

УДК 691.21

МЕРЕЖКО Н.В., ЗОЛОТАРЬОВА О.Г.

Київський національний торговельно-економічний університет

## ВПЛИВ КРЕМНІЙОРГАНІЧНИХ ПРОСОЧУЮЧИХ СКЛАДІВ НА МІЦНІСТЬ ПРИРОДНОГО КАМЕНЮ

МЕРЕЖКО Н.В., ЗОЛОТАРЕВА О.Г.

Киевский национальный торгово-экономический университет

## ВЛИЯНИЕ КРЕМНИЙОРГАНИЧЕСКИХ ПРОПИТЫВАЮЩИХ СОСТАВОВ НА ПРОЧНОСТЬ ПРИРОДНОГО КАМНЯ

N. MEREZHKO, O. ZOLOTAROVA

Kyiv National University of Trade and Economics

## IMPACT OF SILICON IMPREGNATING COMPOSITION ON DURABILITY OF NATURAL STONE

**Мета.** Визначення показників міцності на згин та стиск природних пористих нерудних матеріалів просочених дво- і трикомпонентними сумішами кремнійорганічних препаратів та надання кількісної оцінки впливу розроблених складів на зміну механічної міцності.

**Методика.** Характеристики міцності визначались за загальноприйнятими методиками з урахуванням поправок на розміри. Оцінка ступеню впливу просочуючих складів на механічну міцність природного каменю здійснювалась як за результатами прямих визначень межі міцності на згин і стиск, так і за їх відносною зміною порівняно з вихідним матеріалом.

**Результати.** Розроблено дво- і трикомпонентні суміші на основі силіконатів лужних металів та гідролізату етилсилікату, які використовувались для просочення пористих нерудних матеріалів. Встановлено, що сумарна концентрація просочуючих розчинів не перевищує 5 мас.% у перерахунку на сухий залишок. Визначено найефективніші кремнійорганічні просочуючі складі для пористих природних силікатів (туф, пісковик) та карбонатів (вапняк, черепашиник). Встановлено, що для просочених карбонатів відносна зміна міцності на згин може зростати в 2,1 – 3,6 рази, а на стиск – в 4,4 – 13,2 рази. Для просочених силікатів ці показники відповідно складають 2,2 – 2,4 та 2,6 – 10,3 рази.

**Наукова новизна.** Оцінено ефективність застосування бінарних і трикомпонентних кремнійорганічних просочуючих складів для підвищення механічної міцності пористого природного каменю.

**Практична значимість.** Розроблені складі кремнійорганічних сполук можуть використовуватись для просочення природних пористих матеріалів, що застосовуються у будівництві з метою підвищення їх механічної міцності. Поєднання вказаних препаратів в складі комплексних просочуючих розчинів відкриває можливості суттєвого покращення фізико-технічних властивостей нерудних матеріалів.

**Ключові слова:** механічна міцність, вапняк, піщаник, черепашиник, туф, кремнійорганічні сполуки, просочуючий склад.

**Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями.** В теперішній час в будівельній галузі збільшуються обсяги використання природних матеріалів, зокрема, природного каменю. Широко використовуються у будівництві породи середньої та невеликої міцності (вапняк, туф, черепашник, піщаник, мармур та ін.). Дані породи, маючи цінні декоративні якості, недовговічні, крім того, характерною особливістю природних силікатних та карбонатних матриць являється відносно низька механічна міцність, що обумовлює доцільність їх обробки кремнійорганічними просочуючими складами.

**Аналіз останніх досліджень, у яких започатковано вирішення проблеми.** У будівництві кремнійорганічні сполуки широко використовуються для зменшення водопоглинання [1] та підвищення атмосферостійкості цементного бетону [2], а також фіброцементних плит [3]. Слід також відмітити застосування кремнійорганічних складів для підвищення гідрофобності поверхні пористої керамічної цегли [4].

Порівняльна оцінка ефективності застосування індивідуальних кремнійорганічних препаратів для просочування пористих нерудних матеріалів дозволила визначити найперспективніші серед них [5]. В той же час неоднозначність впливу вказаних сполук, особливо на показники механічної міцності та водовідштовхувальні властивості просоченого поруватого природного каменю, викликає необхідність пошуку ефективніших шляхів їх застосування.

