

Т. П. Кропивницька, Г. С. Іващишин, М. В. Котів, М. В. Чекайло
Національний університет “Львівська політехніка”,
кафедра будівельного виробництва

ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ НИЗЬКОЕНЕРГОЄМНИХ ЦЕМЕНТІВ ДЛЯ БУДІВЕЛЬНИХ РОЗЧИНІВ

© Кропивницька Т. П., Іващишин Г. С., Котів М. В., Чекайло М. В., 2017

Розглянуто основні принципи стратегії сталого розвитку в цементній промисловості. На прикладі ПАТ “Івано-Франківськцемент” показано, що випуск екоцементів забезпечує реалізацію в цементній промисловості прогресивних моделей раціонального використання природної сировини, палива, електричної енергії за мінімальних викидів CO₂. Проведено порівняння ефективності приготування будівельних розчинів на основі портландцементів і низькоенергоємних цементів. Показано, що синергічне поєднання мінеральних добавок при суттєвому зменшенні вмісту високоенергоємної клінкерної складової в цементах дає змогу покращити технічні характеристики розчинів. Встановлено, що покращені експлуатаційні властивості кладки забезпечуються при застосуванні аерованих розчинів на основі цементу ЦБР 300. Встановлено взаємозв’язок мікроструктури і міцності цементної матриці та показана ефективність застосування комплексних модифікаторів для будівельних розчинів.

Ключові слова: низькоенергоємні цементи, будівельні розчини, міцність.

T. Kropyvnytska, H. Ivashchyshyn, M. Kotiv, M. Chekaylo
Lviv Polytechnic National University,
Department of building production

EFFICIENCY OF USE THE LOW-ENERGY CEMENTS FOR BUILDING MORTARS

© Kropyvnytska T., Ivashchyshyn H., Kotiv M., Chekaylo M., 2017

The basic principles of the sustainable development strategy in the cement industry. The example of JSC “Ivano-Frankivsk Cement” shows that the production of special eco-cement provides the implementation of progressive models of rational use of natural raw materials, fuel, electric energy with the minimal CO₂ emissions in the cement industry. Also it allows the implementation of the practice of clean production. The comparison of the efficiency during the preparing of building mortar based on Portland cements and low-energy cements was conducted. It is shown that a synergistic combination of mineral additives with substantial reduction of high energy-consumption clinker component in the cements allows to improve technological properties of mortars. The results of technological properties of mortar mixtures, physical and mechanical properties of building mortar based on special cement are presented. It was established that the improved operational properties of the masonry are provided by the use of modified by air-entraining admixture mortar based on cement MC 22,5 X. The interconnection of the microstructure and the strength of the cement matrix is established and the efficiency of use of complex modifiers for the mortar is shown. Physico-chemical modification of mortars by complex air-entraining admixture allows to obtain high-quality modified plasters with improved quality parameters.

Key words: low-energy cements, building mortar, strength.

Вступ. Урбанізаційні процеси та розвиток інфраструктури ведуть до вдосконалення будівельної промисловості, а саме переходу на енерго- та ресурсозберувальні технології виробництва

будівельних матеріалів. Сьогодні надзвичайно гостро стоїть завдання впровадження засад сталого розвитку в цементній промисловості. Провідні цементні компанії всього світу виробляють понад 4 млрд т цементу в рік; при цьому емісія CO₂ становить 6–7 % від загального обсягу викидів CO₂. Створення технічних передумов, що становлять основу для розроблення та впровадження дієвих заходів покращення енергетичної ефективності будівельних технологій згідно з вимогами до охорони довкілля із врахуванням особливостей повного циклу життя виробів та об'єктів забезпечують перехід на економічні енерго- і ресурсозберігаючі технології в будівництві [1, 2].

