

УДК 693.61:69.059.25

*В. І. Терновий, к.т.н., проф., КНУБА,  
О. С. Молодід, інж. КНУБА*

## ЗАЛЕЖНІСТЬ ПОКАЗНИКІВ РЕСТАВРАЦІЙНОЇ ЦЕМ'ЯНКОВОЇ ШТУКАТУРКИ ВІД СТАНУ ОСНОВИ

**АНОТАЦІЯ.** У статті наведено результати досліджень впливу наявності ґрунтовки, площі контактної шару та вологості основи на створення тріщин, міцність на стиск, міцність зчеплення з основою та пористість запропонованої реставраційної цем'янкової штукатурки.

**Ключові слова:** реставрація, цем'янкова штукатурка, шар ґрунтовки, площа контактної шару, вологість цегли, фізико-механічні показники штукатурки.

**АННОТАЦИЯ.** В статье приведены результаты исследований влияния наличия грунтовки, площади контактного слоя и влажности основания на создание трещин, прочность на сжатие, прочность сцепления с основанием и пористость предложенной реставрационной цементной штукатурки.

**Ключевые слова:** реставрация, цементная штукатурка, слой грунтовки, площадь контактного слоя, влажность кирпича, физико-механические показатели штукатурки

**SUMMARY.** The results of studies of the impact the presence of a primer, the area of contact layer and moisture basis to create cracks, compressive strength, the strength of adhesion to the base and the porosity of the proposed restoration tsemyankovoyi plaster.

**Keywords:** restoration, tsem'yankova plaster, primer, the area of contact layer, moisture bricks, mechanical plaster properties.

**Постановка проблеми.** При реставрації штукатурки визначних пам'яток архітектури Х-ХІІІ ст. виникають труднощі з відтворенням автентичного матеріалу – цем'янкової штукатурки. Саме тому, авторами було досліджено та запропоновано цем'янкову розчинну суміш [1]. Лабораторні дослідження цього матеріалу показали, що його експлуатаційні показники відповідають вимогам, установленим Європейською асоціацією реставраторів [2], про те, при улаштуванні штукатурки ці показники можуть змінюватись. Аналіз науково-технічної літератури дав змогу виявити технологічні чинники [3], які можуть впливати на властивості штукатурки при її влаштуванні. До таких чинників відносяться: водов'язуче відношення, тривалість перемішування розчинної суміші при її приготуванні, вологість основи, ґрунтування основи, розмір площі контактної шару, спосіб ущільнення, тривалість витримання розчину в опалубці.

**Ціль цієї статті** – викладення результатів дослідження впливу стану основи – наявності ґрунтовки, розміру площі контактної шару та вологості основи на створення тріщин на поверхні запропонованої цем'янкової штукатурки, на міцність штукатурки на стиск, пористість та міцність зчеплення з основою.

**Виклад основного матеріалу.** Комплексний експеримент з виявлення впливу стану основи на фізико-механічні показники цем'янкової штукатурки виконано вісімнадцятьма серіями, у яких по чергово змінювали значення технологічних чинників, які характеризують стан основи.

У лабораторних умовах цегляну стіну ми моделювали окремими 54-ма цеглинами, витриманими при температурі 18 – 20° С і вологості повітря близько 50 % упродовж декількох місяців. На кожні три цеглини, поверхні яких були підготовлені одним із вісімнадцяти можливих способів, наносили штукатурний шар відливанням розчинної суміші в опалубку-бортоснастку, розміром 250 x 120 мм.

