

зміни поля масового вмісту. Зі збільшенням m $\dot{\theta}_1$ зростає, а $\dot{\theta}_2$ зменшується, й при $m > 0,5$ має місце співвідношення $\dot{\theta}_1 > \dot{\theta}_2$.

Література

1. Лыков А.В. Теория переноса энергии и вещества./А.В. Лыков, Ю.А. Михайлов. – Минск: Изд-во АН БССР, 1959. – 329 с.
2. Лыков А.В. Теория тепло- и массопереноса. /А.В. Лыков, Ю.А. Михайлов. – М. – Л.: Госэнергоиздат, 1963. – 536 с.
3. Лыков А.В. Теория сушки./А.В.Лыков. – М.:Энергия, 1968. – 471 с.
4. Михайлов Ю.А. Вариационные методы в теории нелинейного тепло- и массопереноса./Ю.А. Михайлов, Ю.Т. Глазунов – Рига: Зинатне, 1985. – 190 с.

УДК 693.61:69.059.25

Терновий В.І., Молодід О.С., Гуцуляк Р.Б.¹

ДОСЛІДЖЕННЯ СКЛАДУ РЕСТАВРАЦІЙНОЇ ЦЕМ'ЯНКОВОЇ ШТУКАТУРКИ

АНОТАЦІЯ. Зразки цем'янкової штукатурки за історичною рецептурою не мають необхідних фізико-механічних показників. Приведені дослідження залежності показників цем'янкової штукатурки від добавок метилцелюлози, суперпластифікатора та негашеного вапна взамін вапняного тіста в сукупності з введенням великої кількості води, а також від кількості цементу, яким замінили частину вапна.

Ключові слова: цем'янкова штукатурка, негашене вапно, фізико-механічні показники.

АННОТАЦИЯ. Образцы цемяночной штукатурки по исторической рецептуре не имеют необходимых физико-механических показателей. Приведенные исследования зависимости показателей цемяночной штукатурки от добавок метилцеллюлозы, суперпластификатора и негашеной извести взамен известкового теста в совокупности с введением большого количества воды, а также от количества цемента, которым заменили часть извести.

Ключевые слова: цемяночная штукатурка, негашеная известь, физико-механические показатели.

ANNOTATION. Samples tsemyankovoyi plaster on historical recipes do not have the necessary physical and mechanical properties. Cited research depends on indicators tsemyankovoyi plaster additives Methylcellulose, superplasticizer and quicklime return lime paste together with the introduction of large amounts of water and the amount of cement, which replaced part of the lime.

Keywords: tsemyankova plaster, quicklime, physical and mechanical performance.

Постановка проблеми. При реставрації визначних пам'яток архітектури Давньоруської доби (X-XIII ст.) реставратори стикаються з необхідністю відновлення вапняно-цем'янкових штукатурок, якими опоряджені ці пам'ятки. Згідно існуючих норм та правил реставраційний матеріал повинен бути сумісним з історичним, не завдавати йому шкоди, а найкраще – коли він буде однієї природи і складу з автентичним матеріалом. З іншої сторони реставрація підмурків, цокольної частини, галерей та інших ділянок пам'яток, які, як правило, систематично замокають, засолені і активно руйнуються, вимагає використання санувальних систем. Це означає, що реставраційна штукатурка пови-

нна мати високу пористість, низький коефіцієнт опору дифузії водяної пари, низьку капілярну проникність, високу солестійкість, достатню міцність і інші властивості сформульовані в міжнародних технічних нормах WTA [1].

Дослідження складу реставраційної цем'янкової штукатурки та технології її влаштування до цього часу не проводились.

Зразки цем'янкової штукатурки виготовлені нами за історичною рецептурою мали фізико-механічні показники, що не задовольняли вимоги, крім пористості та коефіцієнта опору дифузії водяної пари [2]. Міцність на стиск таких зразків нижча від міцності історичних зразків у 9 разів. За-

¹ Терновий В.І., к.т.н., проф. (КНУБА, Київ); Молодід О.С., інженер (КНУБА, Київ); Гуцуляк Р.Б., к.хім.н., директор (ДП «Ко-нрест», Київ).

