

УДК 546.287:676.626.723

Н. В. МЕРЕЖКО, К. В. ОСАУЛЕНКО

Київський національний торговельно-економічний університет

**КРЕМНІЙОРГАНІЧНІ ПОКРИТТЯ ДЛЯ ЗАХИСТУ ПАПЕРУ,
ОТРИМАНІ З ЕЛЕМЕНТАМИ ЗОЛЬ-ГЕЛЬ ТЕХНОЛОГІЇ**

Н. В. Мережко, К. В. Осауленко

Киевский национальный торгово-экономический университет

**КРЕМНИЙОРГАНИЧЕСКИЕ ПОКРЫТИЯ ДЛЯ ЗАЩИТЫ
БУМАГИ, ПОЛУЧЕНЫ С ЭЛЕМЕНТАМИ ЗОЛЬ-ГЕЛЬ ТЕХНОЛОГИИ**

N. MEREZHKO, K. OSAULENKO

Kyiv National University of Trade and Economics

**SIGNALING STRUCTURES FOR PROTECTION OF THE PAPER,
RECEIVED WITH ELEMENTS OF ZELE-GEL TECHNOLOGY**

<https://doi.org/10.36910/6775-2310-5283-2019-12-19>

Мета. Розробка двошарових кремнійорганічних покриттів для захисту паперу з використанням золь-гель технології та оцінка ефективності їх застосування при експлуатації в умовах підвищеної вологості.

Методика. Дослідження проведені з використанням стандартних загальноприйнятих методик та методу кількісної ІЧ-спектроскопії.

Результати. Розроблено захисні двошарові покриття для паперу з небіленої целюлози із використанням елементів золь-гель технології на основі силосанів, що містять групи $\rightarrow\text{Si} - \text{OK}$ та $\rightarrow\text{Si} - \text{OEt}$ у функціональному підшарі та поліетилгідридсилосан – в поверхневому. Дана кількісна оцінка застосування таких покриттів для захисту паперу у вологих умовах. Визначено найбільш ефективні захисні кремнійорганічні покриття та оцінено їх ефективність при експлуатації.

Наукова новизна. Вперше обґрунтовано доцільність застосування технології з використанням золь-гель елементів на стадіях гідролізу та конденсації, що дозволяє ефективно використовувати силосани з групами $\rightarrow\text{Si} - \text{OK}$ та $\rightarrow\text{Si} - \text{OC}_2\text{H}_5$ в якості базових для формування функціональних підшарів на поверхні целюлозовмісних матеріалів.

Практична значимість. Досліджено особливості формування системи силосанових покриттів для захисту паперу з небіленої целюлози із елементами золь-гель технології. Показана ефективність застосування двошарової системи, що включає можливість зв'язування гідроксильних груп поверхні паперу та додаткового формування гідрофобного захисного шару шляхом застосування силосанів з різними реакційноздатними групами біля атома кремнію ($\rightarrow\text{Si} - \text{OK}$, $\rightarrow\text{Si} - \text{OEt}$, $\rightarrow\text{Si} - \text{OH}$, $\rightarrow\text{Si} - \text{H}$). Обґрунтовано доцільність застосування технологій з використанням золь-гель елементів на стадіях гідролізу та конденсації. Запропоновано схему формування захисних двошарових покриттів для паперу з небіленої целюлози, досліджено її механізм, дана кількісна оцінка та визначено найбільш ефективні системи захисних кремнійорганічних покриттів.

Ключові слова: папір, целюлоза, силосани, гідрофобність, гідроксильні групи.

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями. Відомо, що погіршення якості матеріалів на основі паперу відбувається переважно внаслідок деструкції їх основного волокнистого інгредієнта – целюлози [1]. Матрицю останньої можливо розділити на кристалічні домени, які являються високостійкими впорядкованими областями та аморфні, що можуть легко руйнуватися під дією хімічних речовин (кислоти, луги, окиснювачі, забруднене повітря), фізичних (волога, світло, вібрація, електромагнітне випромінювання, коливання температури) або біологічних впливів (бактерії, пліснява, гриби).

