

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ І ПОТЕНЦІАЛЬНИХ МОЖЛИВОСТЕЙ ЗАХИСТУ ПАПЕРУ СИЛОКСАНАМИ У ВОЛОГИХ СЕРЕДОВИЩАХ

Осауленко К. В., Демченко В. О., Мережко Н. В.

1. Вступ

Матеріали на основі целюлози знаходять широке використання в різних галузях промисловості завдяки наявності цілого комплексу цінних фізико-хімічних властивостей. Головною їх перевагою являється екологічна безпечність. В той же час особливості їх складу і структури (наявність гідроксильних груп, висока пористість тощо) зумовлюють необхідність їх захисту, особливо у вологих середовищах. Одним із ефективних шляхів вирішення вказаної проблеми може бути використання тонкошарових кремнійорганічних покриттів. У зв'язку з цим розробка таких покриттів та оцінка потенційних можливостей їх застосування являється актуальною.

2. Об'єкт дослідження та його технологічний аудит

Об'єктом дослідження слугував намотувальний папір на основі небіленої целюлози (100 мас. %) товщиною 70 ± 3 мкм (ГОСТ 1931-80), який має такі властивості:

- пористість – 55,0 %;
- густина (г/см^3) геометрична – 0,64 та істинна – 1,42;
- водопоглинання – 58,7 мас. %;
- вологопоглинання – 17,7 мас. %.

Намотувальний папір на основі небіленої целюлози користується досить високим попитом в промисловості в якості пакувального матеріалу. Однак одним з найбільш проблемних місць є те, що цей папір є досить нестійким при впливі агресивних середовищ. Тому поставлено завдання вдосконалити його властивості за рахунок обробки силосанами.

3. Мета та задачі дослідження

Мета дослідження – оцінити ефективність застосування та потенційні можливості тонкошарових кремнійорганічних покриттів різної реакційної здатності для захисту паперу на основі небіленої целюлози у вологих середовищах.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні задачі:

1. Дослідити гідрофобні властивості та грибостійкість поверхні обробленого паперу.
2. Провести дослідження міцності на розрив та діелектричних параметрів обробленого паперу.
3. Провести ІЧ-спектromетрію пористого алюмосилікатного скла.

4. Дослідження існуючих рішень проблеми

Матеріали на основі рослинних полімерів, зокрема целюлози, володіють комплексом цінних фізико-технічних властивостей, які відкривають широкі перспективи

їх функціонального застосування і в т. ч. для упаковки та виробництва конструкційних елементів [1, 2]. Особлива їх перевага полягає у високій екологічній безпеці.

Забезпечення наявності лінійки необхідних якостей досягається в значній мірі за рахунок використання різних видів целюлози та ефективних прийомів її переробки в папери цільового призначення. Особлива увага приділяється їх ефективному зміцненню шляхом обробки різними хімічними препаратами (парафіни, поліамідні смоли, силікати тощо) [3].

Необхідність зміцнення паперу зумовлена високою хімічною активністю целюлози за рахунок присутності в її складі значної кількості гідроксильних груп, пористістю (до 60 %) та багатоцикловими механічними навантаженнями в процесі експлуатації [4].

Особливої уваги потребує його захист під час експлуатації у вологих умовах. Присутність шару адсорбованої води на поверхні може негативно впливати на фізико-технічні властивості. Ступінь такого впливу визначається енергетичним станом поверхні субстрату та змочуваністю її водою в рідкокристалічному стані і адсорбцією водяної пари [5, 6].

Дія сорбованої вологи на органічні матеріали може проявлятися в ефекті Ребіндера, зміні міжмолекулярної взаємодії, гідролізі і механічному руйнуванню [7]. Підвищенню вологопроникності сприяє:

- висока полярність, передусім бокових груп макромолекул і наявність чисельних подвійних зв'язків;
- слабка впорядкованість структури хімічних полімерів, велика розгалуженість бічних груп і мала симетрія макромолекул;
- неповна міра заливання полімерів, що мають реакційні групи та ін. [8].

Добові коливання вологості повітря можуть супроводжувати процеси сорбції і десорбції вологи целюлозовмісними матеріалами. При цьому, внаслідок специфіки їх структури та, як наслідок, низького коефіцієнта дифузії вологи в окремих випадках не виключено виникнення напруг і деформацій, що призводять до руйнування [9].

Серед ефективних напрямків в частині захисту паперу та виробів на його основі у вологих середовищах заслуговує уваги використання тонкошарових покриттів на основі кремнійорганічних сполук різних класів. Успішне їх використання потребує врахування особливостей його пористої капілярної структури, малої товщини та анізотропії більшості фізико-технічних властивостей для листових матеріалів. Крім того, не менш важливі і такі фізико-хімічні особливості целюлозовмісних субстратів:

- високий вміст гідроксильних груп в їх складі;
- підвищена гігроскопічність;
- можливість виникнення механічних деформацій;
- відносно низька механічна міцність в тонких шарах;
- незначна хімічна стійкість до дії хімічних сполук з рН відмінним від нейтрального;
- широкий спектр застосувань різноманітного функціонального призначення [10, 11].

5. Методи дослідження

Модифікування поверхні паперу здійснювалось методом занурення у 3–5 % по об'єму розчини у воді, органічних розчинниках або водній дисперсії кремнійорганічних продуктів:

- метилсиліконату калію (МСК);
- поліметил- (ПМГС) і поліетилгідридсилоксанів (ПЕГС);
- поліметил- (ПМС) і поліетилсилоксанів (ПЕС);
- гідролізату етилсилікату (ГЕГС) та їх модифікацій на основі МСК (МСКМ і МСКЦ) та поліалкілгідридсилоксанів (ПМГСМ і ПЕГСМ).