міна в цем'янковому розчині 20 % маси вапна цементом дозволила досягти штукатуркою необхідної міцності, але пористість при цьому зменшилась до 39,2 %, що нижче рекомендованої 45 % [3].

Отже, для пошуку складу реставраційної цем'янкової штукатурки, яка мала би необхідні фізико-механічні показники ми продовжили дослідження.

Виклад основного матеріалу. Опираючись на результати лабораторних досліджень цем'янкового розчину [3], ми виготовили на цегляній основі шар цем'янкової штукатурки з компонентним складом (в масових частках) 0,8 – вапно; 0,2 – цемент; 1,0 – цем'янка; 0,5 – пісок) рухомістю 9 см осадки стандартного конуса. Поверхня штукатурки після 24 годин твердіння мала велику кількість усадних тріщин шириною від 0,1 до 4,0 мм.

В подальшому дослідження ми проводили з новим компонентним складом цем'янкового розчину: 0,8 мас. ч. вапна; 0,2 мас. ч. цементу; 1,5 мас. ч. цем'янки. Такий склад ми прийняли тому, що із 20-ти розглянутих нами [2] історичних компонентних складів 19 мають менше 10 % мас. ч. піску, а 10 – 5...0 % мас. ч. піску, тобто, на території України зустрічаються різні цем'янкові розчини – з додаванням піску і без нього.

Для зменшення тріщинуватості штукатурки за рекомендаціями [4] ми виконали дві серії дослідів. У першій серії розчинну суміш рухомістю 9 см наносили на цегляну основу шарами зменшеної товщини: 30; 20; 15; 10; 5 мм. У всіх дослідях штукатурні шари через 24 години твердіння мали велику кількість усадних тріщин.

У наступній серії дослідів у розчинну суміш вводили армуючі метилцелюлозні волокна Technocel 150 та Technocel 2500 у кількості: 0,5;

1,0; 1,5 % від маси сухого складу і наносили цю суміш на цегляну основу. Через 24 години зразки оглянули і виявили велику кількість усадних тріщин.

Відомо, що тріщини на затверділій штукатурці утворюються через надлишок у розчинній суміші в'язучого чи вологи [5]. Оскільки кількість в'язучого в розчинній суміші ми змінити не могли, то зменшили на 50 % кількість води, а для забезпечення рухомості суміші 9 см в неї було введено порошковий суперпластифікатор Melflux 2651F в об'ємі 0,3 та 0,4 % від ваги в'язучого. Приготовлена таким методом суміш була нанесена на цегляну основу. Проведене через 24 години обстеження показало, що в штукатурному шарі були тріщини.

За рекомендаціями [4] для зменшення усадки розчинів ми вирішили замінити певну частку вапняного тіста, що входить в склад цем'янкової розчинної суміші, негашеним вапном.

Для вивчення впливу негашеного вапна на ліквідацію усадних тріщин в штукатурці ми виготовили чотири різні розчинні суміші прийнятого складу. У цих сумішах вапняне тісто в кількості 0,8 мас. ч. частково, в об'ємі 10; 20; 30; 40 %, було замінено негашеним вапном. Склад розчинних сумішей – вапно-тісто : негашене вапно : цемент : цем'янка у масових частках був наступним:

- 1) 0,72 : 0,08 : 0,2 : 1,5
- 2) 0,64 : 0,16 : 0,2 : 1,5
- 3) 0,56 : 0,24 : 0,2 : 1,5
- 4) 0,48 : 0,32 : 0,2 : 1,5

Розчинні суміші нанесли на цегляну основу і через добу їх оглянули. Кількість тріщин у зразках зменшувалась зі збільшенням в штукатурці негашеного вапна, але всі зразки мали тріщини (табл. 1).

Таблиця 1

Характеристика тріщин в зразках штукатурки при заміні вапняного тіста негашеним вапном

Параметри тріщин в штукатурці	Значення параметрів тріщин при кількості негашеного вапна у штукатурній розчинній суміші у відсотках:				
	без добав-ки	10 %	20 %	30%	40%
Ширина, мм	3	3	2 - 3	2	1 - 2
Загальна довжина, мм	660	655	580	525	430

Враховуючи рекомендації авторів публікацій [6, 7, 8] ми прийняли рішення замінити в компонентному складі цем'янкової штукатурки все вапно-тісто на негашене вапно і додати у якості сповільнювача гасіння вапна двоводний гіпс.