Існуючі методи захисту паперу передбачають зменшення впливу деструктивних факторів навколишнього середовища (коливання відносної вологості, дії світла, забруднюючих речовин і температури), а також використання захисних складів, виготовлених на основі епоксидних полімерів, поліамінів, полівінілового спирту, парафіну, силіконів [2]. Спеціальні властивості паперу досягаються шляхом інкапсулювання молекул з низькою молекулярною масою в структурі покриттів (солі четвертинного амонію), наночастинок (зазвичай такі метали – срібло, мідь, цинк) або обробкою неорганічними сполуками на базі алюмовмісних карбоксилатів та кремнію [3].

Враховуючи весь спектр вимог щодо захисту паперу як пакувального матеріалу та інгредієнта шаруватих конструкційних композитів (широкий спектр захисної дії від атмосферних і експлуатаційних факторів при стабільному рівні механічних властивостей, екологічна чистота, вогнестійкість, інертність по відношенню до субстрата, економічна доцільність), значний інтерес представляє використання органічних сполук кремнію з реакційноздатними групами, в тому числі синтезованих з використанням золь-гель методів [4].

Аналіз останніх досліджень, у яких започатковано вирішення проблеми. Застосування органічних сполук кремнію з реакційноздатними групами, в тому числі синтезованих з використанням золь-гель методів, в складі захисних покриттів на целюлозних матеріалах дозволяє проводити формування останніх з розчинів при невисоких температурах та забезпечувати необхідний рівень функціональних властивостей за рахунок підбору відповідних інгредієнтів. Наявність в структурі целюлози значної кількості гідроксильних груп потенційно дозволяє реалізувати процес їх конденсації з силанолами силоксанів та забезпечити міцний зв'язок на поверхні паперу.

Використання такого типу кремнійорганічних сполук дозволяє, з одного боку, регульовано екранувати поверхню органічного субстрату, а з іншого, – сформувати необхідні склад і структуру захисного покриття, тобто реалізувати його двошарову схему. Поєднання в його схемі компонентів з різним функціональним призначенням дозволить забезпечити ефективний і надійних захист паперу в процесі використання.

Незважаючи на значну кількість досліджень з питань захисту поверхні паперу, застосування двошарових кремнійорганічних систем розглянуто дуже обмежено [5].

Цілі статті. Мета даної роботи полягає в оцінці ефективності застосування силоксанів з різними функціональними групами біля атома кремнію, зокрема ($\rightarrow\text{Si} - \text{OMe}$, $\rightarrow\text{Si} - \text{OH}$) в якості адгезійного підшару та двошарових водовідштовхувальних покриттів на їх основі.

Об'єкт дослідження. Захисні двошарові кремнійорганічні покриття для паперу з небіленої целюлози із використанням елементів золь-гель технології.

Методи дослідження. Для проведення досліджень використано стандартні загальноприйняті методи дослідження, а також метод кількісної ІЧ-спектроскопії.

Виклад основного матеріалу дослідження з повним обґрунтуванням отриманих наукових результатів. Реалізація поставленої мети здійснювалась з використанням паперу на основі небіленої сульфатної целюлози (100 мас. %) товщиною 70,3 мкм. Кремнійорганічні покриття формувались з використанням водних (3 – 5 мас. %) метилсиліконату калію (група $\rightarrow\text{Si} - \text{OMe}$) та водно-ацетонових розчинів (5 – 10 мас %) гідролізату етилсилікату (каталізатор HCl , співвідношення $\text{OEt} / \text{H}_2\text{O} = 1,0$) [6] а також їх комбінацій.

Процеси формування структури силоксанових покриттів контролювались із застосуванням методів кількісної ІЧ-спектроскопії [7]. Водовідштовхувальні властивості обробленого паперу (крайовий кут змочування поверхні водою (Θ , град), водо- і вологопоглинання), параметри його структури (пористість, густина) і механічна міцність на розрив оцінювались із застосуванням спеціальних методик [8].