Основу для штукатурки готували наступним чином. Першого дня на половину цеглин нанесли ґрунтовку Ceresit СТ 17, а іншу половину цеглин не ґрунтували. На другий день неогрунтовану і огрунтовану цеглу розділили на три частини. На першій третині цеглин не наносили контактний шар, на другій третині цеглин наносили контактний шар, який займав 50 % площі, а в останній третині цеглин контактний шар займав 100 % площі відведеної під штукатурення (250 x 120 мм). Наступного дня, безпосередньо перед влаштуванням штукатурного шару, основу (поверхню



відібраних певним чином третини цеглин) зволожували до 5,0 % (суха) або 12 % (волога), або 45 % (мокра). У результаті у кожному із вісімнадцяти дослідів стан основи був різний, що відображено у лівій стороні таблиці 1.

Таблиця 1.

## Фізико-механічні показники цем'янової штукатурки при різній підготовці основи

№ серії дослідів	Стан основи			Фізико-механічні показники штукатурки:			
	наявність ґрунтовки є / немає	площа контактного шару, %	вологість основи, %	наявність та ширина розкр. тріщин, мм	міцність на стиск, МПа	міцність зчеплення з основ., МПа	пористість, %
1	2	3	4	5	6	7	8
1	немає	0	5,0	відсутні	-	відсутня	-
2	немає	50	5,0	1,8	-	-	-
3	немає	100	5,0	1,1	-	-	-
4	немає	0	12,0	1,4	-	-	-
5	немає	50	12,0	1,3	-	-	-
6	немає	100	12,0	1,2	-	-	-
7	немає	0	45,0	відсутні	2,11	0,200	43,5
8	немає	50	45,0	відсутні	1,89	0,400	47,9
9	немає	100	45,0	відсутні	1,73	0,360	49,4
10	є	0	5,0	1,2	-	-	-
11	є	50	5,0	0,1	-	-	-
12	є	100	5,0	0,1	-	-	-
13	є	0	12,0	відсутні	1,92	0,220	48,0
14	є	50	12,0	відсутні	1,85	0,441	48,7
15	є	100	12,0	відсутні	1,90	0,240	46,1
16	є	0	45,0	відсутні	1,91	0,250	47,9
17	є	50	45,0	відсутні	1,71	0,462	49,2
18	є	100	45,0	відсутні	1,84	0,430	48,8
Вимоги нормативних документів				відсутні	1,5-5	> 0,4	> 45

Через день після формування штукатурки бортоснастка знімали з оштукатурених цеглин і оглядали штукатурку на наявність тріщин. Такий огляд робили періодично протягом 28 діб. Результати огляду наведено в табл. 1, графа 5.

У дослідях №№ - 2, 3, 4, 5, 6, 10, 11, 12 були виявлені тріщини з різною шириною розкриття. Тріщини з'явилися у штукатурці влаштованій на неогрунтованих сухих та вологих основах, з вологістю 5,0 % або 12,0 % відповідно, а також на огрунтованих сухих основах з вологістю 5,0 % незалежно від наявності та розміру площі контактної шару. Штукатурки з тріщинами не придатні для використання, а тому їх фізико-механічні показники ми не визначали.

Окремо слід відмітити дослід № 1, у якому основу не ґрунтували, контактний шар на основу не наносили і суху основу перед влаштуванням штукатурки не зволожували (вона мала вологість 5,0 %). У цьому досліді штукатурка не потріскалась, а відшарувалась єдиним пластом, розміром 250 x 120 мм, від цеглини. У табл. 1, графа 7 відмічено, що міцність зчеплення з основою у зразках штукатурки досліді № 1 «відсутня», отже ця штукатурка до практичного застосування також не придатна.