**Цілі статті.** Мета проведених досліджень полягає в розробці кремнійорганічних просочуючих складів для обробки природного каменю з метою підвищення його механічної міцності.

**Об'єкт дослідження.** В роботі використано найрозповсюдженіші у виробничій практиці облицювальні матеріали силікатного (пісковик, туф) та карбонатного (вапняк, черепашник) походження. За походженням дані матеріали можуть бути віднесені до осадових гірських порід. В якості кремнійорганічних просочуючих сполук запропоновано дво- та трикомпонентні склади на основі силіконатів натрію та калію, склади на основі останніх і гідролізату етилсилікату.

**Методи дослідження.** При дослідженнях використовували загальноприйняті стандартні методи, які дозволяють визначати механічну міцність просоченого природного каменю.

**Виклад основного матеріалу дослідження з повним обґрунтуванням отриманих наукових результатів.** Одним з напрямків поліпшення механічної міцності природного каменю, на наш погляд, може бути

застосування дво- і трикомпонентних сумішей на основі силіконатів лужних металів та гідролізату етилсилікату. Інформація про застосування таких сумішей для просочення пористих нерудних матеріалів практично відсутня.

Для просочення природного каменю застосовувались переважно двокомпонентні склади (№ 1-6) із співвідношенням метилсиліконату калаю, етил- і фенілсиліконатів натрію в межах від 1:2 до 2:1 в частинах по масі в перерахунку на сухий залишок, а також трикомпонентний склад № 7 із співвідношенням інгредієнтів 1:1:1. Сумарна концентрація просочуючих розчинів не перевищувала 5 мас. % у перерахунку на сухий залишок. В якості розчинника використовувалась вода. Аналогічні підходи використовувались і при підборі складів на основі гідролізату етилсилікату (просочуючі склади (№ 8–10) (табл. 1).

Таблиця 1

**Просочуючі склади на основі кремнійорганічних сполук  
(співвідношення інгредієнтів в мас. частинах)**

Порядковий номер складу	Метил-силіконат калаю	Етилсиліконат натрію	Фенілсиліконат натрію	Гідролізат етилсилікату	Поліетил-гідридсилоксан	Поліметил-фенілсилоксан
1	1	2	-	-	-	-
2	2	1	-	-	-	-
3	1	-	2	-	-	-
4	2	-	1	-	-	-
5	-	2	1	-	-	-
6	-	1	2	-	-	-
7	1	1	1	-	-	-
8	1	-	-	1	-	-
9	-	1	-	1	-	-
10	-	-	1	1	-	-
11	-	-	-	1	1	1

Співставлення ефективності застосування запропонованих складів здійснювалось з системою № 11, яка передбачала застосування сумішей водних емульсій поліетилгідридсилоксану і поліметилфенілсилоксану у поєднанні з гідролізатом етилсилікату в межах відмічених вище концентрацій.

За результатами дослідження межі міцності на згин і стиск та за їх відносною зміною порівняно з вихідним матеріалом здійснювалась оцінка ступеню впливу просочуючих складів на механічну міцність природного

каменю. Остання визначалась як відношення різниці міцностей просоченого каменю дво– чи трикомпонентним складом і вихідного матеріалів до середньоарифметичної різниці відповідної межі міцності між просочених індивідуальними сполуками, що входять відповідно до згаданих вище складів, та вихідними матеріалами. Ця величина безрозмірна і може варіювати від нуля як в бік збільшення так і зменшення. Нульове відхилення фіксується при однаковій міцності просоченого і вихідного матеріалів.

Аналіз ступеню впливу просочуючих складів на міцність вапняку показав наявність суттєвих відмінностей (до 2,5 разів). У випадку міцності на згин максимум фіксується після використання трикомпонентного складу № 11 для складу № 1, а мінімум для № 5. Найбільшу зміцнюючу дію серед досліджуваних складів (в 2,06 разів) також проявляє склад № 1. Найменш ефективна дія виявлена для складу № 9 (відносна міцність зменшується вдвічі).

Максимальна абсолютна міцність на стиск фіксується при використанні складу № 2, а мінімальна як у попередньому випадку для складу № 5. Тоді як відносна зміна виглядає дещо інакше: значення максимуму також зафіксовано для складу № 2, але лише після дії суміші під № 11. Найменша відносна зміна міцності (на рівні - 0,72 ) відмічена для складу № 9.