Встановлено, що ІЧ-спектри вихідного паперу містять ряд смуг поглинання різної інтенсивності в діапазоні частот від 620 до 3362 cm^{-1} . Останні можливо класифікувати за показником I_0/I (відношення інтенсивностей характеристики смуг до базової) на три групи. Перша включає смуги при 1052 cm^{-1} (коливання зв'язків $\text{C} - \text{C}$, $\text{C} - \text{OH}$ та $\text{C} - \text{H}$ в складі

целюлози) мають відношення на рівні 6,92 (табл. 1) та при 3362 см^{-1} ($I_o/I = 2,89$). Друга – смуги з відношенням I_o/I від 1,06 до 1,42 (смуги біля 620, 1305, 1435 та 1370 см^{-1}) відповідальні за коливання зв'язків Н – С – Н, О – СН, С – Н. Смуги поглинання третьої групи найменш інтенсивні ($I_o/I = 0,40 - 0,68$). До них відносяться смуги: 2900 см^{-1} (валентні коливання С – Н), 1644 см^{-1} (диференційні коливання гідроксильних груп) та 881 см^{-1} . Енергетична однорідність основних складових паперу (за півшириною ($\Delta\nu^{1/2}$) характеристичних смуг поглинання) оцінена стосовно груп ОН (3362 см^{-1}), С – Н (2900 см^{-1}) та в діапазоні 881 – 1435 см^{-1} .

Найбільш широкий спектр (до 611,8 см^{-1}) зафіксовано для першої та останньої. Групи С – Н більш однорідні в частині енергетичного стану ($\Delta\nu^{1/2} = 706,4 \text{ см}^{-1}$). Описані відмінності структур характеристичних смуг поглинання на ІЧ-спектрах целюлозовмісних матеріалів були враховані при дослідженні процесів взаємодії паперу з кремнійорганічними сполуками, які містять реакційноздатні групи $\rightarrow\text{Si} - \text{OMe}$ та $\rightarrow\text{Si} - \text{OH}$ біля атома кремнію. Аналіз впливу останніх здійснювався за такими показниками як зміщення положення максимуму поглинання характеристичної смуги і різницями відношення I_o/I та $\Delta\nu^{1/2}$ порівнянні з вихідним папером (табл. 1).

Порівняння здійснювалось з використанням трьох основних характеристичних смуг поглинання (3362, 2900 та 1644 см^{-1}). Їх вибір зумовлений можливістю отримання найбільшої інформативності в порівнянні з іншими смугами. Крім того, за своїм хімічним складом сполуки і функціональні групи (H_2O , ОН, СН), які мають характеристичні валентні та деформаційні коливання у відмічених діапазонах хвильових чисел, серед всіх інших складових целюлози можуть мати визначальний вплив при формуванні гідрофобно-гідрофільного балансу поверхні матеріалів на її основі.

Встановлено, що обробка паперу кремнійорганічними сполуками призводить до найбільш суттєвих зміщень положення максимуму смуги біля 3362 см^{-1} . Останнє складає в бік зростання від 39 ($\rightarrow\text{Si} - \text{OMe}$) до 10 см^{-1} ($\rightarrow\text{Si} - \text{OH}$), що слугує свідченням зменшення міцності ОН-груп з кісткою макромолекули целюлози. Кількість таких груп при застосуванні $\rightarrow\text{Si} - \text{OMe}$ вмісного препарату ($\Delta I_o/I = 1,36$) та його суміші з $\rightarrow\text{Si} - \text{OH}$ вмісним ($\Delta I_o/I = 0,21$). Разом із зменшенням кількості гідроксильних груп відмічено і зниження їх однорідності в енергетичному відношенні (за кількісними даними ширини характеристичної смуги на половині її висоти). Вказані показники складають від 119,7 ($\rightarrow\text{Si} - \text{OMe}$) до 39,9 см^{-1} ($\rightarrow\text{Si} - \text{OH}$).

