

**Кропивницька Т.П., Саницький М.А., Семенів Р.М., Камінський А.Т.***Національний університет «Львівська політехніка»**(вул. Степана Бандери, 12, Львів, 79000, Україна; e-mail: [tkropyvnytska@ukr.net](mailto:tkropyvnytska@ukr.net), [msanytsky@ukr.net](mailto:msanytsky@ukr.net), [semeniv.roksolana@gmail.com](mailto:semeniv.roksolana@gmail.com), [lemyrua@gmail.com](mailto:lemyrua@gmail.com))***ПІДВИЩЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ЦЕГЛЯНОЇ КЛАДКИ  
ЗОВНІШНІХ СТІН ОГОРОДЖУВАЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ**

У статті розглянуто проблему підвищення експлуатаційних властивостей цегляної кладки зовнішніх стін. Показано, що модифікування поверхні керамічної лицьової цегли та будівельного розчину гідрофобізуючими речовинами дозволяє ущільнити структуру за рахунок кольматування пор і мікротріщин та забезпечує зниження капілярного підтягування кладки. Встановлено, що покращені експлуатаційні властивості та зменшення висолоутворення цегляної кладки зовнішніх стін досягаються за рахунок застосування будівельних розчинів на основі спеціального мурувального цементу ЦБР 300 (МС 22,5Х) та модифікаторів пластифікуюче-повітровтягувальної дії.

**Ключові слова:** цегляна кладка, керамічна цегла, будівельний розчин, капілярне підтягування, висолоутворення.

**Вступ.** Для облицювання зовнішніх огороджувальних конструкцій, зведення архітектурних споруд, а також при ремонті або реконструкції житлово-громадських і промислових будинків широко використовується керамічна клінкерна та лицьова цегла. На даний час, надзвичайно актуальним є розвиток енергоефективного будівництва; при цьому високі експлуатаційні властивості зовнішніх стін забезпечує конструкція багат шарової стіни з використанням керамічної клінкерної цегли як декоративного захисного шару. В той же час, керамічна клінкерна цегла вимагає високоякісної сировини та підвищеної температури випалу, що призводить до суттєвого збільшення її вартості. Тому при спорудженні фасадного шару тришарової стіни допускається використання керамічної лицьової цегли. Разом з тим, підвищені показники пористості лицьової цегли сприяють проникненню води у капілярно-пористу структуру матеріалу, що призводить до зниження експлуатаційних властивостей кладки. З іншої сторони, при виготовленні лицьової керамічної цегли може використовуватись неякісна сировина - місцеві низькосортні глини, які містять водорозчинні сульфати та хлориди лужних і лужноземельних металів, що призводить до утворення висолів на поверхні стін [1-3].

Пориста структура керамічної лицьової цегли сприяє дифузії лугів з цементних розчинів, що підсилює деструктивний вплив на кладку та знижує її технічні та декоративні властивості [4]. Характерно, що висол проявляються на кладці при використанні розчинів на основі портландцементів з підвищеним вмістом клінкеру та добавкою вапна з утворенням нерозчинних карбонатно-кальцієвих виквітів. Вільна вода з мурувального розчину, проникаючи в цеглу, розчиняє солі з наступною кристалізацією висолів не тільки на поверхні, але і в поровому просторі, що призводить у процесі експлуатації до виникнення тріщин і руйнування цілості самої кладки [5, 6]. Підвищена пористість керамічної лицьової цегли та будівельного розчину призводить до інтенсивного проникнення та підтягування вологи через пористу структуру кладки стін, що спричиняє міграцію розчинів солей і утворення кристалів у вигляді локальних білих плям, різного ступеня поширеності та інтенсивності. Слід відзначити, що висолі незначно впливають на довговічність матеріалу, проте їх наявність вказує на проникнення вологи через шар стіни [3].