Результати досліджень наведені у табл. 1, свідчать, що із дев'яти дослідів (№№ 1 – 9), в яких відсутня ґрунтовка основи лише у трьох досліді (№№ 7 – 9), у штукатурці немає тріщин. При ґрунтуванні основи (досліді №№ 10 – 18) із дев'яти дослідів відсутні тріщини в шести (№№ 13 – 18). Отже, на якість штукатурки ґрунтування основи впливає суттєво. Без ґрунтування основи штукатурка не тріскається тільки на мокрих (45 % вологості) основах, а з ґрунтуванням основи штукатурка без тріщин можлива як на мокрих (45 %) так і на вологих (12 %) основах. Це можна пояснити тим, що ґрунтовка не дає цеглі швидко забрати із незатверділої штукатурки воду, а тому в ній не проявляється усадка і не утворюються тріщини. Це також підтверджується утворенням тріщин на сухій (5,0 %) і вологій (12,0 %) цеглі (досліді №№ 2-6), та на сухій (5,0 %) навіть проґрунтованій цеглі, а на мокрій (45,0 %) цеглі (досліді №№ 7 – 9; 16 – 18) тріщин у штукатурці

немає. Штукатурка також не має тріщин при її влаштуванні на вологій (12 %) прогрунтованій цеглі (досліди №№ 13 – 15).

Для зразків штукатурок, які не тріскались нами були визначені фізико-механічні показники. Загальною тенденцією є те, що при збільшенні пористості міцність на стиск штукатурки зменшується. Міцність на стиск у всіх дев'яти дослідах більше 1,5 МПа, що задовольняє вимоги норм [2]. Пористість штукатурки, за винятком зразків досліду № 7, більша 45 % і також задовольняє вимоги норм. Міцність зчеплення з основою лише у чотирьох дослідах (виділених жирним шрифтом у табл. 1) рівна і більша 0,4 МПа (дослід №№ 8, 14, 17, 18).

Результати дослідів також свідчать про те, що крім ґрунтовки на фізико-механічні показники впливають наявність контактного шару штукатурки та ступінь зволоження основи перед влаштуванням штукатурки.

У таблиці 2 представлені фізико-механічні показники штукатурки, в якій не було тріщин. Результати дослідів нами згруповані за ознакою рівності площі контактної шару: перша група – 0 %; друга – 50 %; третя – 100 %.

Таблиця 2.

Фізико-механічні показники цем'янової штукатурки, згруповані за розміром площі контактної шару

№ серії дослідів	Стан основи			Фізико-механічні показники штукатурки:		
	площа контактної шару, %	наявність ґрунтовки є / немає	вологість основи, %	міцність на стиск, МПа	міцність зчеплення з основ., МПа	пористість, %
1	2	3	4	5	6	7
7	0	немає	45,0	2,11	0,200	43,5
13	0	є	12,0	1,92	0,220	48,0
16	0	є	45,0	1,91	0,250	47,9
8	50	немає	45,0	1,89	0,400	47,9
14	50	є	12,0	1,85	0,441	48,7
17	50	є	45,0	1,71	0,462	49,2
9	100	немає	45,0	1,73	0,360	49,4
15	100	є	12,0	1,90	0,240	46,1
18	100	є	45,0	1,84	0,430	48,8
Вимоги нормативних документів				1,5 – 5	>0,4	>45

Представлення експериментів за такою формою свідчить, що при відсутності контактної шару міцність зчеплення штукатурки з основою не задовольняє нормативні вимоги (досліди №№ 7, 13, 16). Наявність контактної шару, який накриває 50 % площі штукатурення гарантує необхідні значення фізико-механічних показників штукатурки, якщо основа перед цим була прогрунтована, а перед влаштуванням штукатурного шару була зволожена до 12,0 % - 45,0 % (досліди № 14 та № 17). Навіть при відсутності ґрунтування значення фізико-механічних показників будуть задовільні, якщо основа буде мокра, тобто зволожена до 45 % (дослід № 8).

Експеримент показав, що при відсутності контактної шару на неогрунтованій основі з вологістю 45 % пористість штукатурки не задовольняє нормативні вимоги (дослід № 7). Про те, якщо площу контактної шару збільшити до 50 %, тоді показник пористості збільшиться на 10,1 % і складе 47,9 %, що на 6,4 % більше за рекомендоване значення (> 45 %). А якщо контактний шар збільшити до 100 % площі основи, то пористість досягне позначки показника в 49,4 %, що на 13,5 % вище у порівнянні зі зразками штукатурки виготовленими на основі без контактної шару.