Таким чином, стосовно підвищення рівня механічної міцності просоченого вапняку, порівняно з контрольним матеріалом, перевага спостерігається у випадку використання сумішей метил- та етилсиліконатів натрію. Найменш ефективним є застосування складів № 5 та № 9 (табл.2).

Таблиця 2

### Механічна міцність просоченого кремнійорганічними сумішами вапняку

Просочуючий склад, №	Міцність на згин		Міцність на стиск	
	межа міцності, МПа	відносна зміна порівняно з вихідним матеріалом	межа міцності, МПа	відносна зміна порівняно з вихідним матеріалом
1	9,1	2,06	17,7	1,82
2	9,0	2,00	26,4	4,38
3	5,9	0,00	16,3	0,90
4	6,2	0,16	15,7	0,81
5	4,0	- 1,03	10,2	0,30
6	4,6	0,70	9,4	0,48
7	5,9	0,00	23,1	2,68
8	6,0	0,05	14,8	0,61
9	4,3	- 2,00	10,4	- 0,72
10	6,5	0,28	11,4	- 0,03
11	9,7	0,97	18,5	5,73

Стосовно черепашнику просоченого сумішами кремнійорганічних сполук необхідно констатувати неоднозначність впливу останніх, за виключенням складу № 11, на показники міцності на згин і стиск (табл. 3). Лише даний склад забезпечує переконливе зростання механічної міцності на фоні всіх досліджуваних складів.

Таблиця 3

**Механічна міцність просоченого кремнійорганічними сумішами черепашнику**

Просочуючий склад	Міцність на згин		Міцність на стиск	
	межа міцності, МПа	відносна зміна порівняно з вихідним матеріалом	межа міцності, МПа	відносна зміна порівняно з вихідним матеріалом
1	5,0	1,13	17,9	2,12
2	6,2	2,42	15,2	1,00
3	5,0	1,17	13,4	0,36
4	4,2	0,62	16,1	2,00
5	4,5	0,68	21,1	5,00
6	3,9	0,34	14,7	0,54
7	3,5	0,13	16,9	2,16
8	2,9	- 0,50	11,9	- 1,80
9	6,8	3,18	12,0	- 1,60
10	5,2	2,19	12,5	- 0,24
11	8,5	3,64	18,5	13,25

У випадку міцності на згин далі слідує склад № 9, а за ним – № 2. Найменший ефект фіксується при застосуванні складів № 7 та № 8.

Найвища абсолютна міцність на стиск спостерігається в результаті просочення складом № 5. Наступним серед бінарних складів слід відмітити суміш № 1. В такому ж порядку відбувається і відносна зміна міцності на стиск, тоді як найвищі показники відмічені для складу № 11.

Мінімальний вплив на показники міцності відбувається відповідно при використанні складів №8 та 9.

Отже, застосування двокомпонентних складів для просочення черепашнику характеризується неоднозначним впливом на зміну міцності на згин та стиск. В першому випадку найкращі результати зафіксовані при використанні систем на основі фенілсиліконату натрію та гідролізату етилсилікату і метилсилікату калію та етилсилікату натрію. Поєднання етил- та фенілсиліконатів натрію найбільш ефективно впливає на зміну міцності на стиск для черепашнику.

Зміна хімічного характеру неорганічної матриці з карбонатної на силікатну супроводжується збереженням неоднозначності впливу просочуючих складів на механічну міцність пісковика на згин та стиск.

Позитивна відносна зміна її в першому випадку стабільно спостерігається при застосуванні препаратів з фенілсиліконатом натрію і метилсиліконатом калію (склад № 4) та трикомпонентних складів на основі силіконатів (склад № 7). Мінімальні зміни на рівні 0,56 – 0,64 відмічені для препаратів на основі гідролізатів етилсилікату (№ 8, 10) (табл. 4).

Таблиця 4

**Механічна міцність просоченого кремнійорганічними сумішами пісковику**

Просочуючий склад, №	Міцність на згин		Міцність на стиск	
	межа міцності, МПа	відносна зміна порівняно з вихідним матеріалом	межа міцності, МПа	відносна зміна порівняно з вихідним матеріалом
1	11,9	1,42	25,9	- 1,22
2	13,3	1,54	41,4	0,77
3	11,5	0,72	32,2	- 0,43
4	13,6	2,40	36,7	0,17
5	13,5	1,45	31,4	- 1,95
6	12,2	0,80	30,2	- 2,54
7	14,7	1,64	50,4	2,60
8	13,5	0,64	23,3	- 1,08
9	12,2	0,91	42,2	- 0,33
10	13,0	0,56	25,0	- 0,86
11	16,9	0,94	25,2	- 0,74

Максимальна міцність на згин спостерігається при застосуванні складів № 11 та № 7, а мінімальна, відповідно, № 3 та № 1.