Для покращення експлуатаційних властивостей та підвищення довговічності цегляної кладки широко застосовується метод поверхневого оброблення гідрофобізуючими речовинами на основі акрилових і

кремнійорганічні сполук [6-10]. Оброблення кладки хімічно-активними речовинами забезпечує необхідну гідрофобність і стійкість до проникнення вологи за рахунок кольматування пор і тріщин поверхні, що дозволяє підвищити її водонепроникність та стійкість до впливу факторів навколишнього середовища. З іншої сторони, одним з ефективних способів підвищення довговічності кладки та попередження утворення висолів є застосування будівельних розчинів на основі цементів з пониженим вмістом портландцементного клінкеру (30 – 40 мас. %) та їх модифікування повітровтягувальними добавками, які покращують технологічні властивості розчинових сумішей та показник якості розчинів [11, 12]. Використання повітровтягувальних добавок в будівельних розчинах виключає введення в їх склад вапна, що забезпечує підвищені показники морозостійкості кладки без висолоутворення. Правильний вибір складу мурувального розчину, його властивостей як у свіжоприготованому, так і в затверділому стані визначає довговічність кладки в різних умовах експлуатації будівель і споруд [13, 14].

**Матеріали і методи досліджень.** Для досліджень використано керамічну лицьову порожнисту цеглу КЛПр-1НФ ДСТУ Б.В.2.7-61:2008 ТзОВ «Голд Кераміка» (м. Івано-Франківськ) та виріб керамічний клінкерний порожнистий ККл/ОбПрОс/1НФ ДСТУ Б В.2.7-245:2010 ТзОВ «Керамейя» (м. Суми). Для оброблення поверхні керамічної лицьової цегли застосовано гідрофобізуючі поверхнево-активні речовини Мегатрон-К (ГФ-1) ПП «Терміт», NANOPREX (ГФ-2) ТзОВ «ХЕМТЕХ БАЙЕРН УКРАЇНА» та кремнійорганічний лак КО-85.

Будівельні розчини виготовляли на основі портландцементів ПЦ II/A-III-400P-N та ПЦ II/B-K(III-B-II)-400P-N, а також спеціального цементу ЦБР 300 (МС 22,5Х) ПрАТ «Івано-Франківськцемент». В якості неорганічного пластифікатора застосовано вапно будівельне ТМ «Альба». З метою покращення технологічних показників будівельних розчинів використано модифікатор пластифікуюче-повітровтягувальної дії Master Air 81 BASF.

Експериментальні дослідження виконано із застосуванням сучасних методів фізико-хімічного аналізу, зокрема рентгеновської дифрактометрії, растрової електронної мікроскопії. Визначення фізико-технічних та експлуатаційних властивостей керамічної цегли і будівельного розчину проведено згідно з діючими національними та європейськими стандартами. Для визначення показника водопоглинання використовували неруйнівний аналіз за методом Картена (RILEM Test Method II.4) згідно з ASTM E 514 та згідно з ДСТУ Б В.2.7-126:2011. Стійкість керамічної цегли та будівельних розчинів до висолоутворення випробовували згідно ДСТУ Б В.2.7-171:2008.

**Результати дослідження.** Фізико-технічні показники керамічної клінкерної порожнистої цегли ККл/ОбПрОс/1НФ та керамічної лицьової порожнистої цегли КЛПр-1НФ наведено в табл. 1. Результатами досліджень встановлено, що керамічна клінкерна та лицьова цегла за середньою густиною, водопоглинанням та міцністю відповідає вимогам ДСТУ Б В.2.7-245:2010 та ДСТУ Б В.2.7-61:2008 відповідно. Керамічна лицьова цегла за теплотехнічними властивостями відноситься до ефективної групи виробів.

