

**ДОСЛІДЖЕННЯ ПОВЕРХНЕВИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ТКАНИНИ
ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ НАМЕТІВ**^{1, 2}**Цапко Ю.В.**, д.т.н., професор,

juriyts@ukr.net, ORCID: 0000-0003-0625-0783

¹**Бондаренко О.П.**, к.т.н., доцент,

bondolya3@gmail.com, ORCID: 0000-0002-8164-6473

¹**Цапко О.Ю.**, к.т.н., с.н.с.,

alekseysapko@gmail.com, ORCID: 0000-0003-2298-068X

³**Сарапін Ю.О.**, фахівець,

sia1@i.ua, ORCID: 0000-0003-3114-5934

¹**Жеребчук Д.С.**, студент,

dianazerebcuk@gmail.com, ORCID: 0000-0002-7174-132X

¹*Науково-дослідний інститут в'язучих речовин і матеріалів ім. В.Д. Глуховського**Київський національний університет будівництва та архітектури*

пр. Повітрофлотський, 31, м. Київ, 03037, Україна

²*Національний університет біоресурсів і природокористування України*

вул. Героїв Оборони, 12в, м. Київ, 03041, Україна

³*Управління пожежної безпеки Збройних сил України*

просп. Повітрофлотський, 6, м. Київ, 03168, Україна

Анотація. Експлуатація легко зведених конструкцій з текстильних займистих виробів спонукає до використання вогнезахисту, оскільки при експлуатації можливе займання брезентової тканини, яка відноситься до легкозаймистих матеріалів. Тому дослідження, що направлені на визначення закономірностей утворення еластичного шару вогнезахисного покриття на тканині композицією на основі сумішей органічних і неорганічних речовин, що характеризуються необхідними технологічними властивостями, є актуальними. В роботі наведено результати досліджень вільної поверхневої енергії та її складових (полярної і дисперсної) для брезентової тканини та методи її зміни при застосування вогнезахисного покриття. При проведенні випробування на зразок за допомогою піпетки наносилася крапля покриття. Після досягнення краплею рівноважного стану були визначені її висота і діаметр за допомогою мікроскопа. Встановлено послідовності зміни полярності і співвідношення їх з основним компонентом тканиною після формування вогнезахисного покриття, які узгоджуються зі структурними і функціональними особливостями брезентової тканини. Отримана тканина характеризується зниженою властивістю до поглинання води, оскільки, вільна поверхнева енергія змінюється в 2,3 рази, а полярність у 2 рази, що пов'язано зі зниженням поверхневого натягу покриття. Враховуючи вищенаведене встановлено, що полярність парусинової тканини, знаходиться близько полярності вогнезахисного покриття, що важко змочує матеріал. Натомість додавання піноутворювача знижує полярність покриття та підвищує змочуваність, яка дозволяє ефективно оброблювати парусинову тканину. Таким чином, при застосуванні комплексного підходу до вивчення змочуваності, полярності, міжфазового натягу можна підібрати стабільні технології для отримання нових виробів з вогнезахисної тканини та розширити сферу їх використання.

Ключові слова: вільна поверхнева енергія, тканина, оброблення, змочуваність, полярність покриття.

Вступ. Текстильні вироби з природніх волокон все частіше використовуються в різних типах будівельних конструкцій, як у постійних, так і зокрема в тимчасових спорудах. Під час проживання і опалювання таких споруд можливе займання та швидке поширення пожежі, оскільки, тканина утворює значне пожежне навантаження. З огляду на той факт, що саме цей

матеріал чутливий до впливу високої температури, підвищити рівень пожежної безпеки об'єктів, де використовуються будівельні конструкції з текстильних матеріалів, можливо за допомогою їх вогнезахисного оброблення. Прикладом є пожежа, яка виникла у будові Хартфордського цирку, штат Коннектикут (США) під час його роботи, що привело до масової загибелі глядачів. Необхідність вогнезахисту актуальна і для об'єктів масового перебування людей, які виготовлені з горючих текстильних матеріалів. Зокрема, у 2005 році в одному з театрів м. Каїра (Єгипет) від звичайної свічки виникло загоряння порт'єр, куліс та декорацій з паперу. Однією з причин швидкого розвитку пожежі була відсутність протипожежного захисту виробів з текстильних матеріалів.