Двошарові схеми покриттів застосовувались з адгезійним півшаром на основі гідролізату етилсилікату або метилсиліконату калію і його модифікацій з наступним перекриттям поліалкілгідридсилоксанами. Отверднення здійснювалось термообробкою при 100–120 °С [12].

Ефективність захисної дії кремнійорганічних покриттів оцінювалась:

- у вологих середовищах (відносна вологість 95–98 %, термін експозиції – 60 діб);
- в присутності мікроскопічних грибів (30 діб);
- в присутності сольового туману (25 діб, водність туману – 2–3 г/м³, дисперсність – 1–20 мкм) [13].

В ході випробування паперу контролювались наступні параметри [14, 15]:

- крайовий кут змочування поверхні водою (θ), град;
- зміна маси, %;
- грибовітійкість, бал;
- ступінь екранування (X), %:

$$X=K(1-\cos\theta_x),$$

де $\cos\theta_x$ – косинус кута змочування поверхні; K – міцність на розрив (у відсотках до початкової).

Крім того, запропоновано використати і порівняльний коефіцієнт ефективності захисної дії (ПКЕЗД), який дозволяє дати більш об'єктивну картину зміни міцності паперу в процесі випробувань в порівнянні з необробленим матеріалом [16]:

$$\text{ПКЕЗД}=(\sigma_n^2/\sigma_n^1)/(\sigma_s^2/\sigma_s^1), \quad (1)$$

де σ_n^2 і σ_n^1 – відповідно руйнівне навантаження паперу з покриттям після і до випробування; σ_s^2 і σ_s^1 – відповідно руйнівне навантаження паперу без покриття після і до випробування.

Інфрачервоні спектри силоксанів після отверднення на поверхні пористого алюмосилікатного скла та витримки в гідротермальних умовах при тиску водяної пари 0,8 МПа знімали на «Specord-75JR» (Канада). Вибір для дослідження алюмосилікатного скла зумовлений його хімічною інертністю та можливістю адсорбувати значну кількість модифікаторів, що забезпечує необхідну достовірність аналізу [17].

Умовний тангенс кута діелектричних втрат вимірювався на частоті 1000 Гц після витримки матеріалу у вологому середовищі [18].

6. Результати досліджень

Співставлення отриманих даних відносно змочуваності поверхні паперу після експозиції у вологих середовищах різного ступеня агресивності показало

неоднозначну зміну останньої [19]. Максимальні значення крайових кутів змочування на рівні 71–72° відповідно після 60 діб витримки у вологому середовищі та 25 діб при аналогічних умовах в присутності сольового туману. Мінімальні їх значення на рівні 45° відмічено після 30 діб експозиції у вологому середовищі при наявності мікроскопічних грибів (табл. 1).

Таблиця 1

Зміна властивостей паперу з кремнійорганічними покриттями після експозиції у вологому середовищі (відносна вологість 95–98 %)

Вид покриття	60 діб			30 діб в присутності мікроскопічних грибів				25 діб в присутності сольового туману		
	Крайовий кут змочування, град.	Ступінь екранування, %	Зміна маси, %	Грибостійкість, бал	Крайовий кут змочування, град.	Ступінь екранування, %	Зміна маси, %	Крайовий кут змочування, град.	Ступінь екранування, %	Зміна маси, %
Без покриття	71	–	11,9	4	45	–	4,4	72	–	1,9
На основі промислових продуктів:										
МСК	102	95,4	10,1	2	81	66,7	1,8	80	65,2	–4,4
ПМГС	103	96,8	8,2	3	82	68,0	2,6	83	69,4	–1,6
ПЕГС	104	98,1	8,1	2	83	69,4	2,9	84	70,0	–1,9
ПМС	102	95,4	7,8	1	77	62,3	2,1	81	66,7	0,4
ПЕС	99	91,4	7,4	0	69	50,7	2,2	83	69,4	0,2
ГЕГС	96	87,3	8,9	2	75	58,6	2,4	74	58,6	1,5
На основі модифікованих к/о покриттів:										
МСКМ	101	94,1	8,7	1	78	62,6	2,3	76	61,2	–5,1
МСКЦ	102	95,4	8,6	1	79	63,9	2,2	77	62,3	–5,4
ПМГСМ	104	98,1	6,6	2	83	69,4	2,3	83	69,4	–0,5
ПЕГСМ	102	95,4	6,3	2	84	70,8	2,4	86	73,5	–0,6
Двошарові:										
ГЕГС/ ПЕГС	103	96,8	7,5	2	87	74,9	2,1	80	70,8	–0,7
ГЕГС/ ПМГС	102	95,4	7,3	2	88	76,1	2,0	81	66,7	–0,9
МСК/ ПЕГС	101	94,1	7,6	1	86	73,5	1,8	81	66,7	–4,2
МСКМ/ ПЕГС	102	95,4	7,2	1	87	74,9	2,8	82	68,0	–4,5
МСКЦ/ ПЕГС	104	98,1	7,1	1	88	76,1	2,9	79	63,9	–4,1

Примітка: знак «–» означає зменшення маси.