Таблиця 1
Характеристики смуг поглинання в ІЧ – області паперу, обробленого кремнійорганічними сполуками з різними реакційноздатними групами біля атома кремнію

Без обробки			> Si - OMe			> Si - OH			> Si - Me/> Si - OH		
Положення максимуму, cm^{-1}	I _o /I	$\Delta\nu^{1/2}$, cm^{-1}	Положення максимуму, cm^{-1}	I _o /I	$\Delta\nu^{1/2}$, cm^{-1}	Положення максимуму, cm^{-1}	I _o /I	$\Delta\nu^{1/2}$, cm^{-1}	Положення максимуму, cm^{-1}	I _o /I	$\Delta\nu^{1/2}$, cm^{-1}
3362	2,89	611,8	3401	1,53	492,1	3372	3,25	571,9	3380	2,68	611,8
2900	0,68	106,4	2908	0,33	–	2900	0,54	73,2	2889	0,44	93,1
1644	0,56	–	1660	0,51	–	1646	0,55	–	1667	0,67	33,2
1435	1,36	–	1440	0,89	172,9	1437	0,92	545,3	1428	1,15	585,2
1370	1,42	611,8	1380	0,98	172,9	1384	1,24	545,3	1367	1,17	585,2
1305	1,28	611,8	1060	2,62	252,7	1028	4,44	545,3	1054	3,94	585,2
1052	6,92	611,8	900	0,19	–	900	0,30	20,0	900	0,18	15,0
881	0,40	611,8	586	0,60	226,1	623	0,98	319,2	616	0,64	–
620	1,06	611,8									

Характеристики смуг поглинання при 1644 см^{-1} в процесі обробки кремнійорганічними сполуками змінюються менш відчутно. Зміщення в бік більших частот складає в межах $23\text{ (}\rightarrow\text{Si - OMe/}\rightarrow\text{Si - OH)}$ до 2 см^{-1} ($\rightarrow\text{Si - OH}$). Різниця $\Delta I_0/I$ при цьому зростає на 0,11 в першому випадку та зменшується на 0,01 ($\rightarrow\text{Si - OH}$) – 0,05 ($\rightarrow\text{Si - OMe}$). Півширина вказаної смуги найбільш відчутно зростає при застосуванні суміші препаратів (на $33,2\text{ см}^{-1}$).

Ще менш відчутно змінюються параметри смуг поглинання при 2900 см^{-1} . Зміщення положення їх максимуму складає від 11 см^{-1} в низькохвильову частину спектру ($\rightarrow\text{Si - OMe}\rightarrow\text{Si - OH}$) до 8 см^{-1} ($\rightarrow\text{Si - OMe}$) у високохвильову. Застосування окремо $\rightarrow\text{Si - OH}$ вмісного продукту зміщенням не супроводжується. Концентрація СН-груп при цьому однозначно знижується. Різниця відношень I_0/I зменшується на 0,35 ($\rightarrow\text{Si - OH}$) до 0,14 ($\rightarrow\text{Si - OMe}\rightarrow\text{Si - OH}$). Спадає і енергетична однорідність вказаних груп. Півширина відміченої смуги зменшується від $33,2\text{ (}\rightarrow\text{Si - OH)}$ до $13,3\text{ см}^{-1}$ ($\rightarrow\text{Si - OMe}\rightarrow\text{Si - OH}$).

Слід відзначити, що ступінь трансформації параметрів характеристичних смуг поглинання в ІЧ-області знижується в ряду: $3362\text{ см}^{-1} > 1644\text{ см}^{-1} > 2900\text{ см}^{-1}$. Тільки в останньому випадку, при обробці сумішню кремнійорганічних препаратів, зафіксовано зростання міцності зв'язку вуглеводневих радикалів з макромолекулами целюлози.

Наявність такої диференціації в рівнях взаємодії функціональних груп паперу з кремнійорганічними сполуками, їх енергетичного стану та реакційної здатності, супроводжується відчутною перебудовою в структурі останнього і, як наслідок, зміни фізико-хімічних властивостей (табл. 2).