Для комплексного захисту целюлозовмісних матеріалів від загоряння запропоновано використовувати суміші неорганічних солей, але вогнезахисне оброблення цими речовинами для текстильних матеріалів не придатне, тому що на поверхні спостерігається утворення висолів, які осипаються, а з часом матеріал втрачає захисні властивості, що приводить до займання горючих конструкцій при дії високотемпературного полум'я. Окрім того, деякі композиції через низьку змочуваність не ефективно покривають тканину, а відповідно утворюють захисну плівку.

Тому дослідження, що направлені на визначення закономірностей утворення еластичного шару вогнезахисного покриття на тканині композицією на основі сумішей органо-неорганічних речовин, що характеризуються необхідними технологічними властивостями, є актуальними.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Області застосування жароміцних і вогнестійких тканин це ті, де правила пожежної безпеки вимагають їх використання, а саме: захисний одяг, тканини, які контактують з полум'ям, текстильні матеріали для протипожежних бар'єрів (наприклад, протипожежні штори для театрів, ізоляційні тканини) і вироби для військового застосування [1]. Крім того, багато тканини використовується в системах громадського транспорту, таких як комерційні авіалінії, розкішні круїзні лайнери і сучасні швидкісні поїзди. Про те їх виготовлення та умови застосування складні і вимагають проведення спеціальних випробувань.

У дослідженні [2] повідомляється про виготовлення вогнезахисного текстилю з бавовняної тканини, яка змішана з полімером, для цього виготовлені змішані тканини з різним складом, ткацькими структурами, товщинами і щільністю ниток, змішували з подальшим хімічним осадженням полімерного покриття. Результати показують, що найнижча середня довжина вугільної основи при щільності теплового потоку випромінювання становила $11,021 \text{ кВт м}^{-2}$ і найвищий кисневий індекс склав 36,8 %, які були виявлені в змішаній тканині із вмістом 40 % бавовни і 30 % полімеру. Що стосується водовідштовхувальних властивостей, то всі оброблені зразки демонстрували позитивний результат, виражений як кут контакту з водою до $141,70^\circ$ до $151,50^\circ$. Ці результати дають фундаментальні підстави для проектування змішаного текстилю з необхідними функціоналами. Але не вказано до яких класів експлуатації вони належать.

В роботі [3] показано, що найбільш ефективними для тканин вважаються вогнезахисні покриття виготовлені на неорганічному в'язучому, властивості яких вже досліджені. Але ці матеріали утворюють на поверхні жорстке покриття, яке змінює колір поверхні та під дією атмосфери втрачає адгезію та осипається. Кінетика утворення шару пінококсу, який утворюється при спученні вогнезахисної тканини, має свої особливості, а саме характеризуються низьким коефіцієнтом спучення, та залежить від властивостей речовин у таких сумішах. Тому постає необхідність дослідження умов утворення бар'єру при обробленні матеріалу та встановлення ефективної дії покриття при експлуатації з утворенням шару пінококсу.

Для забезпечення екологічно чистої альтернативи вогнестійкої обробці бавовняних тканин в роботі [4] запропоновано полімери на основі сполук бору і азоту. Органічне поєднання бору, фенілборазотної кислоти, було успішно пов'язано з розгалуженим поліетиленіміном, що було підтверджено аналізом. Термогравіметричний аналіз показав, що полімер з мольному співвідношенні 1:1 етиленімін: антипірен демонструє оптимальну термоокислювальну стабільність, легко наносився на бавовняні тканини простим методом

занурення з високим поглинанням в середовищі ацетону. Тканина з додаванням 33,8 % добавки володіє самозатухаючою здатністю. Аналіз морфології обуглювання оброблених тканин виявив вогнестійкість покриття за рахунок спучення вогнезахисного механізму.

У статті [5] розглядається використання водно-спиртового розчину тетроектосилану, водного розчину силікату натрію, фосфору тримуючих антипіренів для надання вогнезахисних властивостей целюлозним текстильним матеріалам. Досліджуються швидкість тепловиділення, час та пікова швидкість тепловиділення, які є найважливішими факторами при прогнозуванні швидкості зростання пожежі. Однак не вказано як взаємодіє антипірен з основою матеріалу, його покривельна здатність.

В роботі [6] відзначено смоли на основі меламіну, які широко використовуються в тканинах для забезпечення вогне- і теплостійкості. Показано, що поверхневий натяг тканини впливає на змочуваність, а отже і на адгезію покриття до матеріалу. Модельовані експерименти з пранням припускають, що за один раунд прання водою 76...90 % меламіну було видалено з одягу. А тому постає задача зафіксувати антипірен у матеріалі.