Обробка поверхні складами на основі промислових кремнійорганічних продуктів, їх модифікацій та двошарових систем дозволяє забезпечити високий рівень

гідрофобності. Значення крайових кутів змочування водою складають 96(ПЕГС)–104(ПЕГС) градуси після 60 діб експозиції у вологому середовищі при застосуванні промислових продуктів та 101–104° для їх модифікацій та двошарових систем. Ступінь екранування поверхні перебуває в межах 87,3–92,1 %. Середньоарифметичні дані для досліджуваних груп покриттів по крайовим кутам змочування перебувають на рівні 101,1–103,2°, а ступеня екранування – 94,2–96,6 %.

Гідрофобні властивості поверхні обробленого паперу менш стабільні в умовах витримки протягом 30 діб у вологому середовищі з мікроскопічними грибами. Крайові кути змочування при застосуванні промислових препаратів перебувають на рівні 69(ПЕС)–83(ПЕГС) градуси, а ступінь екранування відповідно 50,7–69,4 %.

Модифікування силоксанів дозволяє збільшити водовідштовхуючі властивості целюлозовмісних субстратів до рівня значень кутів θ 78(МСКМ)–84(ПЕГСМ) градусів та X – 62,6–70,8 %.

Ще кращий ефект досягається при застосуванні двошарових покриттів, коли крайові кути збільшуються до рівня 86(МСК/ПЕГС)–88(ПЕГС/ПМГС, МСКЦ/ПЕГС) градусів при ступені екранування 73,5–76,1 %.

За середньоарифметичним показником дослідження покриття по грибам в частині крайових кутів мають відповідно 77,3, 82,0 та 86,7°, а екранування – 61,7, 68,0 і 14,4 %. По абсолютним критеріям стосовно мінімізації змочування поверхні паперу водою слід відмітити двошарові склади на основі гідролізату етилсилікату та модифікованого метилсиліконату калію з наступним перекриттям поліалкілгідридсилоксанами.

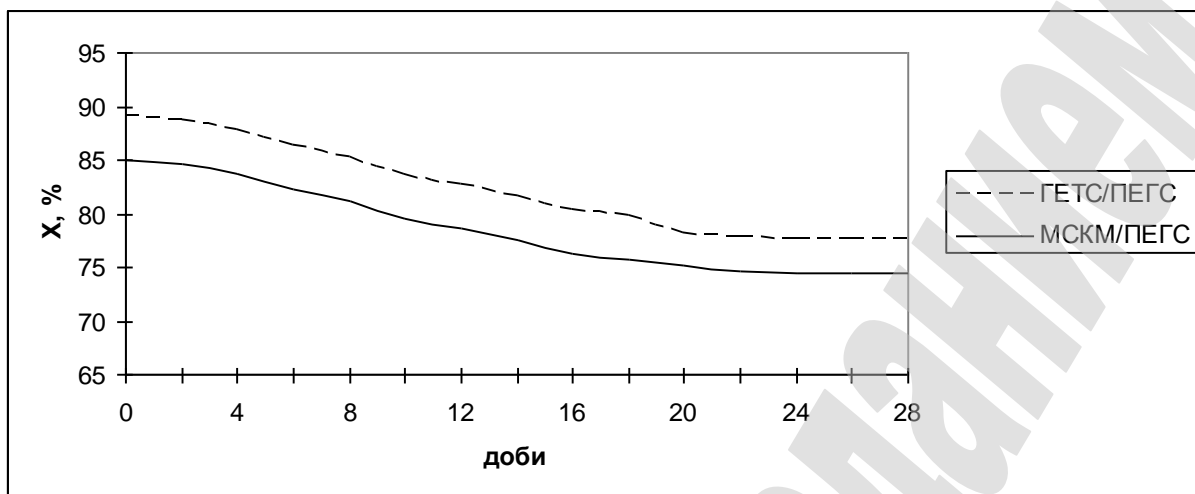
Серед випробуваних вологих середовищ експозиція протягом 25 діб в присутності сольового туману супроводжується найбільш помітною гідрофілізацією поверхні модифікованого паперу. Середньоарифметичні показники по кутам складають 79,7–81,4°, а по ступеню екранування – 65,3–67,7 %.

Більш детальний аналіз динаміки зміни останнього параметра в ході випробувань виявив схожий характер для різних покриттів (рис. 1). Незалежно від складу останніх збільшення терміну експозиції до 25 діб супроводжується практично монотонним зменшенням ступеню екранування в межах 10–20 %. Найбільш помітні його зміни відбуваються в діапазоні від 4 до 8 діб тестувань.