Огляд наукових джерел і публікацій. Відповідно до ДСТУ Б В.2.7-46:2010 цементі загальнобудівельного призначення класифікуються на 5 типів, з яких широко застосовуються для будівельних мурувальних і штукатурних розчинів портландцементи типу II (ПЦ II/A-III-400, ПЦ II/B-K-400) і типу III (ШПЦ III/A, ШПЦ III/B). Характерно, що одним із найуживаніших портландцементів для виготовлення розчинів є композиційний портландцемент ПЦ II/B-K-400. Водночас у нормах програмного комплексу АВК-5 для приготування мурувальних розчинів М25 і М50 вказаний також цемент М300. Згідно з нормою Е8-6-4 АВК-5 для зведення 1 м³ кладки зовнішньої цегляної стіни за висоти поверху понад 4 м витрачається 0,25 м³ мурувального розчину М50, а до 4 м (норма Р8-6-1 АВК-5) – 0,24 м³ розчину М25 на основі цементу М300. Зараз цемент марки за міцністю М300 типу ШПЦ III виробляється ПАО “ХайдельбергЦемент Україна”. При цьому, використання шлакопортландцементів типу ШПЦ III для виготовлення будівельних розчинів не забезпечує необхідну легковкладальність та водоутримувальну здатність розчинових сумішей [3].

Вирішення проблеми енергозбереження в цементній промисловості значною мірою зумовлене пошуком структурно-логічних та екологічних шляхів заміни частини портландцементного клінкеру вторинними компонентами з оптимізацією гранулометричного та речовинного складів цементів. Однією з основних тенденцій світової цементної промисловості є розроблення багатокомпонентних цементів. Згідно з документом Цембюро, при виробництві цементу в 2050 році, вміст клінкеру в середньому становитиме 70 %.

Багатокомпонентні цементі є одним із пріоритетних напрямків у технології виготовлення будівельних розчинів і рядових низькомаркових бетонів. В країнах ЄС основними виробниками таких в'язучих (Lepo® і Multibat) є концерни Grupie Lafarge та CRH. Спеціальним продуктом для споживачів являється низькоенергоємний цемент для будівельних розчинів ЦБР 300 ПАТ “Івано-Франківськцемент”. В'язуче відповідає вимогам національного стандарту ДСТУ Б В.2.7-124-2004 “Цемент для будівельних розчинів” ЦБР 300 та гармонізованого європейського стандарту до національного ДСТУ Б EN 413-1:2015 “Цемент для мурування” МС 22,5 X. Багатокомпонентність складу цементу для будівельних розчинів дає змогу ефективно управляти процесами структуроутворення цементної матриці розчину та отримувати композити з наперед заданими властивостями [3, 4].

Одним із базових принципів створення будівельних розчинів високої функціональності є використання хімічних добавок пластифікуюче-повітровтягувальної дії. Фізико-хімічне модифікування будівельних розчинів комплексними аераційними добавками стає одним з основних напрямків вирішення проблеми підвищення ефективності мурувальних і штукатурних робіт на сучасному етапі [5].

Постановка мети і задач досліджень полягає у визначенні ефективності використання низькоенергоємних цементів, дослідженні якості та міцності будівельних розчинів на основі спеціального цементу ЦБР 300.

Матеріали та методика досліджень. Для одержання будівельних розчинів використано спеціальний низькоенергоємний цемент ЦБР 300 (цемент для мурування МС 22,5 X) ПАТ “Івано-Франківськцемент”. Як дрібний заповнювач застосовано пісок Рогатинського родовища (M_к=1,27). Для покращення технологічних характеристик розчинової суміші та експлуатаційних властивостей розчину використано комплексні модифікатори повітровтягувальної дії. Проектування складу будівельних розчинів проведено з дотриманням нормативних вимог і методик [6].

Результати досліджень. Проведені експериментальні дослідження встановили, що для цементу ЦБР 300 питома поверхня становить $8750 \text{ см}^2/\text{г}$, залишок на ситі A_{008} становить 1,3 %, терміни початку і кінця тужавіння складають відповідно 180 і 220 хв. Показник водовідділення цементного тіста методом розрахунку об'ємного коефіцієнта при $V/\Omega=1,0$ становить 14,7 об. %, що відповідає вимогам ДСТУ Б В.2.7-124-2004. Під час випробування згідно з ДСТУ Б В.2.7-187:2009 розплив стандартного конуса становить 110 мм, границя міцності на стиск через 2, 7 і 28 діб тверднення становить відповідно 9,2; 17,9 і 30,7, що відповідає цементу для будівельних розчинів ЦБР 300 ДСТУ Б В.2.7-124-2004. Через 90 діб тверднення границя міцності на стиск становить 36 МПа. Результатами досліджень згідно з EN 196-1 встановлено, що розплив стандартного конуса – 162 мм, границя міцності на стиск через 2, 7 і 28 діб тверднення становить 7,0; 13,7 і 23,2 МПа, що відповідає цементу класу МС 22,5 Х ДСТУ Б EN 413-1:2015. Для цементу ЦБР 300 (МС 22,5 Х) за рахунок підвищеного вмісту мінеральних добавок і наповнювачів світлих відтінків коефіцієнт відбиття становить 61 %; коефіцієнт розм'якшення становить 0,95. Зменшення вмісту клінкерної складової в ЦБР 300 забезпечує зниження кількості викидів CO_2 в 2,37 разу порівняно з ПЦ І, що дозволяє його віднести до екоцементів.

