.	кін.	7	28	
20 мас.% вапняного тіста	1,10	258	1930	5-50	8-50	5,1	8,7	1875
0,4 мас.% КМ	1,00	227	1680	7-10	9-20	6,8	10,9	1700
0,8 мас.% КМ	0,72	222	1560	6-50	9-10	6,3	9,5	1565

Методом низькотемпературної дилатометрії встановлено, що для розчинової суміші Ц:П=1:3,3 (В/Ц=0,70) процеси льодоутворення починаються при температурі (-2) $^{\circ}\text{C}$, при цьому деформації розширення складають 0,93%, а при подальшому охолодженні до (-15) $^{\circ}\text{C}$ досягають 1,77%. При введенні 0,04...0,10 мас.% комплексного модифікатора з протиморозним ефектом легковкладальність розчинової суміші зростає на 30%, температура початку замерзання рідкої фази зміщується до ($-5,9$)...($-7,2$) $^{\circ}\text{C}$, деформації льодоутворення складають 0,91...0,58% і при температурі (-15) $^{\circ}\text{C}$ досягають 1,07...0,86%.

Кількість повітровтягувальної добавки (ПВ) в значній мірі визначає пористість будівельного розчину [8]. Для будівельного розчину М100 з добавкою вапняного тіста загальна пористість складає 23,17 % (відкрита - 16,68 %, закрита - 6,49 %). В той же час, для модифікованого будівельного розчину ($\rho=1860 \text{ кг/м}^3$) загальна пористість зростає до 26,77 %, проте співвідношення між відкритою та закритою пористістю змінюється (відповідно 7,61 та 19,16%). Введення 0,03...0,05 мас.% ПВ призводить до зменшення коефіцієнту середнього розміру пор до 2,77...1,95. Поєднання дії комплексного модифікатора ПВ+ТРН забезпечує покращення порової структури матеріалу – коефіцієнт середнього розміру пор зменшується до 0,82, підвищується однорідність пор за розмірами із забезпеченням дрібнопористої структури.

Внаслідок нерівномірного розподілу вологісних та температурних деформацій за об'ємом, а також через обмеження деформацій зовнішніми зв'язками, в кам'яній кладці та штукатурці виникають напруження. Процес тверднення розчину супроводжується зміною його об'єму. Недостатня водоутримувальна здатність розчину призводить до «самообезводнення» і, як

наслідок, до значних деформацій усадки. Як видно з рис. 3, введення 0,05 мас.% ПВ дозволяє зменшити деформації усадки будівельного розчину в 1,8 рази, порівняно з традиційним розчином. Модифікований будівельний розчин характеризується усадкою 0,3 мм/м.

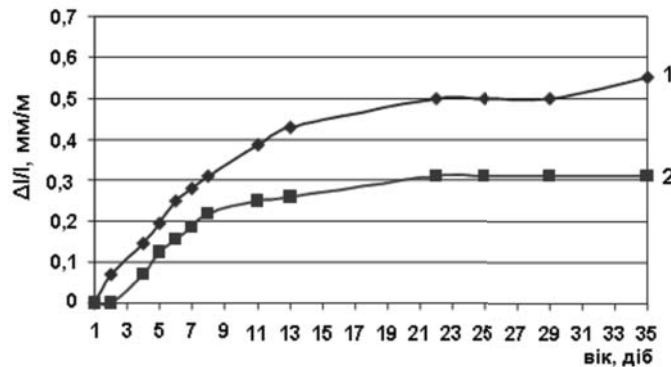


Рисунок 3 – Деформації усадки будівельного розчину (повітряно-сухі умови):
 1 - з 20 мас.% вапняного тіста; 2 – з 0,05 мас.% ПВ