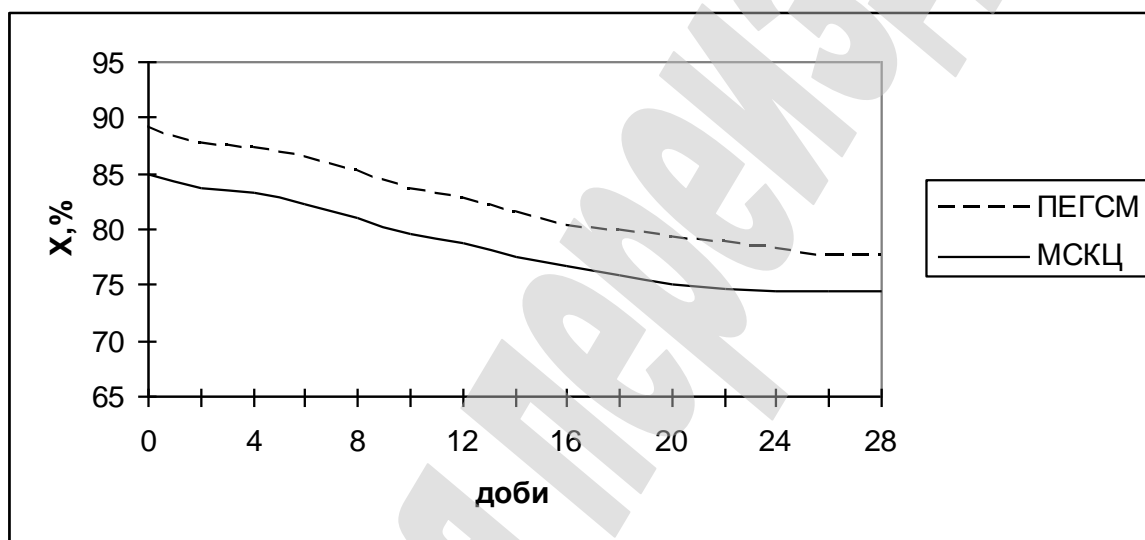
Перебування паперу в різних вологих середовищах супроводжується неоднозначною зміною його маси (табл. 1). Від збільшення до 11,9 % після 60 діб дії водяної пари, до зменшення на 4,4 % після 30 діб одночасного впливу вологи і мікроскопічних грибів.

Застосування кремнійорганічних покриттів дозволяє суттєво зменшити вологопоглинання до 47 % (ПЕГСМ) в першому випадку та до 60 % (МСК, МСК(ПЕГС)) експозиції у вологому середовищі з мікроскопічними грибами. Грибостійкість модифікованого паперу зростає з 4 до 1–2 балів.

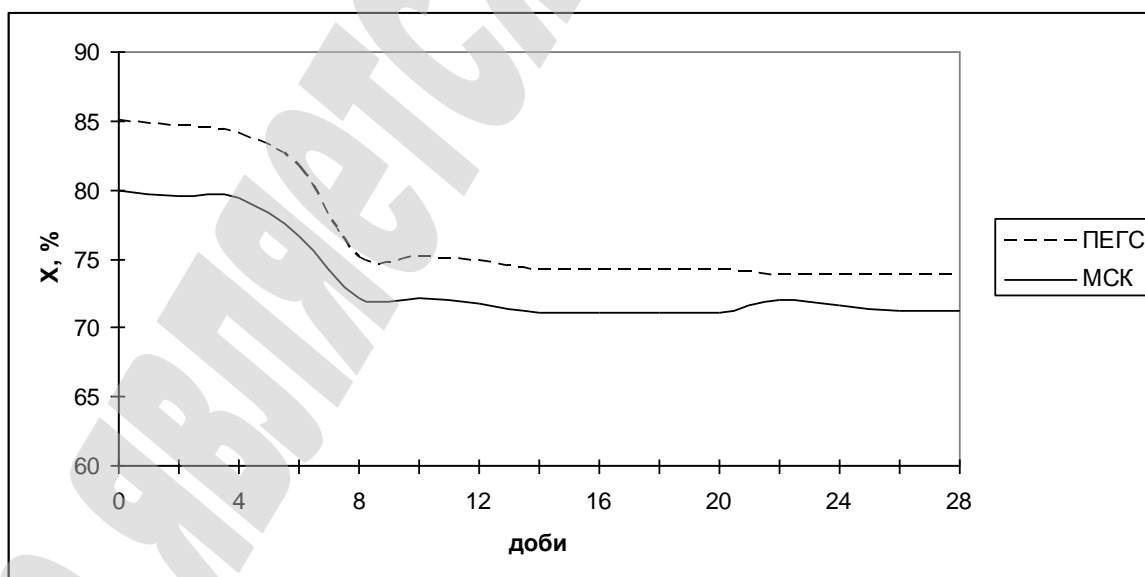
Присутність сольового туману у вологому середовищі неоднозначно впливає на зміну маси паперу з кремнійорганічними покриттями. На фоні її зростання на 1,9 % для вихідного матеріалу можливе і зменшення за рахунок обробки поверхні модифікованими силоксанами до 0,5–5,1 % або збільшення 0,1–1,5 при застосуванні поліалкілсилоксанів та гідролізату етилсилікату.



a



б



в

Рис. 1. Зміна ступеню екранування паперу з кремнійорганічним покриттям при експозиції у вологому середовищі в присутності сольового туману:
 а – ГЕТС/ПЕГС та МСКМ/ПЕГС; б – ПЕГСМ та МСКЦ; в – ПЕГС та МСК

Деструкційні процеси, які відбуваються в складі паперу на основі небілевої целюлози та проявляються шляхом гідрофілізації його поверхні (після експозиції у вологих середовищах різного ступеня агресивності) і зміни маси супроводжуються погіршенням механічної міцності останнього. Її зменшення для вихідного матеріалу складає від 21,5 (60 діб у вологому середовищі) до 60 % (після 30 діб дії вологи і присутності мікроскопічних грибів) (табл. 2).