Таблиця 1 - Фізико-технічні показники керамічної клінкерної та лицьової цегли

Показники	ККл/ОбПрОс/1НФ		КЛПр-1НФ	
	Вимоги згідно з ДСТУ Б В.2.7-245	Значення	Вимоги згідно з ДСТУ Б В.2.7-61	Значення
Середня густина, кг/м <sup>3</sup>	≥1000	1450	1001-1400	1300
Водопоглинання за масою, %	≤6	5,04	≥6	8,15
Границя міцності при згині, МПа	-	4,1	≥2,1	2,12
Границя міцності при стиску, МПа	≥30,0	32,3	≥15,00	16,81
Марка за міцністю	М300	М300	М150	М150

Керамічна лицьова цегла характеризується підвищеною пористістю (21%), при цьому показник водопоглинання за об'ємом складає 16,52 %. Як видно з мікрофотографії (рис. 1, а), керамічна лицьова цегла має неоднорідну мікроструктуру із значною кількістю пор. Згідно даних мікрозондового рентгеноспектрального аналізу виявлено на поверхні цегли вміст солей лужних і лужноземелювальних металів, що може бути причиною утворення висолів та деструктивних явищ у матриці керамічної цегли в процесі експлуатації. Як видно з рис. 1, б, в, кристали солей, заповнюючи пори зовнішніх шарів цегли та розчину кладки, створюють тиск і руйнують поверхневі шари керамічного матеріалу, що призводить до лущення лицьової поверхні цегли і викришування цегляної кладки.

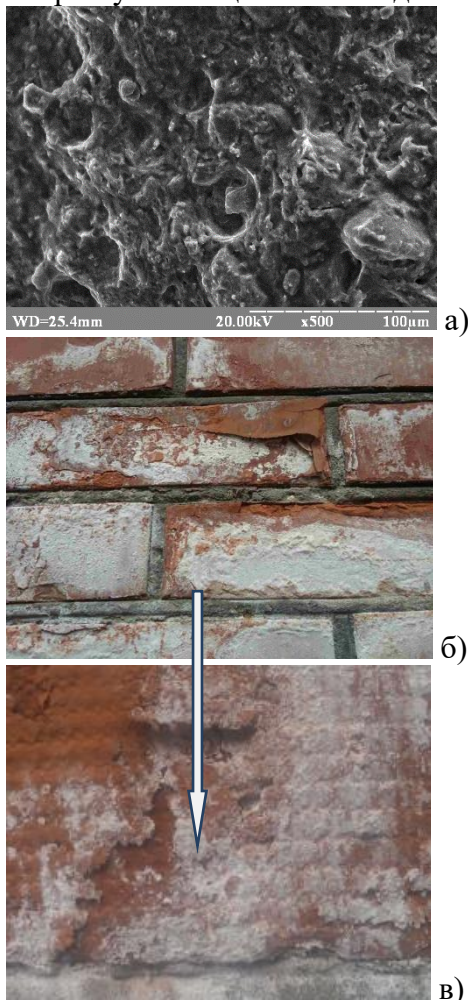


Рис. 1. Мікроструктура керамічної лицьової цегли (а), висолу (б) і руйнування кладки (в)

Для попередження висолоутворення та підвищення довговічності цегляної кладки широко застосовується метод поверхневого оброблення гідрофобізуючими речовинами, в результаті чого досягається зниження пористості та водопоглинання матеріалу. Встановлено, що при обробленні поверхні керамічної лицьової цегли кремнійорганічним лаком КО-85 водопоглинання складає 7,09 мас.%. При використанні гідрофобізатора ГФ-1 цей показник зменшується в 1,2 рази. Найменшим водопоглинанням (5,1 %) характеризується цегла, оброблена гідрофобізатором ГФ-2. Як видно з рис. 2, для керамічної клінкерної цегли показник водопоглинання при капілярному підтягуванні складає 0,5 кг/м<sup>2</sup>·год<sup>0,5</sup>, тоді як для керамічної лицьової цегли – в 4,4 рази більше. Оброблення поверхні гідрофобними покриттями дозволило зменшити показник водопоглинання при капілярному підтягуванні в 2...4 рази, що забезпечує досягнення показника клінкерної цегли.