В публікації [7] розглянута модифікація поверхневої енергії текстильних волокон для поліпшення функціональних властивостей, таких як змочування. Були розглянуті застосування плазмової обробки для покращення змочуваності натуральних та синтетичних волокон та згадані деякі методи вимірювання змочуваності. Потім були обговорені методи, спрямовані на надання водовідштовхувальних та масловідштовхувальних властивостей, і була докладно пояснена обробка УФ-затвердінням фторсодержащих хімікатів. Нарешті, були представлені методи золь-гелю, корисні для зміни властивостей поверхні текстилю, і були представлені результати водо- та масловідштовхування, що досягаються за допомогою золь-гелю.

У [8] детально обговорюються теоретичні моделі та стратегії виготовлення супергідрофобних тканин. Стратегії створення тканинних поверхонь із протиковзкими властивостями класифікуються та обговорюються на основі морфології частинок, нанесених на текстильне волокно. Такі текстильні поверхні з особливою змочуваністю демонструють самоочисні, водовідділяючі, самовідновлювальні, блокуючі УФ-випромінювання, фотокаталітичні, антибактеріальні та вогнестійкі характеристики. Відповідно, потенційні застосування були проілюстровані для самоочищення, поділу олії та води, асиметричного/анізотропного змочування тканини януса, мікрорідинних маніпуляцій та мікрошаблонів для формування малюнка. У кожному розділі виділені репрезентативні дослідження з акцентом на особливу здатність, що змочує, та інші відповідні властивості. Нарешті, були коротко обговорені проблеми та проблеми практичного застосування.

В роботі [9] були приготовлені супергідрофобно-суперолеофільні тканини та оцінено їх ефективність розділення суміші масло-вода. На поверхню бавовняної тканини були нанесені покриття для створення нанорозмірної шорсткості, яка була додатково модифікована низькоенергетичним матеріалом гексаметилдисилазаном (ГМДС) та полідиметилсилоксаном (ПДМС). Зразки бавовняної тканини з покриттям були охарактеризовані крайовим кутом, гистерезисом крайового кута та вільною поверхневою енергією для її гідрофобної природи. Морфологію поверхні вивчали за допомогою скануючої електронної мікроскопії (СЕМ). Виявлено, що тканини з покриттям є гідрофобними з низькими значеннями вільної поверхневої енергії. Максимальний контактний кут становить 133° , а найменший гістерезис контактного кута становить 5° . СЕМ підтвердив появу нанорозмірної шорсткості поверхні після нанесення золів на бавовняну тканину. Було виявлено, що покриття є гідрофобними за своєю природою і, мабуть, дуже корисні для розподілу суміші масло-вода.

Дослідження [10] є значним кроком уперед на шляху до створення більш екологічно чистого та міцного омніфобного текстилю. Запропоновано простий та універсальний метод одностадійного виготовлення омніфобних тканин з використанням лише водних суспензій частинок кремнезему та поліуретану, позбавленого довгих перфторалкильних ланцюгів (C8), які нині заборонені законом через серйозні екологічні проблеми. Омніфобні покриття можна наносити на різні підкладки, включаючи тканини, вони можуть витримувати кислотні та лужні умови та помірну кількість циклів прання, а також відштовхують рідини, такі як октан,

додекан, гексадекан, етиленгліколь, гліцерин, оливкова олія та вода. Аналіз змочувальних властивостей тканин з покриттям показує, що водовідштовхувальні властивості є результатом захоплення повітря шорсткістю, що повертається, створюваної агрегатами частинок кремнезему, а також низьким поверхневим натягом поліуретану, який має дозволені короткі перфторалкільні ланцюги.

Таким чином, з літературних джерел встановлено, що оброблення тканини вогнезахисним покриттям підвищує її стійкість до вогню але не завжди покриття буде рівномірно розподілятися по поверхні. Все це дає підстави до проведення дослідження, присвяченого визначенню параметрів, які забезпечують необхідний рівень поверхневих властивостей тканини при її обробленні вогнезахисним покриттям.

Мета дослідження. Метою даної роботи є виявлення закономірностей зміни поверхневих енергетичних характеристик при виготовленні вогнезахисної тканини.