Таблиця 2

Властивості паперу, обробленого кремнійорганічними сполуками з різними реакційноздатними групами біля атома кремнію

Тип групи	Пористість, %	Густина, г/см ³		Поглинання, мас. %		Крайовий кут змочування поверхні водою, град
		геометрична	істинна	води	водяної пари при вологості 96%)	
–	55,0	0,64	1,42	58,7	17,7	27
$\rightarrow\text{Si - OMe}$	47,8	0,70	1,35	37,2	30,3	41
$\rightarrow\text{Si - OH}$	58,9	0,61	1,48	57,4	18,2	30
$\rightarrow\text{Si - OMe/}\rightarrow\text{Si - OH}$	51,8	0,66	1,37	48,6	30,2	29

Встановлено, що поглинання води в рідкому стані може зменшуватись до 21,5 мас. % при застосуванні силосанів з функціональними групами $\rightarrow\text{Si} - \text{OMe}$. В цьому випадку відмічено і максимальне зростання крайових кутів змочування поверхні паперу. Їх збільшення складає до 14 градусів.

В той же час, введення реакційноздатних груп до складу силосанів на поверхню паперу сприяє підвищенню його гігроскопічності. Вологопоглинання може збільшуватись на 12,5 ($\rightarrow\text{Si} - \text{OMe}$) – 0,5 мас. % ($\rightarrow\text{Si} - \text{OH}$). Вирішальну роль при цьому відіграє склад кремнійорганічних модифікаторів.

В даному випадку збільшення поглинання вологи може бути зумовлено підвищенням адсорбційної здатності модифікованого паперу внаслідок утворення гідроксидів металів після гідролізу $\rightarrow\text{Si} - \text{OMe}$ вмісних силосанів.

Таким чином, результати досліджень, отримані з використанням незалежних методів фізико-хімічного аналізу, дозволяють стверджувати наступне:

- обґрунтовано доцільність застосування технологій з використанням золь-гель елементів на стадіях гідролізу та конденсації, що дозволяє ефективно використовувати силосани з групами $\rightarrow\text{Si} - \text{OK}$ та $\rightarrow\text{Si} - \text{OC}_2\text{H}_5$ в якості базових для формування функціональних підшарів на поверхні целюлозовмісних субстратів;

- показана можливість хімічної взаємодії гідроксильних груп кремнійорганічних сполук і паперу за схемою конденсації: $\rightarrow\text{Si} - \text{OH} + \text{OH} - \text{целюлоза} \rightarrow \rightarrow\text{Si} - \text{O} - \text{целюлоза} + \text{H}_2\text{O}$;

- встановлено, що використання силосанів такого типу несуттєво впливає на фізико-хімічні властивості паперу (пористість, густина) та підвищує його водовідштовхувальні властивості на фоні нереалізованої повністю реакційної здатності останніх.

Тому, з метою підвищення ефективності захисту паперу, зокрема у вологостійких умовах, запропоновано здійснювати нанесення додаткового шару поліетилгідридсилосану на відміну від метилпохідних алкоксисиланів [9,10].

Висока ефективність застосування таких двошарових покриттів підтверджена результатами випробувань паперу як у вологому середовищі (60 діб), так і в більш жарких умовах з присутністю мікроскопічних грибів (30 діб) (табл. 3).

Значення крайових кутів змочування після тестувань зафіксовано на рівні 101 – 103 градуси в першому варіанті і 86 – 87 градусів у другому, при показниках ступеню екранування відповідно 94,1 – 96,8% та 73,5 – 74,9 %.

Таблиця 3

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			
	Збільшення маси, %	Руйнівне зусилля, % на розрив до вихідного	Крайовий кут змочування, градус/ступінь екранування, %	Грибо-стійкість, бал	Зменшення маси, %	Руйнівне зусилля, % на розрив до вихідного	Крайовий кут змочування, градус/ступінь екранування, %
Без покриття	11,9	78,4	71/–	4	4,4	39,7	45/–
Гідролізат етил силікату/ поліетилгідрид- силоксан	7,5	99,4	103/96,8	2	2,1	97,2	82/74,9
Метилсиліконат калію/поліетилгі дридсилоксан	7,6	95,6	101/94,1	1	1,8	94,5	86/73,5

Руйнівне зусилля на розрив зменшується лише на 0,6 – 5,5 % проти 21,6 – 60,3 % у паперу без покриття. Зміна маси відбувається неоднозначно, але при використанні захисних покриттів вона менш відчутна. За рахунок гідрофобності обробленого паперу зростає і його грибостійкість.