Згідно даних термогравиметрії (рис. 4), в розчині складу Ц:П=1:3,3 з комплексною добавкою ПВ+ТРН через 3 місяці тверднення в повітряно-сухих умовах втрати при прожарюванні в.п.п. =7,38 мас.%, вміст зв'язаної води складає 3,10 мас.% або по відношенню до цементу - 14,39 мас.%, вміст $\text{Ca}(\text{OH})_2$ і CaCO_3 – відповідно 2,80 і 7,27 мас.%. Це свідчить, що в процесі тверднення випаровується понад 50% води. Для розчину з добавкою 20 мас.% вапняного тіста в.п.п.=9,16% (у тому числі кількість зв'язаної води - 2,50%), а вміст $\text{Ca}(\text{OH})_2$ і CaCO_3 складає відповідно 2,61 і 12,15 мас.%, тобто в розчині з вапняним тістом втрата води проходить більш інтенсивно і через систему відкритих капілярних пор супроводжується посиленою карбонізацією.

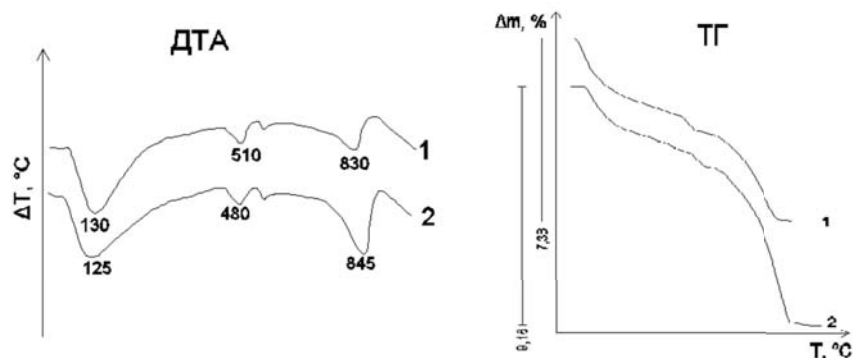


Рисунок 4 – Дериватограми будівельного розчину:
 1 - з комплексним модифікатором; 2 – з добавкою вапняного тіста

Для зниження трудоемності та з метою ведення будівельних мурувальних робіт в сухих жарких умовах досліджено вплив модифікаторів пластифікуюче-сповільнюючої дії. Як видно з рис. 5, найбільш ефективною стабілізуючою добавкою сповільнюючої дії є Mortan 81. Здатність до збереження модифікованої розчинової суміші в сухих жарких умовах триває до 9 год. (марка за рухомістю розчинової суміші зменшується від П12 до П8). Слід відзначити, що розчинові суміші на основі вапняного тіста (марка за рухомістю П12) втрачають свою здатність до збереження вже через 1 годину.

Дослідженнями фізико-механічних властивостей високофункціональних будівельних розчинів, які тверднули в сухих жарких умовах при температурі +30°C, встановлено (табл. 3), що введення 0,5 мас.% Mortan 81 дозволяє підвищити границю міцності на стиск модифікованого будівельного розчину через 28 діб тверднення в 1,5 рази, порівняно з традиційним розчином та досягнути запроектованої марки за міцністю М100 (марка за рухомістю П12).

Використання комплексних модифікаторів поліфункціональної дії дозволяє обґрунтувати можливість одержання високорухомих легковкладальних розчинових сумішей, пояснити механізм

їх позитивного впливу на показники якості та довговічність високофункціональних будівельних розчинів, в різних умовах експлуатації. Висока функціональність даних складів визначається також терміном придатності розчинової суміші в необхідних межах при забезпеченні повної відповідності експлуатаційних показників нормативним вимогам для будівельних мурувальних та опоряджувальних розчинів. Високофункціональні будівельні розчини володіють незначними деформаціями усадки (0,31 мм/м), адгезією 0,3-0,5 МПа, маркою за морозостійкістю F75 та здатністю тверднути без значних деформацій розширення в зимових умовах, а також характеризуються пониженим висолоутворенням. Використання модифікованих будівельних розчинів (середня густина 1560-1600 кг/м³) з пониженим коефіцієнтом теплопровідності (0,65...0,70 Вт/м·К) забезпечує підвищення термічного опору стіни.