Якщо поверхня основи заґрунтована та має вологість 12 %, то показники пористості змінюються в межах від 46,1 % до 48,7 %, при зміні площі контактної шару з 0 % до 100 % відповідно. За цих умов пористість задовольняє нормативні вимоги (> 45 %).

На зразках штукатурки, виготовлених на заґрунтованій цегляній основі вологістю 45 %, пористість коливається в межах від 47,9 % до 49,2 %, при зміні площі контактної шару з 0 % до 100 % і в усіх випадках задовольняє вимоги (> 45 %).

За результатами експериментів ми побудували графіки зміни пористості штукатурки (при різних станах підготовки основи) в залежності від відносної площі контактної шару (рис.1). Ці залежності апроксимовані математичними функціями.

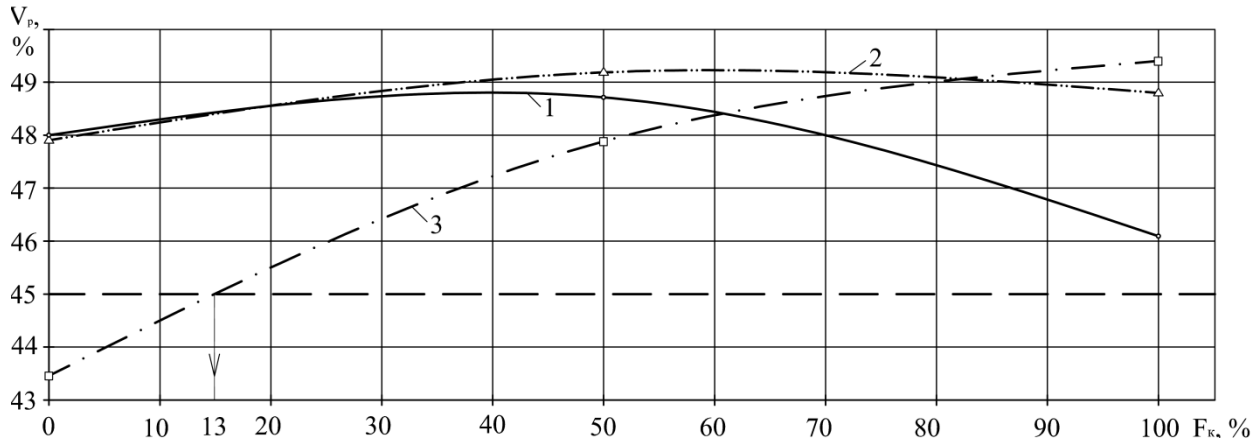


Рисунок 1. Графіки залежності пористості від площі контактної шару при різному стані основ: 1 – неогрунтована основа вологістю 45 %; 2 – загрунтована основа вологістю 12 %; 3 – загрунтована основа вологістю 45 %. --- нижня межа рекомендованого значення пористості (45 %).

Отже, пористість штукатурки змінюється в залежності від площі контактної шару за наступними математичними залежностями:

- при неогрунтованій мокрій основі (вологістю 45 %):

$$V_p = -5,8 \left( \frac{F_k}{100\%} \right)^2 + 11,7 \frac{F_k}{100\%} + 43,5 \quad (1)$$

де  $V_p$  – пористість штукатурки;

$F_k$  – площа контактної шару;

- при загрунтованій вологій основі (вологість 12 %):

$$V_p = -6,6 \left( \frac{F_k}{100\%} \right)^2 + 4,7 \frac{F_k}{100\%} + 48,0 \quad (2)$$

- при загрунтованій мокрій основі (вологість 45 %):

$$V_p = -3,4 \left( \frac{F_k}{100\%} \right)^2 + 4,3 \frac{F_k}{100\%} + 47,9 \quad (3)$$

Підставивши у рівняння (1, 2, 3) значення пористості штукатурки  $V_p = 45\%$  ми установили інтервали необхідного значення площі основи, накритої контактним шаром, у відсотках до загальної площі штукатурення, для основ підготовлених певним чином, в яких пористість буде 45 % і більше, що задовольнятиме вимоги норм [2] (табл. 3).