На нашу думку, наявність негашеного вапна збільшить температуру розчинної суміші за рахунок гасіння вапна, отже збільшить швидкість створення структури штукатурки і в ній не проявляться усадні деформації, а уповільнювач гасіння дещо уповільнить виділення тепла і за-

побіжить руйнівним температурним розширенням.

Нами досліджено вплив кількості гіпсу в розчинній цем'янковій суміші на наявність тріщин на шарові штукатурки через 24 години її твердіння. Для цього гіпс вводили в склад розчинної суміші замість негашеного вапна в кількості 5; 15; 17 % від первісної загальної масової частки вапна. Отже, склад експериментальних сумішей в дослідях був наступним – (негашене вапно : двоводний гіпс : цемент : цем'янка):

- №1 0,76 : 0,04 : 0,2 : 1,5

№2 0,68 : 0,12 : 0,2 : 1,5

№3 0,66 : 0,14 : 0,2 : 1,5

Розчинні суміші рухомістю 9 см осадки конуса з різною кількістю гіпсу наносили намазуванням на цегляну основу з вологістю 12 %. Через 24 години штукатурку оглянули крізь лупу. Композиція, яка мала в своєму складі 17 % гіпсу замість негашеного вапна мала найменшу кількість коротких тріщин товщиною менше 0,7 мм.

Опираючись на рекомендації дослідників негашеного вапна [6, 7] ми виконали пробний дослід з додаванням в розчинну суміш складу № 3 кількість води при якій рухомість розчинної суміші була 16 см.

Для виготовлення лабораторного зразка штукатурного шару цеглину положили на робочий стіл основою з розміром 250x120 мм. На бокові грані цеглини закріпили пластикову обичайку з виступом над цеглою на 30 мм і у створений

об'єм над цеглиною вилили приготовлену розчинну суміш. Таким способом ми виготовили декілька зразків. Тріщини на поверхні зразків не з'явилися протягом 28 днів. Через 28 днів твердіння при температурі +20° С та вологості повітря 50÷65 % із зразків шару на цеглинах вирізали зразки для визначення пористості і коефіцієнта опору дифузії водяної пари, за методикою WTA, та визначення міцності штукатурки на стиск за методикою ГОСТ 5802-86.

Дослідження показали (табл. 2), що міцність штукатурки впала до значення 1,48 МПа, яке на 1,35 % менше за мінімально рекомендоване WTA рівне 1,5 МПа.

Пористість штукатурки зросла до 48,4%, при рекомендованій WTA 45 %.

Коефіцієнт опору дифузії водяної пари залишається меншим 12 – рекомендованого WTA.

Таблиця 2

Основні фізико – механічні показники цем'янкової штукатурки виготовленої з розчинної суміші рухомістю 16 см.

№ п/п	Назва показника	Розмірність	Значення показника	
			За результатами дослідів	За вимогами норм
1	Міцність на стиск	МПа	1,48	1,5 – 5,0
2	Пористість	%	48,4	>45
3	Коеф. опору диф. водяної пари	-	5,5	<12

Такі зміни фізико-механічних показників у цем'янковій штукатурці можна пояснити тим, що при твердінні розчину вода випаровується і утворює порожнини, підвищуючи тим самим пористість та знижуючи міцність штукатурки.

Для підвищення міцності розчину нами досліджені залежності міцності на стиск, пористості та коефіцієнта опору дифузії водяної пари цем'янкової штукатурки від кількості у в'язучому цементної добавки. Кількість вапна знижувалась на таку масову частку на скільки збільшувалась кількість цементу.

У лабораторних умовах, із розчинної суміші рухомістю 16 см, були виготовлені 4 серії зразків

цем'янкової штукатурки з різною кількістю цементу у складі в'язучого (20 %; 30 %; 40 %; 50 %).