Несуча здатність мурованих цегляних конструкцій залежить від міцності цегли, якості і марки будівельного розчину і повинна забезпечувати при виконанні будівельних робіт монолітність мурування, здатного витримувати передбачене проектом навантаження. Для зведення цегляних стін застосовують цементні розчини марок М50, М75, М100. Як видно з рис. 1, для складного будівельного розчину марки М75 витрата портландцементів марок М500, М400, М300 становить відповідно 195, 240 та 310 кг на 1 м^3 розчину. Для забезпечення марки за міцністю М25...М100 складного будівельного розчину витрата портландцементу марки за міцністю М300 становить 135–385 кг/ м^3 розчину [6].

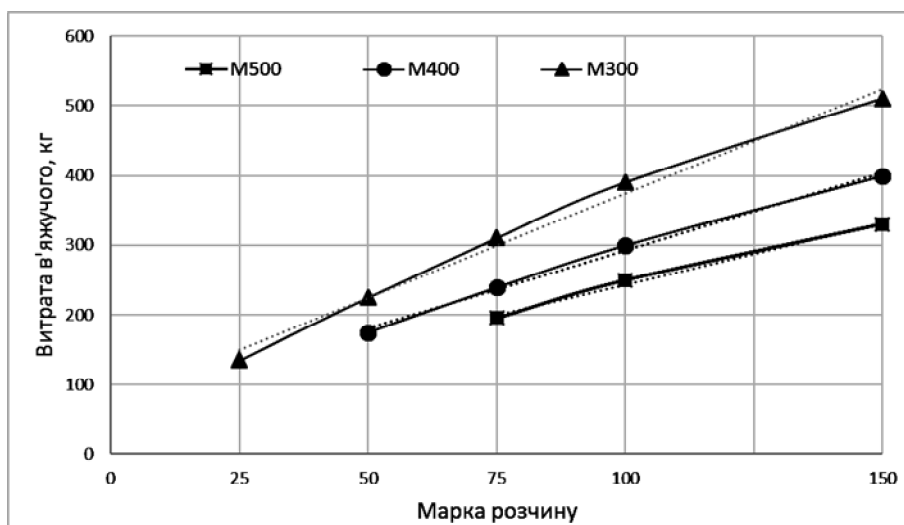


Рис. 1. Витрата портландцементів на 1 м^3 розчину

Експериментальними дослідженнями встановлено витрати спеціального цементу ЦБР 300 ПАТ “Івано-Франківськцемент” при проектуванні будівельних розчинів марок М25...М100. Як видно з рис. 2, для отримання будівельного розчину (марка за рухомістю П8) марок за міцністю М25, М50, М75, М100 витрата ЦБР 300 становить 212, 280, 350, 432 кг на 1 м^3 розчину відповідно. Введення комплексної добавки повітровтягувальної дії дозволяє зменшити витрату в’язучого на 10–15 % порівняно з розчином без модифікатора.

Результати випробувань модифікованих будівельних розчинів на основі цементу ЦБР 300 (МС 22,5Х) наведені в таблиці. При використанні цементу для будівельних розчинів ЦБР 300 та комплексних добавок пластифікуюче-повітровтягувальної дії забезпечується висока пластичність та якість розчинових сумішей без розшарування. Модифікована розчинова суміш зберігала

необхідну марку за рухомістю (П8) і не розшаровувалась протягом 4,0 год з моменту її приготування. Ефект повітровтягування забезпечує збільшення об'єму розчинової суміші від 10 до 20 % порівняно з контрольним розчином аналогічного складу без добавки. Завдяки аерації затверділий розчин стає щільнішим, менше вбирає вологу, стійкіший до дії атмосферних опадів та багаторазових циклів заморожування та відтавання.