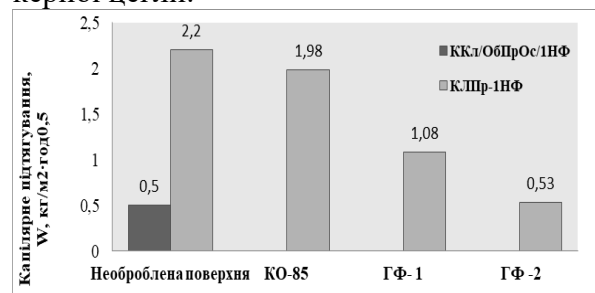
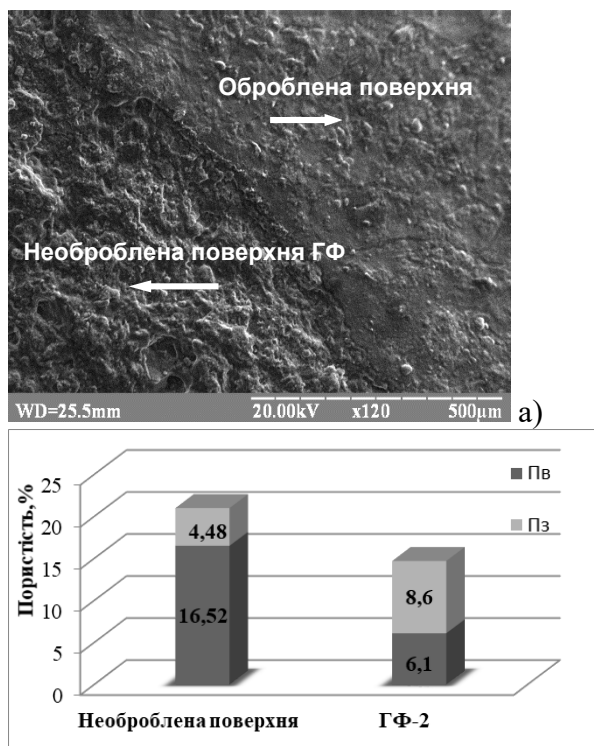


Рис. 2. Показники водопоглинання при капілярному підтягуванні керамічної клінкерної та лицьової цегли

Як видно з мікрофотографії (рис. 3, а), необроблена поверхня керамічної лицьової цегли характеризується неоднорідною структурою з значною кількістю відкритих капілярних мікропор. При просоченні гідрофобізатором ГФ-2 структура поверхні вирівнюється за рахунок утворення водонепроникної плівки, що колюматує пори. При цьому загальна пористість зменшується в 1,4 рази і складає 14,7 % порівняно з необробленою поверхнею, що перевищує показник пористості (13,58%) керамічної клінкерної цегли.



б)  
Рис. 3. Мікроструктура поверхні (а) та пористість (б) керамічної лицьової цегли необробленої та обробленої гідрофобізатором ГФ-2

Нанесення на поверхню гідрофобізатора ГФ-2 забезпечує ущільнення поверхні за рахунок проникнення хімічно-активних речовин у капілярно-пористу структуру цегляної кладки та утворення плівки на поверхні мікроскопічних пор, що перешкоджає проникненню води. Тому показник морозостійкості обробленої керамічної цегли гідрофобними хімічно-активними речовинами зростає порівняно з необробленою цеглою і досягає марки за морозостійкістю F100.