Таблиця 3.

Інтервали значень площі контактної шару, при яких пористість штукатурки 45 % і більше

№ п/п	Спосіб підготовки основи		Рекомендований інтервал значень площі контактної шару (%)
	Наявність ґрунтовки, є / немає	Вологість основи, %	
1	немає	45	від 13 до 100
2	є	12	від 0 до 100
3	є	45	від 0 до 100

Експеримент, також, засвідчив, що збільшення площі контактної шару до 100 % зменшує величину міцності зчеплення штукатурки з основою до недопустимих значень у випадку відсутності ґрунтовки навіть при вологості основи 45 % (дослід № 9), та при наявності ґрунтовки, але з вологістю основи 12 % (дослід № 15). Порівнявши результати дослідів № 18 та № 17 було виявлено, що при площі контактної шару 100 % міцність зчеплення штукатурки з основою менша (0,430 МПа проти 0,462 МПа) на 7 % ніж при площі контактної шару 50 %.

За результатами експериментів ми побудували графіки зміни міцності зчеплення штукатурки з основою (при її різних станах підготовки) в залежності від відносної площі контактної шару (рис. 2). Ці залежності апроксимовані математичними функціями.

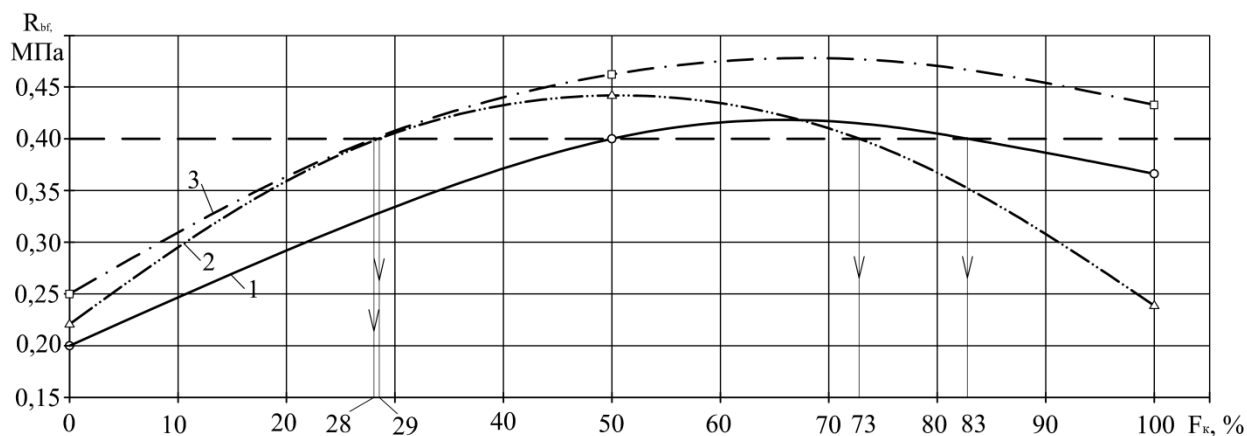


Рисунок 2. Графіки залежності міцності зчеплення штукатурки з основою від площі контактної сфери при різному стані основ: 1 – неоґрунтована основа вологістю 45 %; 2 – заґрунтована основа вологістю 12 %; 3 – заґрунтована основа вологістю 45 %; - - - нижня межа рекомендованого значення міцності зчеплення з основою.