Таблиця 2

Міцність на розрив (% паперу з кремнійорганічними покриттями (% до вихідного) після експозиції у вологому середовищі (відносна вологість 95–98 %))

Вид покриття	60 діб		30 діб в присутності мікроскопічних грибів		25 діб в присутності сольового туману	
	Руйнівне зусилля	ПКЕЗД	Руйнівне зусилля	ПКЕЗД	Руйнівне зусилля	ПКЕЗД
Без покриття	78,4	–	39,7	–	64,2	–
На основі промислових продуктів:						
МСК	89,3	1,03	86,1	1,04	85,5	1,15
ПМГС	96,7	1,22	89,1	1,09	90,3	1,14
ПЕГС	97,2	1,27	88,6	1,08	89,2	1,15
ПМС	98,4	1,07	89,7	1,01	91,2	1,03
ПЕС	99,0	1,07	88,4	1,06	90,4	1,02
ГЕГС	97,8	1,17	93,2	1,07	93,6	1,07
На основі модифікованих к/о покриттів:						
МСКМ	96,2	1,15	93,1	1,05	88,5	1,00
МСКЦ	97,1	1,14	96,3	1,18	84,6	0,96
ПМГСМ	98,4	1,11	95,7	1,02	92,1	1,01
ПЕГСМ	98,7	1,12	97,1	1,05	92,6	1,02
Двошарові:						
ГЕГС/ПЕГС	99,4	1,11	97,2	1,03	94,4	1,02
ГЕГС/ПМГС	99,2	1,13	96,6	1,04	93,7	1,01
МСК/ПЕГС	95,6	1,10	94,5	1,05	84,7	0,94
МСКМ/ПЕГС	98,1	1,09	95,2	1,11	103,3	0,99
МСКЦ/ПЕГС	98,4	1,06	95,3	1,09	85,4	0,98

Обробка поверхні паперу кремнійорганічними сполуками різних складів дозволяє кардинально стабілізувати його міцність на розрив [20]. Так, після 60 діб експозиції, зміна останньої складає для переважаючої більшості систем покриттів від 3,8 (МСКМ) до 0,6 (ГЕГС/ПЕГС). Мінімальні значення порівняльного коефіцієнта ефективності захисної дії, який дозволяє оцінити зміни механічної міцності з врахуванням поведінки самої підкладки в процесі тестування та ступеня захисту кремнійорганічним покриттям, на рівні 1,03 відмічено при обробці метилсилікатом калію. Зумовлено це в першу чергу його низькою стабілізуючою спроможністю в частині міцності на розрив (89,3 % проти 78,4 % у паперу без обробки).

За абсолютним рівнем оцінюваних показників перевага в даному виді тестувань належить поліетилгідридсилоксану у поєднанні з гідролізатом етилсилікату (міцність на розрив становить 99,4 % від початкової).

У вологих середовищах з мікроскопічними грибами базові кремнійорганічні склади забезпечують стабільність механічної міцності на рівні 86,1(МСК)–93,2(ГЕГС) % від початкової. Ефективність захисної дії оцінюється коефіцієнтом 1,03(ПМС)–1,09(ПМГС).

Модифіковані кремнійорганічні сполуки забезпечують механічну міцність в межах 93,1(МСКМ)–97,1(ПЕГСМ) % від початкової при рівнях ПКЕЗД 1,02(ПМГСМ)–1,18(МКСЦ).

Двошарові покриття, які у попередньому варіанті тестувань більш ефективно забезпечують стабільність міцності паперу у вологому середовищі в присутності мікроскопічних грибів. Максимальний (97,7 % міцності від вихідної) і мінімальний (91,8 %) ефекти досягаються при застосуванні модифікованого метилсиліконату калію в поєднанні з поліетилгідридсилоксаном. Рівень коефіцієнта захисної дії при цьому складає від 1,03(ГЕГС/ПЕГС) до 1,11(МСКМ/ПЕГС).

Найкращий ефект в частині збереження міцності на розрив паперу серед досліджуваних складів за ПКЕЗД зафіксовано при застосуванні МСКМ/ПЕГС.

Міцність на розрив паперу після дії сольового туману у поєднанні з вологим середовищем займає проміжне положення серед описаних вище варіантів тестувань [21]. Руйнівне зусилля при цьому зменшується до рівня 64,2 % від вихідного.

Встановлено, що ефективність захисної дії кремнійорганічних покриттів в частині збереження міцності паперу визначається, в першу чергу, складом останніх. Незалежно від схем їх застосування найменше руйнівне зусилля на рівні 84,6–90,1 % від початкової зафіксовано при застосуванні покриттів на основі метилсиліконату калію та його похідних в різних комбінаціях. Виключення складає система МСКМ/ПЕГС (руйнівне зусилля 103,3 %).

Інші покриття в даному варіанті випробувань забезпечують рівень збереження міцності на розрив в межах 89,2(ПЕГС)–94,4(ГЕГС/ПЕГС) % від стартової і ПКЕЗД в інтервалі 1,01(ПМГСМ, ГЕГС/ПМГС)–1,15 (ПЕГС).

Порівняльний аналіз отриманих результатів в частині механічної міцності паперу у вологому середовищі в присутності сольового туману засвідчив перевагу йодифікованих та двошарових покриттів на основі поліалкілгідридсилоксанів (руйнівне зусилля залишається на рівні 92,1–94,4 %).

Ступінь достовірності отриманих результатів, а також оцінка потенційних можливостей основних видів силоксанів для захисту від дії вологи, була здійснена шляхом витримування останніх на поверхні пористого алюмосилікатного скла в гідротермальних умовах (тиск водяної пари до 0,8 МПа, тривалість експозиції до 8 годин) [21, 22]. Вибір такого субстрату зумовлений тим, що на відміну від пористого паперу, він дозволяє в дисперсному стані адсорбувати більшу кількість модифікаторів. Крім того, така підкладка може мати схожий механізм взаємодії з метилсиліконатом калію та поліетилгідридсилоксаном за участю гідроксильних груп її поверхні. Все це дозволяє об'єктивно оцінити стійкість саме силоксанів до деструктивної дії вологи, незважаючи на хімічний склад субстрату [23].