Матеріали і методи досліджень. Для встановлення ступеня розтікання вогнезахисного покриття проводили дослідження поверхневих енергетичних характеристик парусинової тканини (рис. 1).



Рис. 1. Модельний зразок тканини для випробувань

Для цього визначали крайовий кут змочування на зразках необробленої парусинової тканини розмірами 50×50 мм, товщиною 0,7 мм (рис. 2).

Зразки обробляли модифікованим покрівельним просочувальним розчином на основі суміші органічних і неорганічних речовин «Firewall-Attic» (суміш карбаміду 28...30 % і фосфорних кислот 23...24 % та крохмалю 20 %) [11, 12].

Для зниження крайового кута змочування при обробленні тканини покриттям до нього додавали 6% водний розчин піноутворювача Софір AFF-107 (Україна), який використовується для пожежогашіння.

При проведенні випробування на зразок за допомогою піпетки наносилася крапля покриття [13]. Після досягнення краплею рівноважного стану були визначені її висота і діаметр за допомогою мікроскопа, що має певну ступінь збільшення.

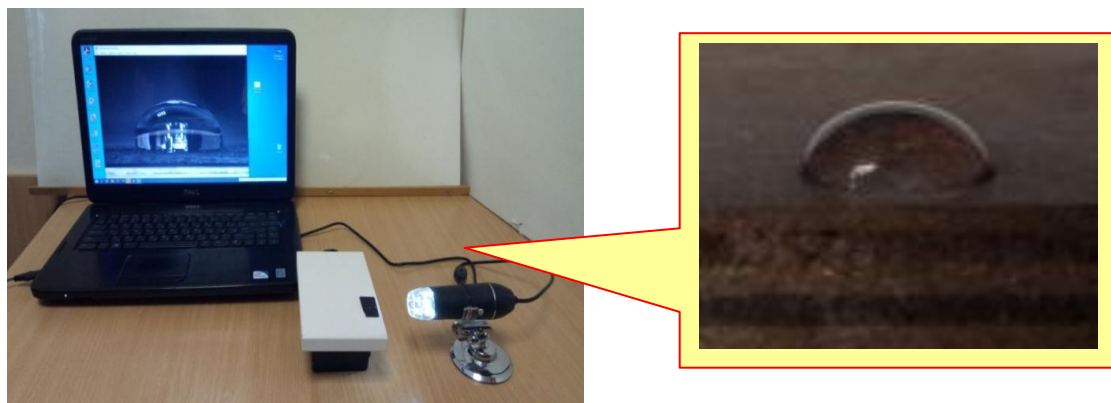


Рис. 2. Визначення крайового кута змочування

Крайовий кут змочування θ визначався через тангенс кута θ , який розраховували за формулою:

$$\operatorname{tg} \theta = 4d \cdot h / (d^2 - 4h^2), \quad (1)$$

де d, h – діаметр і висота краплі, мм.

Для оцінки поверхневої енергії термомодифікованої фанери та при нанесенні покриття використовували метод Фоукса [14], який дозволяє врахувати дисперсійні, водневі та диполь-дипольні взаємодії на міжфазній границі «тверде тіло – рідина»:

$$(1 + \cos \theta) \sigma_{pe} = 2(\sigma_{mz}^d \cdot \sigma_{pe}^d)^{0,5} + 2(\sigma_{mz}^p \cdot \sigma_{pe}^p)^{0,5}, \quad (2)$$

де θ – крайовий кут змочування;

σ_{mz}, σ_{pe} – поверхнева енергія твердого тіла та рідини відповідно;

індекс p – складова повної поверхневої енергії, яка обумовлена водневими та диполь-дипольними взаємодіями;

індекс d – дисперсійними взаємодіями.

Дане рівняння має дві невідомі величини σ_{mz}^d та σ_{mz}^p і для практичного використання необхідні дані контактних кутів для двох різних рідин з відомими поверхневими натягами σ_{pe}^d та σ_{pe}^p (табл. 1).

Таблиця 1 – Поверхневий натяг і дисперсні та полярні складові для тестових рідин

Рідина	σ_{pe}^d	σ_{pe}^p	σ_{pe}
Вода	21,8	50,8	72,6
Етиленгліколь	29,3	19,0	48,3

Визначення поверхневого натягу проводили наступним чином: у кювету поміщали досліджувану рідину та встановлювали на торсійних вагах [10]. У рідину поміщали металеве кільце і після його занурення поступово витягували, контролюючи значення шкали на вагах.