Слід відмітити стабільно високу ефективність використання складу № 7 для просочення пісковику, який забезпечує і максимальну міцність матеріалу на стиск. Серед інших складів заслуговує на увагу склад № 2. Мінімальна абсолютна міцність на стиск фіксується при використанні складів № 8 та 10, а відносна – при обробці складами № 5, 6.

Таким чином, для зміцнення пісковику найефективнішим є використання трикомпонентного складу на основі силіконатів лужних металів. Дещо менш ефективним є застосування складу № 2.

Найвищі показники міцності просоченого туфу зафіксовані при використанні складу на основі метилсиліконату калію і етилсиліконату натрію (№ 2). Дещо нижчі значення міцності на згин відмічені у випадку просочення складами на основі фенілсиліконату натрію (№ 6,7). Мінімальна міцність спостерігається при застосуванні сумішей на основі гідролізату етилсилікату (табл. 5).

Таблиця 5

**Механічна міцність просоченого кремнійорганічними сумішами туфу**

Просочуючий склад, №	Міцність на згин		Міцність на стиск	
	межа міцності, МПа	відносна зміна порівняно з вихідним матеріалом	межа міцності, МПа	відносна зміна порівняно з вихідним матеріалом
1	7,2	0,56	15,8	1,56
2	10,2	2,22	22,6	3,71
3	6,7	0,25	12,3	0,72
4	6,1	- 0,05	14,2	1,69
5	6,0	- 0,25	12,2	0,76
6	7,2	1,25	11,7	0,47
7	7,6	0,92	8,4	- 1,10
8	4,3	- 1,41	10,3	- 0,70
9	5,6	- 1,50	5,7	- 2,54
10	4,4	- 6,00	11,5	0,20
11	6,8	0,51	18,8	10,26

Аналогічна картина спостерігається при дослідженні зміни міцності на стиск. Слід відмітити досить високі показники міцності (відповідно 18,8 МПа у 10,26 разів) у випадку використання суміші № 11. Склад № 11 децю поступається за абсолютними показниками межі міцності. Найнижчі параметри міцності спостерігаються при просоченні складом № 9.

Тобто, стосовно впливу просочуючих складів на міцність туфу, можна однозначно констатувати беззаперечну перевагу сумішей метилсиліконату калію та етилсиліконату натрію.

**Висновки та перспективи подальших досліджень.** Підсумовуючи викладене, необхідно констатувати, що представлені результати досліджень дозволяють достовірно оцінити ефективність застосування бінарних і трикомпонентних складів для підвищення механічної міцності просочених нерудних матеріалів, визначитися у кожному конкретному випадку із найбільш перспективними складами і надати оцінку оптимальності різних варіантів їх використання.

Дана кількісна оцінка впливу розроблених складів на зміну механічної міцності за абсолютним показником (по межі міцності на згин і стиск) та за відносною їх зміною порівняно з вихідним матеріалом на прикладі вапняку, черепашнику, пісковіку і туфу. Визначено найефективніші склади кремнійорганічних просочуючих сумішей.

### Література

1. Колесник Д.Ю. Технологічні властивості олігоорганосилоксанів у поверхневому шарі цементобетонних матеріалів / Колесник Д.Ю., Коваль П.М., Сиченко В.Г. // Залізничний транспорт України. – №3. – 2006. – С.46-48.
2. Підвищення атмосферостійкості цементобетонних матеріалів поверхневою обробкою силоксановими композиціями / [П.М. Коваль, Д.Ю. Колесник, В.Г. Сиченко, А.П. Баглай] // Нові технології в будівництві. – 2005. – №1(9). – С. 65-68.
3. Мухаметрахимов Р.Х. Исследование влияния кремнийорганических соединений на свойства фиброцементных плит / Мухаметрахимов Р.Х., Готов В.С. // Известия КГАСУ. – 2011. – №4 (18). – С.254-258.
4. Варшавець П.Г. Сучасні методи захисту будівельних матеріалів від зовнішніх агресивних факторів / П.В. Захарченко, П.Г. Варшавець // Будівельні матеріали, виробництва та санітарна техніка. – К.: Знання. – 2012. – Вип.45. – С.73–75.
5. Золотарьова О.Г. Кремнійорганичні сполуки для гідрофобізації нерудних матеріалів / Золотарьова О.Г. // Товари і ринки. - К. КНТЕУ. – 2013. – № 2. – С.148-156.