За абсолютним рівнем оцінюваних параметрів слід відмітити незначну перевагу захисної схеми покриттів гідролізатетилсилікату/поліетилгідридсилоксан.

Висновки та перспективи подальших досліджень. Запропоновано схему формування захисних двошарових покриттів для паперу з небіленої целюлози із використанням елементів золь-гель технології на основі силоксанів, що містять групи $\rightarrow\text{Si} - \text{OK}$ та $\rightarrow\text{Si} - \text{OEt}$ у функціональному підшарі та поліетилгідридсилоксан – в поверхневому. Досліджено механізм формування, вплив на фізико-технічні властивості паперу та його реакційну ефективність по відношенню до води в різних агрегатних станах. Дана кількісна оцінка застосування (за зміною маси, крайового кута змочування поверхні водою, ступеня екранування та механічної міцності на розрив) таких покриттів для захисту паперу у вологих умовах. Визначено найбільш ефективні схеми захисних кремнійорганічних покриттів і показана

ефективність застосування при експлуатації в умовах підвищеної вологості та присутності мікроскопічних грибів.

Список використаних джерел:

1. Примаков С. П. Технологія паперу і картону/ С. П. Примаков, В. А. Барбаш. – К.: ЕКМО, 2008. – 425 с.
2. Xu F., Tejirian A. Detrimental effects of cellulose oxidation on cellulose hydrolysis by cellulose / Enzyme microd. Technol/ - 2009, №45, - p. 203 – 209.
3. Брок Т. Европейское руководство по лакокрасочным материалам и покрытиям / Т. Брок, М. Гротекляус, П. Миньке. – М.: Пэйнт Медия, 2004. – 548 с.
4. Cappelletto E., Callone E., Campostrini R. Hydrophobic siloxane paper coatings: the effect of increasing methyl substitution. J. Sol-Gel Sci. Technol. – 2012, №62, - P. 441 – 452.
5. Дані щодо стану світового ринку целюлози [Електронний ресурс] – Режим доступу: www.pulpandpaperline.com.
6. Осауленко К. В. Кремнійорганічні покриття для захисту паперу. Міжнар. наук.-практ. журн. "Товари і ринки". 2016. № 2 (22). С. 66–72.
7. Астратов М. С. Технологія переробки паперу і картону. Частина I / М. С. Астратов, М. Д. Гомеля, О. М. Мовченко. – К.: НТУУ «КПІ», 2007 – 231 с.
8. Свідерський В. А. Інструментальні методи хімічного аналізу силікатних систем / В. Свідерський, Л. Черняк, В. Сольник. – К.: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2017. – 172 с.
9. Актуальні проблеми теорії і практики експертизи товарів: матеріали IV міжнародної науково-практичної інтернет-конференції (Полтава, 20 – 22 березня 2017 року) / Полтавський університет економіки і торгівлі. – Полтава, 2017. – 117-119 с.
10. Пашенко А. А. Кремнийорганические покрытия для защиты от коррозии / А. А. Пашенко, В. А. Свидерский. – Киев: «Техніка», 1988. – 136 с.

Цель. Разработка двухслойных кремнийорганических покрытий для защиты бумаги с использованием золь-гель технологии и оценка эффективности их применения при эксплуатации в условиях повышенной влажности.

Методика. Исследования проведены с использованием стандартных общепринятых методик и метода количественной ИК-спектроскопии.