Поверхневий натяг інтумесцентного покриття обчислюють за формулою:

$$\sigma = M \cdot F, \quad (3)$$

де M – показання шкали тенсіометра;

F – коефіцієнт, який вираховується за формулою:

$$F = 0,7250 + \sqrt{\frac{0,03678 \cdot M}{R_2^2}} + P, \quad (4)$$

де P – константа, яка обчислюється за формулою:

$$P = 0,04534 - \frac{1,679 \cdot R_1}{R_2}, \quad (5)$$

де R_1 – радіус дроту кільця, мм;

R_2 – радіус кільця, мм.

Результати досліджень. При проведенні випробування на зразок за допомогою піпетки наносилася крапля покриття (рис. 3).



а)



б)

Рис. 3. Крапля рідини на необробленій парусиновій тканині: а – вода; б – етиленгліколь

Як видно з рис. 3, вода створює тупий кут краплі і етиленгліколь створюють гострий кут краплі при змочуванні парусинової тканини.

Результати визначення крайового кута змочування тестовими рідинами і визначення відповідних компонентів вільної енергії поверхні парусинової тканини наведено у табл. 2.

Таблиця 2 – Крайовий кут змочування та складова вільної енергії поверхні парусинової тканини

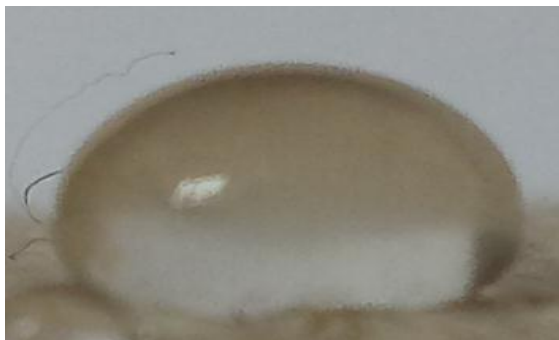
Матеріал	Крайовий кут змочування, $\theta, ^\circ$		Вільна енергія поверхні, мДж/м^2			Полярність
	Вода	Етиленгліколь	Загальна	Полярна	Дисперсна	
Парусинова тканина	110,9	76,1	96,3	52,7	44,6	54,7

Враховуючи, що поверхня парусинової тканини гідрофобна і розтікання робочого розчину покриття по поверхні може не відбутися або бути не ефективним, тому доцільно визначити поверхневий натяг покриття при додаванні піноутворювача.

З метою встановлення ефективності покриття на межі змочування «рідина – тверде тіло» визначено крайовий кут змочування покриття на парусиновій тканині та з додаванням 6% піноутворювача Софір AFF-107 (рис. 4).

Вищенаведені результати (рис. 3, 4) показують, що парусинова тканина при змочуванні її водою утворює тупий кут як і водний розчин вогнезахисного покриття, додавання 6 % піноутворювача Софір AFF-107 переводить до гострого кута змочування.

Для композиції «Firewall-Attic» за допомогою контактного кута і метода Фоукса розраховані полярні і дисперсні складові при обробленні парусинової тканини покриттям та з додаванням 6 % піноутворювача Софір AFF-107 (Україна) (табл. 3).



а)



б)

Рис. 4. Крапля рідини на необробленій парусиновій тканині: а – водний розчин вогнезахисного покриття; б – водний розчин вогнезахисного покриття з додавання 6 % піноутворювача Софір AFF-107

Таблиця 3 – Крайовий кут змочування та складова вільної енергії вогнезахисного покриття

Характеристики ВЕП	Вогнезахисне покриття	Вогнезахисне покриття+6% піноутворювача Софір AFF-107
Поверхневий натяг, мН/м	74	22,1
Кут змочування, $^\circ$	108	29,0
Полярна складова, мДж/м^2	53,4	47,8
Дисперсна складова, мДж/м^2	40,2	4,6
Загальна ВЕП, мДж/м^2	93,8	52,4
Порлярність розчину, %	56,9	8,7

У результаті проведених досліджень (табл. 2, 3) встановлено, що полярність парусинової тканини знаходиться близько полярності вогнезахисного покриття, що важко змочує матеріал. Натомість додавання піноутворювача знижує полярність покриття та підвищує змочуваність, яка дозволяє ефективно оброблювати парусинову тканину.