**Цель.** *Определение показателей прочности при изгибе и сжатии природных пористых нерудных материалов, пропитанных двух- и трехкомпонентными смесями кремнийорганических препаратов и количественная оценка влияния разработанных составов на изменение механической прочности.*

**Методика.** *Характеристики прочности определялись по общепринятым методикам с учетом поправок на размеры. Оценка степени влияния пропитывающих составов на механическую прочность природного камня проводилась как по результатам прямых определений границ прочности на изгиб и сжатие, так и по относительным изменениям по сравнению с исходным материалом.*

**Результаты.** *Разработаны двух- и трехкомпонентные смеси на основе силикатов щелочных металлов и гидролизата этилсиликата, которые использовались для пропитки пористых нерудных материалов. Установлено, что суммарная концентрация пропитывающих растворов не превышает 5 масс.% в пересчете на сухой остаток. Определены наиболее эффективные кремнийорганические пропитывающие составы для пористых природных силикатов (туф, песчаник) и карбонатов (известняк, черепашиник). Установлено, что для пропитанных карбонатов относительное изменение прочности на изгиб может возрастать в 2,1 – 3,6 раза, а при сжатии – в 4,4 – 13,2 раза. Для пропитанных силикатов эти показатели составляют соответственно 2,2 – 2,4 и 2,6 – 10,3 раза.*

**Научная новизна.** *Проведено оцінку застосування бінарних і трьохкомпонентних складів кремнійорганічних пропитывающих составов для повышения прочности пористого природного камня.*

**Практическая значимость.** *Разработанные составы кремнийорганических соединений могут быть использованы для пропитки природных пористых материалов, которые используются в строительстве, для повышения их механической прочности. Объединение указанных препаратов в составе комплексных пропитывающих растворов открывает полные возможности существенного улучшения физико-технических свойств*



нерудных материалов.

**Ключевые слова:** механическая прочность, известняк, песчаник, черепашиник, туф, кремнийорганические соединения, пропитывающий состав.

**Purpose.** Definition of flexural and compression strength indexes of the natural porous nonmetallic materials impregnated with two - and ternary mixes of organic silicon compounds and the quantitative assessment of influence of the researched structures on the mechanical durability of natural stone.

**Methodology.** Characteristics of durability were determined by the practical standards taking into account allowances for the sizes. Assessment of influence extent of saturating compositions on mechanical strength of a natural stone was carried out as by results of direct delimitations of flexural and compression strength, and on the relative changes in comparison with a starting material.

**Findings.** Two - and ternary mixes on the basis of alkali metals silikonats and a hydrolysate of ethylsilicate were developed which were used for impregnation of porous nonmetallic materials. It is established that summary concentration of the impregnating solutions does not exceed 5 mass % in terms of a solids content. The most efficient organic silicon impregnating compositions for porous natural silicates (tuff, sandstone) and carbonates are defined (limestone, a Coquina). It is established that for the impregnated carbonates the relative change of flexural strength can be increased 2,1 – 3,6 times, and for compression –4,4 – 13,2 times. For the impregnated silicates these indexes are respectively 2,2 - 2,4 and 2,6 – 10,3 times.

**Originality.** The assessment of results of binary and ternary structures of organic silicon impregnating compositions use to increase durability of a porous natural stone is carried out.

**The practical value.** The developed structures of organic silicon compounds can be used for impregnation of natural porous materials used in construction to increase their mechanical durability. Combination of the specified materials in the complex impregnating solutions opens the complete opportunities of significant improvement of physics and technology properties of nonmetallic materials.

**Keywords:** mechanical durability, limestone, sandstone, coquina, tuff, silicone compounds, impregnating composition.

Рекомендовано до публікації докт.техн.наук.  
професором КНТЕУ Мокроусовою О.Р.  
Дата надходження в редакцію 09.02.2017 р.