Важливе значення в процесі експлуатації цегляної кладки має будівельний розчин. Експериментальними дослідженнями встановлено, що для будівельного розчину (марка за рухомістю П8) марки за міцністю М75 на основі портландцементів ПЦ П/А-Ш-400Р-Н та ПЦ П/Б-К(Ш-В-П)-400Р-Н з добавкою вапняного тіста загальна пористість складає 21,27% (відрита – 11,45%, закрита – 9,79%). Для будівельного розчину на основі ЦБР 300, модифікованого добавкою повітровтягуювальної дії Master Air 81 марки за міцністю М75 (марка за рухомістю П8) загальна пористість збільшується

до 32,7%, при цьому закрита - підвищується в 1,8 рази. При обробленні поверхні розчинів гідрофобізатором ГФ-2 водопоглинання зменшується до 2,5 %. При цьому показник водопоглинання при капілярному підтягуванні знижується в 4,8 рази і складає 0,2...0,17 кг/м<sup>2</sup>·год<sup>0,5</sup> (рис. 4).

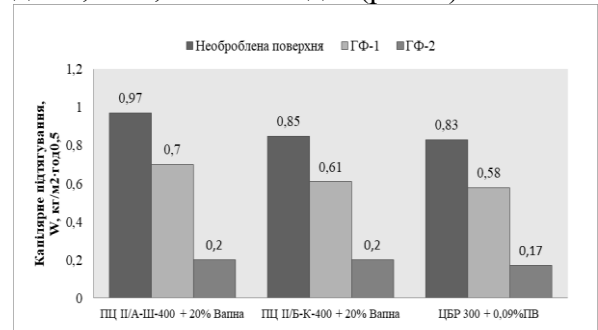


Рис. 4. Показники водопоглинання при капілярному підтягуванні будівельних розчинів, необроблених і оброблених гідрофобізаторами

Як видно з рис. 5, а, для модифікованого будівельного розчину на основі цементу ЦБР 300 характерна дрібнопориста мікроструктура з рівномірно розподіленими в цементній матриці повітряними порами діаметром 80-150 мкм. Поверхня вакуольних пор формується з зародків кристалів, в результаті чого повітряна пора вкривається щільною шкарлупою, яка перериває протяжність капілярів і призводить до зменшення капілярного підтягування води та водовбирання будівельного розчину на основі ЦБР 300. Оброблення поверхні розчину гідрофобізатором ГФ-2 забезпечує ущільнення мікроструктури та зниження пористості.

При використанні цементу для будівельних розчинів на основі ЦБР 300 та комплексних добавок пластифікуюче-повітровтягуювальної дії забезпечується висока пластичність та якість кладки. Завдяки аерації затверділий будівельний розчин характеризується меншим водовбиранням, стійкіший до дії атмосферних впливів та багатократних циклів заморожування, так як вода, що замерзає в капілярах, може втискатися в порожні бульбашки, які запобігають розтріскуванню, виконуючи роль «амортизаторів» - демпферів напружень. Введення комплексної добавки повітровтягуювально-прискорюючої дії з протиморозним ефектом до-

зволяють покращити міцнісні характеристики мурувального розчину при твердненні в умовах понижених додатних і від'ємних температур.