Висновки та перспективи подальших досліджень. Таким чином, при застосуванні комплексного підходу до вивчення змочуваності, полярності, міжфазного натягу можна підібрати стабільні технології для отримання нових виробів для вогнезахисту тканин та розширити сферу їх використання.

Подальші дослідження можуть бути спрямовані на встановлення взаємозв'язку між складовими і властивостями вогнезахисних покриттів, а також їх оптимізацію.

Подяка. Автори висловлюють подяку за фінансову підтримку роботи, виконаної в рамках бюджетного фінансування № 0121U001007, а також на розробку наукових тем у програмі наукового співробітництва COST Action CA20139 «Холістичне проектування більш високих дерев'яних будівель» (HELEN).

Література

1. Horrocks A.R. High performance textiles for heat and fire protection. *High Performance Textiles and their Applications. Woodhead Publishing Series in Textiles*. 2014. P. 144-175.
2. Ahmed M.T., Morshed M.N., Farjana S., An S.K. Fabrication of new multifunctional cotton-modal-recycled aramid blended protective textiles through deposition of a 3D-polymer coating: High fire retardant, water repellent and antibacterial properties. *New Journal of Chemistry*. 2020. Vol. 44. No 28. P. 12122-12133.
3. Reimers F. Protecting outdoorists from fires and fire retardants. *Environmental Science and Technology*. 2016. P. 1-10.
4. Chan Y. Sh., Si L., Lee I. K., Ng P. F., Chen L., Yu B., Hu Yu., Yuen R. K. K., Xin J. H., Fe B. A novel boron – nitrogen intumescent flame retardant coating. *Cellulose*. 2018. Vol. 25. P. 843-857.
5. Takey Y., Taussarova B.R., Burkytbay A. Investigation of heat processed cellulose textile materials of sol-gel composition. *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti*. 2020. Vol. 6. P. 236-240.
6. Zhu H., Kannan K. Determination of melamine and its derivatives in textiles and infant clothing purchased in the United States. *Science of the Total Environment*. 2020. Vol. 710. 136396. P. 1-10.
7. Ferrero F., Periolatto M. Modification of Surface Energy and Wetting of Textile Fibers. *Open access peer-reviewed edited volume*. 2015. P. 384.
8. Li S., Huang J., Chen Z., Chen G., Lai Yu. A review on special wettability textiles: theoretical models, fabrication technologies and multifunctional applications. *Journal of Materials Chemistry A*. 2017. Vol. 5. P. 31-55.
9. Bhatt N., Mishra A., Goswami R. Hydrophobically modified cotton fabric assisted separation of oil-water mixture. *Water Sci Technol*. 2021. Vol. 84. No 10-11. P. 2830-2841.
10. Cai R., De Smet D., Vanneste M., Nysten B., Glinel K., Jonas M.A. One-Step Aqueous Spraying Process for the Fabrication of Omniphobic Fabrics Free of Long Perfluoroalkyl Chains. *ACS Omega*. 2019. Vol. 4. No 15. P. 16660-16666.
11. Tsapko Yu., Tsapko A., Bondarenko O., Chudovska V., Sotnikova I., Sotnikov D. Thermophysical characteristics of the formed layer of pinocox in fire protection of fabric by composition based on modified phosphorus-ammonied. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2021. Vol. 3. No 10 (111). P. 34-41.
12. Tsapko Yu., Tsapko A. Modeling a thermal conductivity process under the action of flame on the wall of fireretardant reed. *East European Journal Enterprise Technologies*. 2018. Vol. 2. No 10 (92). P. 50-56.

13. Rekiel E., Zdziennicka A., Jańczuk B. Mutual influence of ethanol and surfactin on the ir wetting and adhesion properties. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*. 2021. Vol. 627. 127161. P. 1-10.
14. Traciak J., Fal J., Żyła G. 3D printed measuring device for the determination the surface tension of nanofluids. *Applied Surface Science*. 2021. Vol. 561. 149878. P. 1-10.