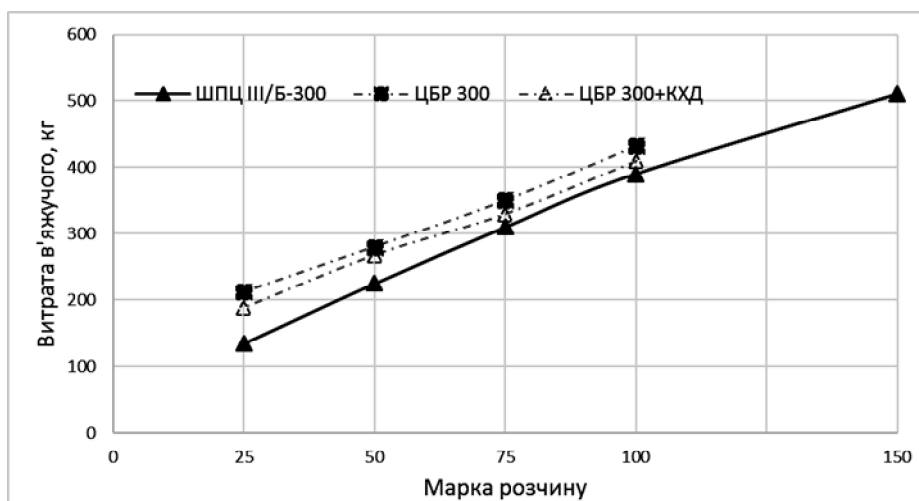


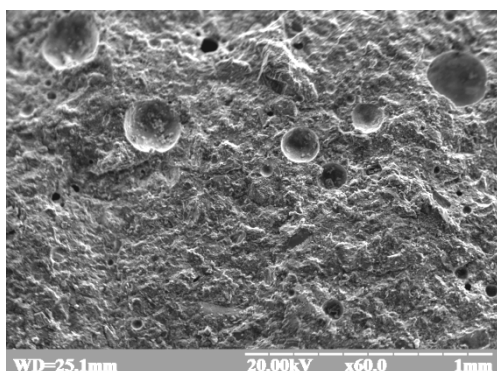
Рис. 2. Витрата цементів на 1 м³ розчину

Показники якості модифікованих будівельних розчинів на основі ЦБР 300 (МС 22,5Х)

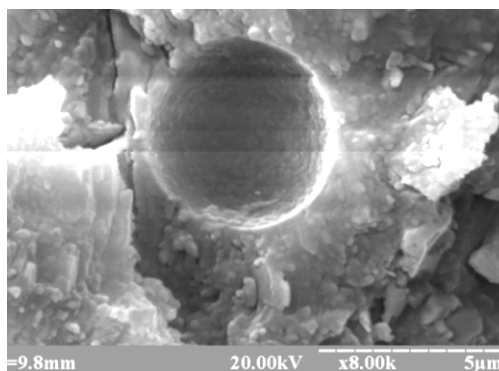
Показник	Одиниці вимірювання	Значення показника		
		нормативне	фактичне (марка М50)	фактичне (марка М100)
Середня густина	кг/м³	не менше 1500	1750	1910
Розшарування	%	не більше 10	0,61	0,6
Розплив конуса	мм	-	190	205
Рухомість	см	П8 (5–8 см)	6,5	7,5
Водоутримувальна здатність	%	не менше 75	96,9	97,8
Міцність на стиск через 28 діб	МПа	не менше 5	5,4	-
		не менше 10	-	10,3

Загальна пористість аерованого розчину становить 32,7 % (відкрита – 15,5 %, закрита – 17,2 %). Збільшення закритої пористості підвищує довговічність кладки за рахунок зменшення водопоглинання і підвищення морозостійкості. Введення 0,03...0,08 мас.% модифікатора дозволяє зменшити середній коефіцієнт розміру пор до 2,47–1,95. Як видно з мікрофотографії (рис. 3, а), модифікована цементна матриця характеризується однорідністю з включенням дрібних замкнутих пор (10–250 мкм). Поверхня вакуольних пор (рис. 3, б) формується із зародків кристалів, у результаті чого повітряна пора вкривається щільною шарулою, яка перериває протяжність капілярів і призводить до зменшення капілярного підтягування води та водовбирання будівельного розчину. Методом низькотемпературної дилатометрії встановлено, що температура початку замерзання рідкої фази модифікованого будівельного розчину знижується до –6...–7 °С, а деформації розширення – від 1,4 до 0,82 % порівняно з складним розчином.