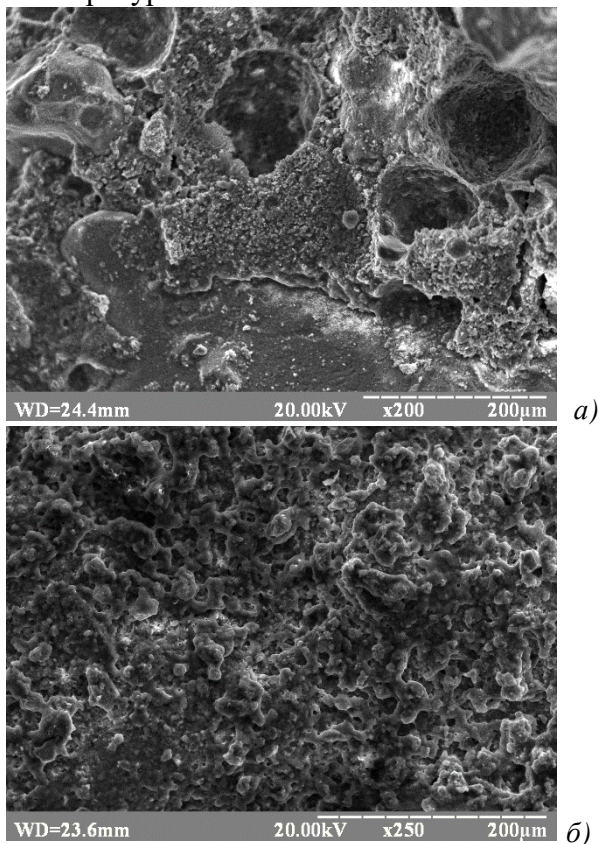


Рис. 5. Мікроструктура модифікованого будівельного розчину на основі ЦБР 300, необробленого (а) та обробленого (б) гідрофобізатором ГФ-2

Методом низькотемпературної дилатометрії визначено, що будівельні розчини з комплексними добавками характеризуються температурою початку льодоутворення  $-5...-7^{\circ}\text{C}$ , що забезпечує наявність рідкої фази для протікання процесів гідратації портландцементів на морозі; деформації розширення при цьому знижуються від 1,77 до 0,86%.

Встановлено, що для розчинових сумішей (марка за рухомістю П8) на основі ЦБР 300 отримуються високофункціональні будівельні розчини проектної марки за міцністю на стиск М100, які характеризуються підвищеною морозостійкістю (F75). Модуль пружності такого розчину складає 16,3 ГПа, а коефіцієнт Пуасона - 0,17, що сприяє зниженню можливості утворення

тріщин та підвищує якість кладки. Використання будівельного розчину на основі цементу ЦБР 300 з пониженим вмістом портландцементного клінкеру (30 – 40 мас. %) сприяє зменшенню втрати тепла через шви кладки внаслідок пониженої теплопровідності. При твердненні будівельного розчину на основі ЦБР 300 зменшується кількість кальцію гідроксиду, так як у процесі гідратації він максимально зв'язується натуральною пуцоланою в міцні гідратні утворення, що запобігає утворенню висолів.

**Висновки.** При захисті поверхні цегляної кладки гідрофобізуючими речовинами на основі кремнійорганічних і акрилових сполук забезпечується зниження показників пористості, водопоглинання при капілярному підтягуванні, збільшення водонепроникності і морозостійкості. Модифіковані будівельні розчини на основі ЦБР 300 підвищують якість цегляної кладки - повнота і рівномірність заповнення швів, дотримання їх раціональної товщини, адгезія розчину, а також міцність, морозостійкість, деформативність і стійкість до високоутворення.

**ЛІТЕРАТУРА:**

1. Brocken, H. White efflorescence on brick masonry and concrete masonry blocks, with special emphasis on sulfate efflorescence on concrete blocks / H. Brocken, T. G. Nijland // Construction and Building Materials. – 2004. – Vol. 18. – P. 315-323.
2. Varshavets P. G., Svidersky V. A., Chernyak L. P. Peculiarities of the structure and hydro physical properties of face brick. – European applied sciences / Stuttgart, Germany: ORT Publishing, 2014. – №1. – P. 106-110.
3. Шуллер, М. Л. Предотвращение и устранение кладочных высолов / М. Л. Шуллер // Цемент и его применение. – 2015. – №6. – С. 73-78.
4. Dow, C. Calcium Carbonate Efflorescence on Portland Cement and Building Materials / C. Dow, F. P. Glasser // Cement and Concrete Research. – 2003. – Vol. 33. – P. 147-154.
5. Кropyvnytska, T. Increase of brick masonry durability for external walls of buildings and structures / Т. Кropyvnytska, R. Semeniv, H. Ivashchyshyn // MATEC Web of Conferences. – 2017. – Vol. 116. – 01007.