References

- [1] A.R. Horrocks, High performance textiles for heat and fire protection, "High Performance Textiles and their Applications", *Woodhead Publishing Series in Textiles*, pp. 144-175, 2014.
- [2] M.T. Ahmed, M.N. Morshed, S. Farjana, S.K. An, "Fabrication of new multifunctional cotton-modal-recycled aramid blended protective textiles through deposition of a 3D-polymer coating: High fire retardant, water repellent and antibacterial properties", *New Journal of Chemistry*, vol. 44, no. 28, pp. 12122-12133, 2020.
- [3] F. Reimers, "Protecting outdoorists from fires and fire retardants", *Environmental Science and Technology*, pp. 1-10, 2016.
- [4] Sh. Y. Chan, L. Si, K. I. Lee, P. F. Ng, L. Chen, B. Yu, Yu. Hu, R. K. K. Yuen, J. H. Xin, B. Fe, "A novel boron – nitrogen intumescent flame retardant coating", *Cellulose*, vol. 25, pp. 843-857, 2018.
- [5] Y. Takey, B.R. Taussarova, A. Burkytbay, "Investigation of heat processed cellulose textile materials of sol-gel composition", *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti*, vol. 6, pp. 236-240, 2020.
- [6] H. Zhu, K. Kannan, "Determination of melamine and its derivatives in textiles and infant clothing purchased in the United States", *Science of the Total Environment*, vol. 710, 136396, pp. 1-10, 2020.
- [7] F. Ferrero, M. Periolatto, "Modification of Surface Energy and Wetting of Textile Fibers", *Open access peer-reviewed edited volume*, pp. 384, 2015.
- [8] S. Li, J. Huang, Z. Chen, G. Chen, Yu. Lai, "A review on special wettability textiles: theoretical models, fabrication technologies and multifunctional applications", *Journal of Materials Chemistry A*, vol. 5, pp. 31-55, 2017.
- [9] N. Bhatt, A. Mishra, R. Goswami, "Hydrophobically modified cotton fabric assisted separation of oil-water mixture", *Water Sci Technol*, vol. 84, no. 10-11, pp. 2830-2841, 2021.
- [10] Cai R., De Smet D., Vanneste M., Nysten B., Glinel K., Jonas M.A. "One-Step Aqueous Spraying Process for the Fabrication of Omniphobic Fabrics Free of Long Perfluoroalkyl Chains". *ACS Omega* , vol. 4, no. 15, pp. 16660-16666, 2019.
- [11] Yu. Tsapko, A. Tsapko, O. Bondarenko, V. Chudovska, I. Sotnikova, D. Sotnikov, "Thermophysical characteristics of the formed layer of pinocox in fire protection of fabric by composition based on modified phosphorus-ammonied", *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, vol. 3, no. 10 (111), pp. 34-41, 2021.
- [12] Yu. Tsapko, A. Tsapko, "Modeling a thermal conductivity process under the action of flame on the wall of fireretardant reed", *East European Journal Enterprise Technologies*, vol. 2, no. 10 (92), pp. 50-56, 2018.
- [13] E. Rekiel, A. Zdziennicka, B. Jańczuk, "Mutual influence of ethanol and surfactin on the ir wetting and adhesion properties", *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, vol. 627, 127161, pp. 1-10, 2021
- [14] J. Traciak, J. Fal, G. Żyła, "3D printed measuring device for the determination the surface tension of nanofluids", *Applied Surface Science*, vol. 561, 149878, pp. 1-10, 2021.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТНЫХ СВОЙСТВ ТКАНИ
ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ПАЛАТОК

^{1,2}Цапко Ю.В., д.т.н., профессор,
juriyts@ukr.net, ORCID: 0000-0003-0625-0783

¹Бондаренко О.П., к.т.н., доцент,
bondolya3@gmail.com, ORCID: 0000-0002-8164-6473

¹Цапко А.Ю., к.т.н., с.н.с.,
alekseytsapko@gmail.com, ORCID: 0000-0003-2298-068X

³Сарапін Ю.А., специалист,
sia1@i.ua, ORCID: 0000-0003-3114-5934

¹Жеребчук Д.С., студент,
dianazerebcuk@gmail.com, ORCID: 0000-0002-7174-132X

¹Научно-исследовательский институт вяжущих веществ и материалов им. В.Д. Глуховского
Киевский национальный университет строительства и архитектуры
пр. Воздухофлотский, 31, г. Киев, 03037, Украина

²Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины
ул. Героев Оборона, 12в, г. Киев, 03041, Украина

³Управление пожарной безопасности Вооруженных Сил Украины
пр. Воздухофлотский, 6, г. Киев, 03168, Украина