Отримані результати з використанням незалежних методів фізико-хімічного аналізу (визначення умовного тангенса кута діелектричних втрат та ІЧ спектральний аналіз) підтвердили незалежну перевагу використання поліалкілгідридсилоксанів для захисту паперу у вологих середовищах (рис. 2, 3).

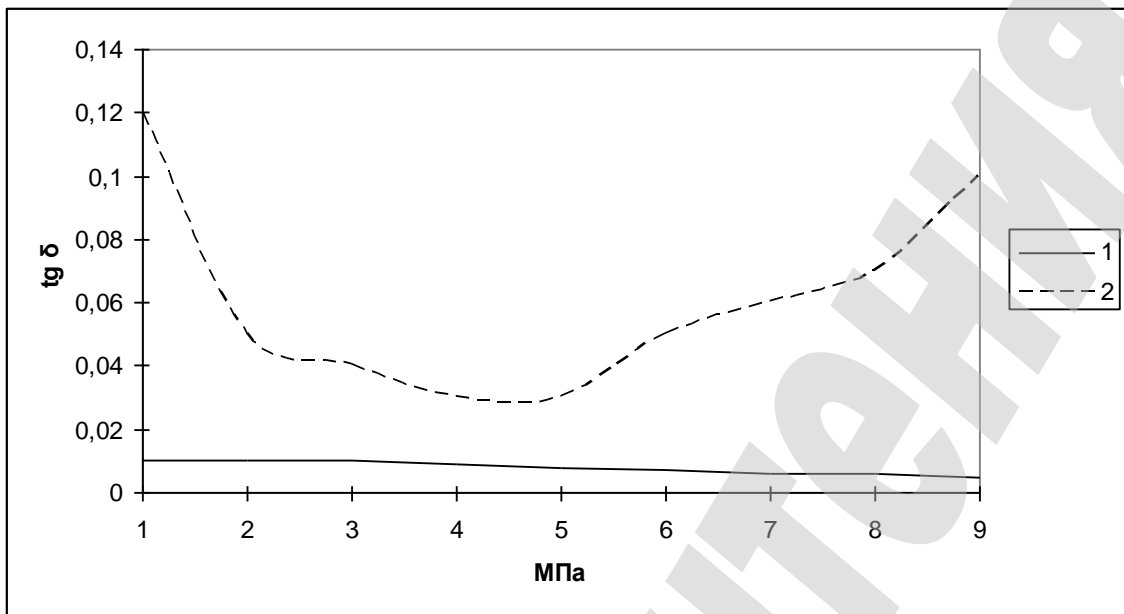


Рис. 2. Вплив гідротермальної обробки на діелектричні властивості пористого алюмосилікатного скла, просоченого силосанами

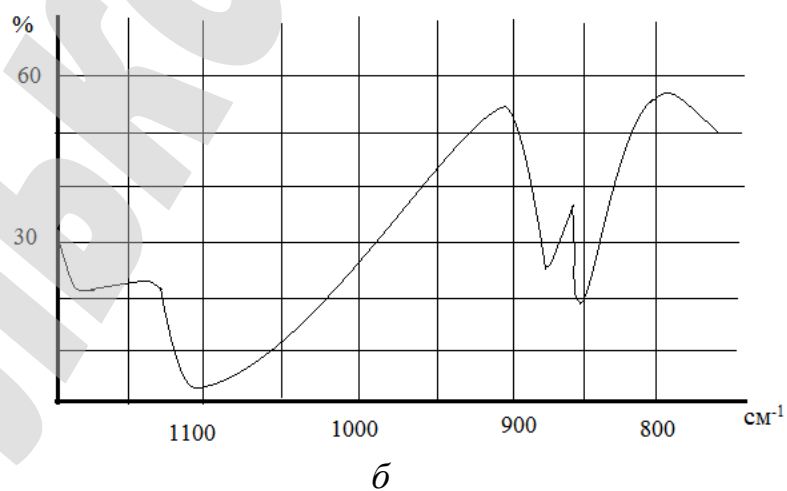
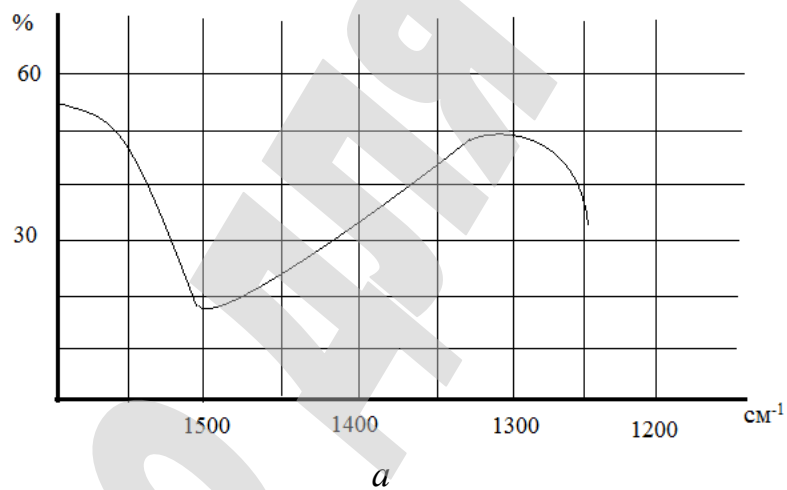


Рис. 3. ІЧ-спектри пористого алюмосилікатного скла, просоченого силосанами після гідротермальної обробки (тиск – 0,8 МПа, 8 годин): *а* – метилсиліконат калію; *б* – поліетилгідридсилосан

Так, за даними вимірювань діелектричних параметрів можна стверджувати, що захисна дія метилсиліконату калію ефективно працює лише до тиску водяної пари на рівні 0,6 МПа. Тоді як застосування поліетилгідридсилоксану можливе в більш широкому інтервалі: крім того, значення тангенса кута діелектричних втрат при його застосуванні майже на порядок нижчі в порівнянні з метилсиліконатом калію.