Результаты. Разработаны защитные двухслойные покрытия для бумаги с небеленой целлюлозы с использованием элементов золь-гель технологии на основе силоксанов, содержащих группы $\rightarrow \text{Si} - \text{OK}$ и $\rightarrow \text{Si} - \text{OEt}$ в функциональном подслое и полиетилгидридсилоксан - в поверхностном. Дана количественная оценка применения таких покрытий для защиты бумаги во влажных условиях. Определены наиболее эффективные защитные кремнийорганические покрытия и оценена их эффективность при эксплуатации.

Научная новизна. Впервые обоснована целесообразность применения технологии с использованием золь-гель элементов на стадиях гидролиза и конденсации, что позволяет эффективно использовать силоксаны с группами $\rightarrow \text{Si} - \text{OK}$ и $\rightarrow \text{Si} - \text{OC}_2\text{H}_5$ в качестве базовых для формирования функциональных подслоев на поверхности целлюлозосодержащих материалов.

Практическая значимость. Исследованы особенности формирования системы

силоксановых покрытий для защиты бумаги с небеленой целлюлозы с элементами золь-гель технологии. Показана эффективность применения двухслойной системы, включающей возможность связывания гидроксильных групп поверхности бумаги и дополнительного формирования гидрофобного защитного слоя путем применения силоксанов с различными реакционными группами у атома кремния ($\rightarrow \text{Si} - \text{OK}$, $\rightarrow \text{Si} - \text{OEt}$, $\rightarrow \text{Si} - \text{OH}$, $\rightarrow \text{Si} - \text{H}$). Обоснована целесообразность применения технологий с использованием золь-гель элементов на стадиях гидролиза и конденсации. Предложена схема формирования защитных двухслойных покрытий для бумаги с небеленой целлюлозы, исследован ее механизм, данная количественная оценка и определены наиболее эффективные системы защитных кремнийорганических покрытий.

Ключевые слова: бумага, целлюлоза, силоксаны, гидрофобность, гидроксильные группы.

Purpose. Development of two-layer silicon-organic coatings for paper protection using sol-gel technology and evaluation of their application efficiency in conditions of high humidity.

Methodology. The researches were carried out using standard common methods and quantitative IR spectroscopy.

Findings. Protective two-layer coatings for paper made from unbleached cellulose with the use of sol-gel elements based on siloxane-based materials containing $\rightarrow \text{Si-OK}$ and $\rightarrow \text{Si-OEt}$ in the functional sublayer and polyethylhydrosiloxane-in the surface are developed. This is a quantitative assessment of the application of such coatings to protect paper in wet conditions. The most effective protective silicon organic coatings are determined and their efficiency during operation is estimated.

Originality. For the first time, the feasibility of using the technology using sol-gel elements at the stages of hydrolysis and condensation has been substantiated, which allows the effective use of siloxanes with Si-OK and $\rightarrow \text{Si-OC}_2\text{H}_5$ groups as the base for the formation of functional sublayers on the surface of cellulosic materials.

The practical value. Silicone coatings to protect the paper, obtained with elements of sol-gel technology. The features of the formation of a system of siloxane coatings to protect paper from unbleached pulp with elements of sol-gel technology are investigated. The feasibility and efficiency of using a two-ball scheme, which includes the possibility of binding hydroxyl groups of the paper surface and the additional formation of a hydrophobic protective ball by using siloxanes with different reactive groups near the silicon atom ($\rightarrow \text{Si-OK}$, $\rightarrow \text{Si-OEt}$, $\rightarrow \text{Si-OH}$, $\rightarrow \text{Si} - \text{H}$). In addition, the feasibility of applying technologies using sol-gel elements in the stages of hydrolysis and condensation has been substantiated. The scheme of formation of protective two-layer coatings for paper made of unbleached cellulose was proposed, the mechanism of its formation was investigated, a quantitative assessment was made and the most effective schemes of protective silicon-organic coatings were determined.

Keywords: paper, cellulose, siloxanes, hydrophobicity, hydroxyl groups.

*Рекомендовано до публікації
доктором технічних наук, професором КНТЕУ Осикою В.А.
Дата надходження в редакцію 11.02.2019 р.*