Аннотация. Эксплуатация легко возведенных конструкций из текстильных воспламеняющихся изделий побуждает к использованию огнезащиты, поскольку при эксплуатации возможно воспламенение брезентовой ткани, которая относится к легковоспламеняющимся материалам. Поэтому исследования, направленные на определение закономерностей образования эластичного слоя огнезащитного покрытия на ткани композицией на основе смесей органических и неорганических веществ, характеризующихся необходимыми технологическими свойствами, актуальны. В работе представлены результаты исследований свободной поверхностной энергии, а также ее составляющих (полярной и дисперсной) для брезентовой ткани и методы ее изменения при применении огнезащитного покрытия. При проведении испытания на образец с помощью пипетки наносилась капля покрытия. После достижения капель равновесного состояния определены ее высота и диаметр с помощью микроскопа. Установлены последовательности изменения полярности и соотношение их с основным компонентом ткани после формирования огнезащитного покрытия, которые согласуются со структурными и функциональными особенностями брезентовой ткани. Полученная ткань характеризуется пониженным свойством к поглощению воды, поскольку свободная поверхностная энергия изменяется в 2,3 раза, а полярность в 2 раза, что связано со снижением поверхностного натяжения покрытия. Учитывая вышеприведенное, установлено, что полярность парусиновой ткани находится около полярности огнезащитного покрытия, что трудно смачивает материал. Вместо этого добавление пенообразователя снижает полярность покрытия и повышает смачиваемость, которая позволяет эффективно обрабатывать парусиновую ткань. Таким образом, при применении комплексного подхода к изучению смачиваемости, полярности, межфазного натяжения можно подобрать стабильные технологии для получения новых изделий из огнезащищенной ткани и расширить область их использования.

Ключевые слова: свободная поверхностная энергия, ткань, отделка, смачиваемость, полярность покрытия.

RESEARCH OF SURFACE PROPERTIES OF FABRICS FOR MANUFACTURE OF TENTS

^{1,2}**Tsapko Yu.**, Doctor of Technical Sciences,
juriyts@ukr.net, ORCID: 0000-0003-0625-0783

¹**Bondarenko O.**, PhD, Associate Professor,
bondolya3@gmail.com, ORCID: 0000-0002-8164-6473

¹**Tsapko A.**, PhD,
alekseytsapko@gmail.com, ORCID: 0000-0003-2298-068X

³**Sarapin Yu.**, specialist,
syal@i.ua, ORCID: 0000-0003-3114-5934

¹**Zherebchuk D.**, student
dianazerebcuk@gmail.com, ORCID: 0000-0002-7174-132X

¹*Scientific Research Institute for Binders and Materials,
Kyiv National University of Construction and Architecture
Povitroflotsky ave., 31, Kyiv, 03037, Ukraine*

²*National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine
Heroiv Oborony str., 15, Kyiv, 03041, Ukraine*

³*Fire Safety Department of the Armed Forces of Ukraine
Povitroflotsky ave., 6, Kyiv, 03168, Ukraine*

Abstract. The operation of easily erected structures made of flammable textiles encourages the use of fire protection, as the operation may ignite tarpaulin fabric, which is a flammable material. Therefore, studies aimed at determining the patterns of formation of an elastic layer of fire-retardant coating on fabrics with a composition based on mixtures of organic and inorganic substances, characterized by the necessary technological properties, are relevant. The paper presents the results of studies of free surface energy, as well as its components (polar and dispersed) for tarpaulin fabric and methods of its change when using a fire-retardant coating. A drop of coating was applied to the sample with a pipette during the test. After reaching the equilibrium drops, its height and diameter were determined with a microscope. The sequences of polarity change and their relationship with the main component of the fabric after the formation of the flame retardant coating, which are consistent with the structural and functional features of the tarpaulin fabric. The resulting fabric is characterized by a reduced property of water absorption, as the free surface energy changes 2.3 times and the polarity 2 times, which is associated with a decrease in the surface tension of the coating. Given the above, it was found that the polarity of the canvas fabric is close to the polarity of the flame retardant coating, which is difficult to wet the material. Instead, the addition of a foaming agent reduces the polarity of the coating and increases the wettability, which allows you to effectively process the canvas fabric. Thus, when applying a comprehensive approach to the study of wettability, polarity, interfacial tension, you can choose stable technologies for new products from fire-retardant fabric and expand their scope.

Keywords: free surface energy, fabric, finish, wettability, coating polarity.

Стаття надійшла до редакції 10.03.2022