Отже, міцність зчеплення штукатурки з основою змінюється в залежності від площі контактної сфери за наступними математичними залежностями:

- при неоґрунтованій мокрій (вологість 45 %) основі:

$$R_{bf} = -0,48 \left( \frac{F_k}{100\%} \right)^2 + 0,64 \frac{F_k}{100\%} + 0,2 \quad (4)$$

де:  $R_{bf}$  – міцність зчеплення штукатурки з основою;

$F_k$  – площа контактної сфери;

- при заґрунтованій вологій (вологість 12 %) основі:

$$R_{bf} = -0,84 \left( \frac{F_k}{100\%} \right)^2 + 0,86 \frac{F_k}{100\%} + 0,22 \quad (5)$$

- при заґрунтованій мокрій (вологість 45 %) основі:

$$R_{bf} = -0,48 \left( \frac{F_k}{100\%} \right)^2 + 0,66 \frac{F_k}{100\%} + 0,25 \quad (6)$$

Підставивши у рівняння (4, 5, 6) значення міцності зчеплення з основою  $R_{bf} = 0,4$  МПа ми установили інтервали необхідного значення площі основи накритої контактним шаром у відсотках до загальної площі штукатурення, для основ підготовлених певним чином, в яких міцність зчеплення буде 0,4 МПа і більше, що задовольнятиме вимоги норм (табл. 4).

Таблиця 4.

Інтервали значень площі контактної сфери, при яких міцність зчеплення штукатурки з основою 0,4 МПа і більше

№ п/п	Спосіб підготовки основи		Рекомендований інтервал значень площі контактної сфери, %
	Наявність ґрунтовки, є / немає	Вологість основи, %	
1	немає	45	від 50 до 83
2	є	12	від 29 до 73
3	є	45	від 28 до 100

#### Висновки.

1. На функціональну якість реставраційної цем'янової штукатурки значний вплив має спосіб підготовки основи, зокрема ґрунтування основи, наявність контактної сфери, а також вологість основи.

2. Штукатурка має необхідну пористість (>45 %) і міцність на стиск (1,5 – 5 МПа) при ґрунтованій основі з вологістю від 12 % до 45 %. При неоґрунтованій основі необхідна пористість досягається при вологості основи 45 % та наявності контактної сфери на площі 50 – 100 %, а міцність на стиск при вологості основи 45 % незалежно від наявності чи відсутності контактної сфери.



3. Необхідну пористість (>45 %) та міцність зчеплення з основою (0,4 МПа) при улаштуванні цем'янкової реставраційної штукатурки можна досягти при умові, що контактний шар покриває:

- від 50 до 83 % площі штукатурення при вологості основи 45 % без її ґрунтування;
- від 29 до 73 % площі штукатурення при вологості ґрунтованої основи 12 %;
- від 28 до 100 % площі штукатурення при вологості ґрунтованої основи 45 %.

#### *Література*

1. Терновий В. І. Дослідження складу реставраційної цем'ян-кової штукатурки / В. І. Терновий, Р. Б. Гуцуляк, О. С. Молодід // Теорія і практика будівництва. – Київ: КНУБА. – 2011. Вип.7.
2. WTA Merkblatt 2-2-91/D. Sanierputzsysteme. Deutsche Fassung. Stand Juli 1992 (Vorversion): Wissenschaftlich-Technische Arbeitsgemeinschaft für Bauwerkserhaltung und Denkmalpflege e.V. – WTA-, Munchen;1992, 9 S. (<http://www.wta.de/>).
3. Молодід О. С. Виявлення технологічних чинників, які впливають на експлуатаційні показники штукатурок / Молодід О. С. // Сучасні технології, матеріали і конструкції у будівництві. – Вінниця : Універсум-Вінниця. – 2012. – № 1.
4. Терновий В. І. Дослідження впливу технологічних чинників на основні показники цем'янкової штукатурки / В. І. Терновий, О.С.Молодід / Вісник ОДАБА. – Одеса : «Зовнішрекламсервіс». – 2012. – Вип. 47.