6. Sghaier, N. Effect of Efflorescence Formation on Drying Kinetics of Porous Media / N. Sghaier, M. Prat // *Transport in Porous Media*. – 2009. – №80. – P. 441-454.
7. Najduchowska, M. Wpływ związków hydrofobowych na właściwości zapraw cementowych i gipsowych / M. Najduchowska, P. Pichniarczyk // *CEMENT WAPNO BETON*. – 2010. – № 2010/3. – S. 141-148.
8. Гивлюд, М. М. Оптимізація складу захисного покриття та його вплив на водо- і морозостійкість керамічної цегли / М. М. Гивлюд, Р. М. Семенів, Я. Й. Коцій // *Вісник НТУ «ХП»*. – 2016. – №22. – С. 44-48.
9. Семенів, Р. М. Визначення фізико-технічних властивостей керамічної цегли та її гідрофобний захист / Р. М. Семенів // *Вісник НУ «Львівська політехніка»*. Теорія і практика будівництва. – 2017. – №877. – С. 187-192.
10. Щукіна, Л. П. Безпігментне забарвлення архітектурно-будівельної кераміки з отриманням яскравих кольорів / Л. П. Щукіна, М. І. Рищенко, К. Б. Дайнеко, Г. О. Кабацька // *Науковий вісник будівництва*. – 2017. – Т. 89, №3. – С. 211-215.
11. Sanytsky, M. Modified plasters for restoration and finishing works / M. Sanytsky, T. Kropyvnytska, R. Kotiv // *Advanced Materials Research*. – 2014. – Vol. 923. – P. 42-47.
12. Саницький, М. А. Мікроструктура та міцність будівельних розчинів з комплексними модифікаторами / М. А. Саницький, Т. П. Кропивницька, Т. Є. Марків // *Будівельні матеріали та виробн.* – 2010. – №1. – С. 6-9.
13. Кропивницька, Т. П. Низькоемісійні багатокомпонентні цементні в технології будівельних розчинів / Т. П. Кропивницька, Г. С. Іващшин, Р. М. Семенів // *Вісник ОДАБА*. – 2017. – №.68 – С. 70-75.
14. Павлюк, В. В. Енергоефективні композиційні цементні для виконання робіт в зимових умовах / В. В. Павлюк, О. П. Бондаренко, В. І. Комлик // *Науковий вісник будівництва*. – 2017. – Т. 89, №3. – С. 252-256.

**Кропивницька Т.П., Саницький М.А., Семенів Р.М., Каминський А.Т. ПОВЫШЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ КИРПИЧНОЙ КЛАДКИ НАРУЖНЫХ СТЕН ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ.** В статье рассмотрено проблему повышения эксплуатационных свойств кирпичной кладки наружных стен. Показано, что модифицирование поверхности керамического лицевого кирпича и строительного раствора гидрофобизирующими веществами позволяет уплотнить структуру за счет коагуляции пор и микротрещин и обеспечивает снижение капиллярного подтягивания кладки. Установлено, что улучшенные эксплуатационные свойства и уменьшение высолообразования кирпичной кладки наружных стен достигаются за счет применения строительных растворов на основе специального кладочного цемента ЦБР 300 (МС 22,5Х) и модификаторов пластифицирующе-воздуховлекающего действия.

**Ключевые слова:** кирпичная кладка, керамический кирпич, строительный раствор, капиллярное подтягивание, высолообразование.

**Kropyvnytska T.P., Sanytsky M.A., Semeniv R.M., Kaminsky A.T. INCREASE OF BRICK MASONRY OPERATIONAL PROPERTIES OF EXTERNAL WALLS.** The problem of increasing the operational properties of brick masonry for exterior walls is considered in the article. It was shown that the modification of the ceramic brick surface and building mortar by the hydrophobic substances allows to compact a structure due to the colmatation of pores and microcracks, providing a reduction of capillary suction of the masonry. It has been established that improved operational properties and efflorescences formation decrease of the brick masonry for external walls are achieved through the use of building mortars based on special masonry cement МС 22,5Х and air-entraining admixture.

**Keywords:** brick masonry, ceramic brick, building mortar, capillary tightening, efflorescences formation.