Вища хімічна стабільність поліетилгідридсилоксану в гідротермальних умовах підтверджена і даними ІЧ-спектрального аналізу.

З врахуванням особливостей інфрачервоних спектрів алюмосилікатної матриці для порівняння були вибрані характеристики смуги поглинання в інтервалі частот:

- 1460–1480 cm^{-1} (коливання груп -Si-R) для метилсиліконату калію;
- при 855 cm^{-1} (-Si-H) і 800–820 cm^{-1} (-Si-OH) у поліетилсиліконату калію.

Встановлено, що в першому випадку інтенсивність поглинання для характерних смуг дещо зменшується (до 5–7 %), що свідчить про зменшення метильних радикалів і добре узгоджується з даними, отриманими при визначенні tg δ .

Більш складна картина спостерігається для поліетилгідридсилоксану. Вона зумовлена протіканням процесів його взаємодії з поверхнею скла за участю зв'язків -Si-H та гідратації останнього з появою вільних гідроксильних груп під дією перегрітої водяної пари. Проте, незважаючи на складність описаних процесів енергетичний стан поверхні модифікованого скла практично не змінюється.

7. SWOT-аналіз результатів досліджень

Strengths. Серед сильних сторін даного дослідження необхідно відмітити, що серед ефективних напрямків захисту паперу у вологих середовищах заслуговує уваги використання тонкошарових покриттів на основі кремнійорганічних сполук різних класів. Успішне використання останніх потребує врахування особливостей пористої капілярної структури, малої товщини та анізотропії більшості фізико-технічних властивостей паперу.

Дослідження ефективності і потенціальних можливостей захисту паперу силоксанами у вологих середовищах дозволить розширити сфери використання цього матеріалу. До того ж обробка поверхні паперу складами на основі промислових кремнійорганічних продуктів, їх модифікацій та двошарових систем дозволяє забезпечити високий рівень його гідрофобності.

Обробка поверхні паперу кремнійорганічними сполуками різних складів дозволяє кардинально стабілізувати його міцність на розрив.

Weaknesses. Слабкою стороною даних досліджень є те, що проведені дослідження є недостатніми для повної та всебічної оцінки кремнійорганічних тонкошарових покриттів для визначення всіх властивостей останніх. Присутність шару адсорбованої води на поверхні кремнійорганічних тонкошарових покриттів може негативно впливати на фізико-технічні властивості. Ступінь такого впливу визначається енергетичним станом поверхні субстрату та змочуваністю її водою в рідкокристалічному стані і адсорбцією водяної пари.

Ще одним недоліком даного дослідження є те, що вищенаведені дослідження проводяться протягом тривалого періоду експлуатації в режимі реального часу. В результаті цього можуть виникнути похибки, зумовлені суб'єктивністю досліджень. Тому для запобігання цього недоліку, необхідно приділяти особливу увагу чистоті наукового експерименту на

всіх його етапах. Для запобігання недолікам та неточностям в ході досліджень необхідно дотримуватися методики досліджень та чистоти експерименту.

Opportunities. На перспективу доцільним є проведення інших досліджень, пов'язаних з визначенням фізико-хімічних, фізико-технічних та фізико-механічних властивостей кремнійорганічних тонкошарових покриттів. Дослідження цих властивостей кремнійорганічних тонкошарових покриттів дозволить більш глибоко визначити доцільність використання різних складів останніх для захисту паперу у вологих середовищах. Дослідження у цьому напрямку можуть розширити сфери застосування кремнійорганічних тонкошарових покриттів, а також отримати максимальний економічний ефект при мінімальних фінансових інвестиціях.

Threats. Складнощі у впровадженні отриманих результатів можуть бути пов'язані з тим, що даний матеріал не такий відомий як, наприклад, полімерні покриття. Властивості останніх досить широко досліджувались різними науковцями. Однак, незважаючи на це, отримані результати дослідження ефективності і потенціальних можливостей захисту паперу силосанами у вологих середовищах дають досить широкі можливості та перспективи використання останніх в будівельній промисловості.

Таким чином, SWOT-аналіз результатів дослідження дозволяє визначити основні напрямки щодо досягнення мети досліджень, а саме:

- провести комплексні дослідження з визначення ефективності і потенціальних можливостей захисту паперу силосанами у вологих середовищах;
- розробити методику щодо додаткових досліджень властивостей кремнійорганічних тонкошарових покриттів;
- дослідити індивідуальні характеристики модифікованих кремнійорганічних тонкошарових покриттів з метою подальшої рекомендації їх використання у будівельній промисловості.

8. Висновки

1. Досліджено гідрофобні властивості та грибостійкість поверхні обробленого паперу і виявлено перевагу модифікованих та двошарових силосанових покриттів, параметри яких рівняються:

- крайовий кут змочування поверхні водою ($\theta=101-104^\circ$);
- грибостійкість (1–2 бали).