Компонентний склад розчинної суміші у цих серіях був наступним (негашене вапно : гіпс : цемент : цем'янка):

Серія №1 0,664 : 0,136 : 0,2 : 1,5

Серія №2 0,581 : 0,119 : 0,3 : 1,5

Серія №3 0,498 : 0,102 : 0,4 : 1,5

Серія №4 0,415 : 0,085 : 0,5 : 1,5

Через 28 днів твердіння у зразках визначали міцність на стиск, пористість, коефіцієнт опору дифузії водяної пари та наявність тріщин. Результати досліджень приведені в табл. 3 та рис

Таблиця 3

Зміна показників цем'янкової штукатурки виготовленої відливанням при збільшенні цементу в її складі

№ п/п	№ серії дослідів	Міцність на стиск, МПа	Пористість, %	Коеф. опору диф. водяної пари	Тріщини, мм
1	№ 1, 20 % цементу	1,48	48,4	5,5	відсутні
2	№ 2, 30 % цементу	1,98	48,5	5,8	відсутні
3	№ 3, 40 % цементу	2,22	47,9	6,1	відсутні
4	№ 4, 50 % цементу	2,61	46,1	6,7	0,1-0,3
5	Інформаційний лист WTA	1,5 - 5	>45	<12	відсутні



Рис. 1. Графіки зміни основних показників цем'янового розчину при збільшенні цементу в його складі: а – міцність, б – пористість, в – коефіцієнт опору дифузії водяної пари.

Дослідження показали (табл. 3, рис.1 а), що міцність штукатурки зростає майже лінійно зі збільшенням масової частки цементу в розчині і досягає значення 1,98 МПа при кількості цементу в розчині 0,3 масових частки від загальної кількості в'язучого.

Пористість штукатурки при заміні частини вапна цементом дещо збільшується (табл. 3, рис.1 б) при масовій частці - 0,3 до 48,5 %, а потім знижу-

ється і зі збільшенням масової частки цементу до 0,5 досягає 46,1 %. В усіх експериментах пористість має значення більше 45 %, що задовольняє рекомендації WTA.

Коефіцієнт опору дифузії водяної пари коливається в межах від 5,8 до 6,7, (табл. 3, рис.1 г), і залишається меншим 12 – рекомендованого WTA.

Висновки

1. Для реставраційної цем'янової штукатурки ми рекомендуємо розчинну суміш рухомістю 16 см з компонентним складом: негашене вапно – 0,581 мас. ч., двоводний гіпс – 0,119 мас. ч., цемент – 0,3 мас. ч., цем'янка – 1,5 мас. ч.

2. Необхідні фізико-механічні показники цем'яновим реставраційним штукатурним розчинам (міцність на стиск більше 1,5 МПа, пористість більше 45 %, опір дифузії водяної пари менше 12) досягнуто як компонентним складом розчинної суміші, так і технологічним чинником – великим водов'язучим відношенням.

Література

1. WTA Merkblatt 2-2-91/D. Sanierputzsysteme. Deutsche Fassung. Stand Juli 1992 (Vorversion): Wissenschaftlich-Technische Arbeitsgemeinschaft für Bauwerkserhaltung und Denkmalpflege e.V. – WTA-, München; 1992, 9 S. (<http://www.wta.de/>).
2. Терновий В. І., Молодід О. С., Гуцуляк Р. Б. Відтворення цем'янового розчину для реставрації будинків X – XII ст. Науковий збірник Містобудування та територіальне планування. – Київ: КНУБА. – 2010. – Вип. 36. С.424-429.
3. Молодід О. С. До реставрації цем'янової штукатурки. Науковий збірник Містобудування та територіальне планування. – Київ: КНУБА. – 2011. – Вип. 40. С.45-48.
4. Захарченко П.В., Долгий Е.М., Галаган Ю.О. Сучасні композиційні будівельно-оздоблювальні матеріали// Київ – 2005. – 512с.
5. Волженский А.В. Минеральные вяжущие вещества// Москва: Стройиздат, 1986. – 435 с.
6. Осин Б.В. Негашеная известь как новое вяжущее вещество// Москва – 1954. – 372с.
7. Борщевский Ю.А. Строительные растворы повышенной прочности на основе молотой извести кипелки: дис. канд. техн. наук/ Киев – 1953. – 177с.
8. Донской А.А. Молотая негашеная известь, ее производство и применение//ЛНИИКС, 1940.