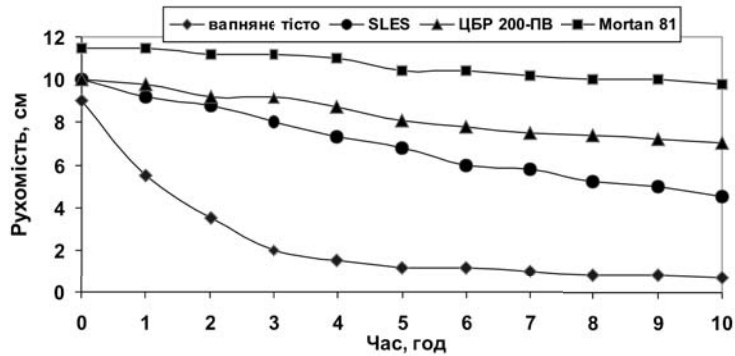


Рисунок 5 – Термін придатності розчинової суміші в сухих жарких умовах ($t=+30\text{ }^{\circ}\text{C}$)

Таблиця 3 – Фізико-механічні властивості будівельних розчинів в сухих жарких умовах

Вид добавки	В/Ц	ρ , кг/м ³	Границя міцності на стиск, МПа, у віці, діб		
			3	7	28
20 мас.% вапняного тіста	1,10	2050	2,3	4,1	7,5
0,1 мас.% SLES	0,72	1760	2,2	3,9	7,4
0,5 мас.% Mortan 81	0,63	1890	2,1	5,8	11,2

Таким чином, фізико-хімічне модифікування будівельних розчинів високоефективними комплексними поліфункціональними добавками стає одним з основних напрямків вирішення проблеми підвищення ефективності мурувальних та опоряджувальних робіт на сучасному етапі. Використання комплексних добавок пластифікуючої, прискорюючої та сповільнюючої дії суттєво змінює технологічні властивості високофункціональних будівельних розчинів за рахунок синергічного поєднання окремих компонентів і дозволяє направлено регулювати параметри системи на стадії взаємодії цементу з водою, що є обов'язковою умовою створення сучасних будівельних матеріалів із заданими показниками якості.

ЛІТЕРАТУРА

1. Рунова Р.Ф. Технологія модифікованих будівельних розчинів / Рунова Р.Ф., Носовський Ю.Л. – К.: КНУБіА, 2007. – 256 с.
2. Баженов Ю.М. Технологія бетону. – М.: Изд-во АВС, 2003. – 500 с.
3. Саницький М.А., Кропивницька Т.П., Котів Р.М. Будівельні розчини з комплексними модифікаторами повітровтягуючої дії для кам'яних кладок / XI Міжнар. наук.-практ. конф. "Дни современного бетона". – Запоріжжя: Будіндустрія ЛТД, 2010. – С. 97-102.
4. Троян В.В. Добавки для бетонів і будівельних розчинів. – Ніжин: ТОВ «Видавництво «Аспект-Поліграф», 2010. – 228 с.
5. Hubert M. Scientific understanding of highly complex reaction mechanisms / ZKG. – 2012. – №1. – Р. 23-26.
6. Саницький М.А., Соболь Х.С., Марків Т.Є. Модифіковані композиційні цементы: навч. посібник. – Львів: Вид-во Львівської політехніки, 2010. – 132 с.
7. Malolepszy J. Technologia betonu. Metody badan / J. Malolepszy, J. Deja, W. Brylicki, M. Gawlicki. – Krakow: AGH, 2000. – 325 s.
8. Jasiczak J. Zaczyny i zaprawy budowlane / J. Jasiczak // Budownictwo ogolne: materialy i wyroby budowlane. - Warszawa: ARKADY. – 2010. – Т.1. - 329 s.