2. Проведено дослідження міцності на розрив обробленого паперу та зафіксовано її рівень 84,6–103,3 % проти 39,7–78,4 % у незахищеного паперу при стабільних значеннях діелектричних параметрів.

3. На основі проведеної ІЧ-спектрометрії пористого алюмосилікатного скла, просоченого силосаном, як стабільного, в гідротермальних умовах, субстрату, показана перспективність застосування останніх для захисту. Це пояснюється тим, що зменшення інтенсивності характеристичних смуг не перевищує 5–7 %.

Література

1. Pulp and Paper Online. URL: <https://www.pulpandpaperonline.com/> (Last accessed: 11.12.2017).
2. Yan L.-Y., Li S.-Y., Song X.-L. Preparation of Paper Strengthening Agent by Esterification of Cellulosic Fines // BioResources. 2016. Vol. 12, No. 1. P. 469–477. doi:[10.15376/biores.12.1.469-477](https://doi.org/10.15376/biores.12.1.469-477)

3. Ashori A., Nourbakhsh A. A comparative study on mechanical properties and water absorption behavior of fiber-reinforced polypropylene composites prepared by OCC fiber and aspen fiber // *Polymer Composites*. 2008. Vol. 29, No. 5. P. 574–578. doi:[10.1002/pc.20582](https://doi.org/10.1002/pc.20582)
4. Landel R. F., Nielsen L. E. *Mechanical Properties of Polymers and Composites*. CRC Press, 1993. 580 p.
5. Modification of properties of old newspaper pulp with biological method / Chen Y. et al. // *Bio-resource Technology*. 2010. Vol. 101, No. 18. P. 7041–7045. doi:[10.1016/j.biortech.2010.04.015](https://doi.org/10.1016/j.biortech.2010.04.015)
6. Dienes D., Egyhazi A., Reczey K. Treatment of recycled fiber with *Trichoderma* cellulases // *Industrial Crops and Products*. 2004. Vol. 20, No. 1. P. 11–21. doi:[10.1016/j.indcrop.2003.12.009](https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2003.12.009)
7. Marton J., Roberts J. *Dry-strength additives* // *Paper Chemistry*. New York: Springer, 1996. P. 83–97. doi:[10.1007/978-94-011-0605-4_6](https://doi.org/10.1007/978-94-011-0605-4_6)
8. Wang J., Zhang J. Application status and research developments of paper dry strength // *Thermosetting Resin*. North Carolina, 2014. P. 53–58.
9. Yang D., Li H., Li X. Study on the cationic emulsifying dry strength agents of paper. Vol. 1. Shandong: Shandong Chemical Industry, 2004. P. 3–5.
10. Astratov M. S., Homelia M. D., Movchaniuk O. M. *Tekhnolohiia pererobky papery i kartonu*. Part 1. Kyiv: NTUU «KPI», 2007. 231 p.
11. Koptiukh L. A. *Novi tekhnolohii i protsesy stvorennia pakuvalnoho papery ta filtruvalnoho kartonu dlia kharchovoi promyslovosti*: Abstract's Thesis of the Doctor of Sciences. Kyiv, 1998. 33 p.
12. Karyakina M. I. *Ispytanie lakokrasochnykh materialov i pokrytiy*. Moscow: Khimiya, 1988. 272 p.
13. Prymakov S. P., Barbash V. N. *Tekhnolohiia papery i kartonu*. Kyiv: EKMO, 2002. 396 p.
14. *Lakokrasochnye materialy i pokrytiya. Teoriya i praktika* / ed. by Lamburn R. Saint Petersburg: Khimiya, 1991. 512 p.
15. Davis J. R. *Surface Engineering for Corrosion and Wear Resistance*. ASM International, 2001. 257 p.
16. Parfitt G. D., Sing K. S. W. *Characterization of Powder Surfaces*. London: Academic Press, 1976. 348 p.
17. *Applied Infrared Spectroscopy: Fundamentals Techniques and Analytical Problem-Solving* / ed. by Smith A. L., Elving P. J., Winefordner J. D., Kolthoff I. M. John Wiley & Sons, Inc., 1979. 336 p.
18. Brok T., Groteklaus M., Mishke P. *Evropeyskoe rukovodstvo po lakokrasochnym materialam i pokrytiyam* / ed. by Tsorll U. Moscow: Peynt-Media, 2004. 548 p.
19. Mostyka K. V. *Formuvannia vlastyvostei vodonepronyknykh paperovykh pakuvalnykh materialiv dlia kondyterskykh vyrobiv*: Abstract's PhD thesis. Kyiv, 2012. 21 p.
20. Sviderskyi V. A., Salnyk V. H., Cherniak L. P. *Fyzyko-khimichni vlastyvosti poverkhni kaoliniv i kaoliniievmyshnykh hlyn ta yikh vydnykh dyspersii*. Kyiv: Znannia, 2012. 166 p.
21. Karyakina M. I. *Ispytanie lakokrasochnykh materialov i pokrytiy*. Moscow: Khimiya, 1988. 272 p.
22. Pashhenko A. A., Sviderskiy V. A. *Kremniyorganicheskie pokrytiya dlya zashhity ot biokorozii*. Kyiv: Tekhnika, 1988. 136 p.
23. Sviderskyi V. A., Cherniak L. P., Salnyk V. H. *Instrumentalni metody khimichnoho analizu sylikatnykh system*. Kyiv: Kyiv: National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», 2017. 171 p.