Низькоенергоємний цемент ЦБР 300 (МС 22,5Х) при однаковому дозуванні займає в розчині більший об'єм, що зумовлено меншою середньою густиною натуральної пуцолани та вапняку порівняно з портландцементним клінкером. Цемент для будівельних розчинів має світлий колір, тому його доцільно застосовувати для оздоблювальних і штукатурних робіт. Використання цементу ЦБР 300 сприяє зменшенню втрати тепла через шви кладки внаслідок пониженої теплопровідності. Застосування цеолітвмісного цементу з пониженим вмістом портландцементного клінкеру в розчинах дозволяє зменшити кількість кальцію гідроксиду, що запобігає утворенню висолів.



а



б

Рис. 3. Мікроструктура модифікованого каменю на основі ЦБР 300

Висновки. Низькоенергоємний цемент характеризується високою технологічністю, що суттєво пришвидшує будівництво та сприяє зниженню виробничих витрат на матеріали в процесі приготування мурувальних і штукатурних розчинів. Модифіковані будівельні розчини на основі низькоенергоємного цементу ЦБР 300 забезпечують якість кладки (повнота і рівномірність заповнення швів), адгезію розчину, а також міцність і довговічність.

1. *Принципи стратегії сталого розвитку в цементній промисловості* / Т. М. Круць, І. М. Гев'юк, М. А. Саницький, Т. П. Кропивницька // *Будівельні матеріали і вироб.* – 2015. – № 3. – С. 14–17. 2. Sanytsky M., Kruts T., Kropyvnytska T., Rusyn B. *Sustainable Green Engineered Composites Containing Ultrafine Supplementary Cementitious Materials. 14th International Congress on the Chemistry of Cement (ICCC 2015), Beijing, China, 1: 265.* 3. *Production engineering and properties of low-energy masonry cement* / H. Ivashchyshyn, T. Kropyvnytska, R. Kotiv // *7th International academic conference “Geodesy, Architecture & Construction 2016”*. – Lviv, 2016. – P. 141–142. 4. *Модифіковані композиційні цементні* / М. А. Саницький, Х. С. Соболев, Т. Є. Марків. – Львів: Вид-во Львів. політехніки, 2010. – 132 с. 5. Sanytsky M., Kropyvnytska T., Kotiv R. *Modified plasters for restoration and finishing works / Advanced Materials Research*. – 2014. – Vol. 923. – P. 42–47. 6. *Випробування бетонів і будівельних розчинів. Проектування їх складів* / Л. Й. Дворкін, В. І. Гоц, О. Й. Дворкін. – К.: Основа, 2014. – 304 с.

References

1. *The principles of sustainable development strategies in the cement industry* / T. Kruts, I. Geviuk, M. Sanytsky, T. Kropyvnytska // *Building materials and article*. – 2015. – No. 3. – S. 14–17. 2. Sanytsky M., Kruts T., Kropyvnytska T., Rusyn B. *Sustainable Green Engineered Composites Containing Ultrafine Supplementary Cementitious Materials. 14th International Congress on the Chemistry of Cement (ICCC 2015), Beijing, China, 1: 265.* 3. *Production engineering and properties of low-energy masonry cement* / H. Ivashchyshyn, T. Kropyvnytska, R. Kotiv // *7th International academic conference “Geodesy, Architecture & Construction 2016”*. – Lviv, 2016. – P.141–142. 4. Sanytsky M., Sobol Ch., Markiv T. *Modified composite cements. Edition of Lviv Polytechnic National University, 2010.* – 132 p. 5. Sanytsky M., Kropyvnytska T., Kotiv R. *Modified plasters for restoration and finishing works / Advanced Materials Research*. – 2014. – Vol. 923. – P. 42–47. 6. Dvorkin L. I., Gots V. I., Dvorkin O. I.: *Tests of concrete and mortars. Designing their compositions. Osнова, Kyiv, 2014.* – 304 p.