

ПЛАВАН ВІКТОРІЯ

Київський національний університет технологій і дизайну

<https://orcid.org/0000-0001-9559-8962>e-mail: plavan.vp@knutd.edu.ua**КОЛОДІЙ АРТЕМ**

Київський національний університет технологій і дизайну

<https://orcid.org/0009-0007-6771-6037>e-mail: kolodii.ai@knutd.edu.ua**ОХМАТ ОЛЕНА**

Київський національний університет технологій і дизайну

<https://orcid.org/0000-0003-0927-8706>e-mail: oxmat.oi@knutd.edu.ua

АНАЛІЗ ПЛІВКОУТВОРЮВАЛЬНОЇ ЗДАТНОСТІ ПОЛІМЕРНИХ ДИСПЕРСІЙ ДЛЯ СТВОРЕННЯ ГІБРИДНИХ ПОКРИТТІВ

В статті проаналізовані властивості полімерних дисперсій різного типу для визначення можливості їх подальшого застосування у складі гібридних полімерних покриттів для функціоналізації поверхні волокнистих матеріалів. Якість водоемульсійних плівкоутворювальних композицій і можливості їх використання в процесі функціоналізації поверхні волокнистих матеріалів визначали за їх плівкоутворювальною здатністю, стійкістю до дії води і органічних розчинників, механічними характеристиками (межа міцності плівки при розтягуванні, відносне видовження при розриванні), липкістю плівок та іншими властивостями. Визначили, для отримання достатньо еластичного, не липкого полімерного покриття з високою механічною міцністю, за умов збереження низького ступеня набухання плівок у воді, для нанесення на поверхню текстильних матеріалів доцільно сумісне використання акрил-уретанових дисперсій.

Ключові слова: полімерні дисперсії, акрил-уретанові полімери, гібридні покриття, текстильні матеріали.

VIKTORIA PLAVAN**ARTEM KOLODIY****OLENA OKHMAT**

Kyiv National University of Technology and Design

ANALYSIS OF THE FILM-FORMING CAPACITY OF POLYMER DISPERSIONS FOR THE CREATION OF HYBRID COATINGS

The article is devoted to the analysis of polymer dispersions from different types to determine the possibility of their further use as part of hybrid polymer coatings for functionalizing of the fibrous materials surface. PLEXTOL UF PR 3500K (Synthomer, Great Britain) is an aqueous dispersion of an acrylic copolymer with an ultra-fine particle size. CRILAT 4815 (Vinavil, Italy) is an aqueous acrylic dispersion. Impranal® DLP-R (Covestro, Germany) is an anionic aliphatic polyester-polyurethane dispersion suitable for use in textile coatings for outerwear, luggage and technical products. VINAVIL EVA 4612 (Vinavil, Italy) is an aqueous dispersion of a copolymer of vinyl acetate and ethylene. The quality of water-emulsion polymer dispersions and the possibility of their use in the process of the fibrous materials surface functionalization was determined by their film-forming ability, resistance to water and organic solvents, mechanical characteristics (film tensile strength, relative elongation at break), film stickiness and other properties.

Almost all polymer films demonstrate resistance to elevated temperatures. Films from acrylic dispersions demonstrate solubility in most organic solvents, except for ethylene glycol, in contrast to films from polyurethane dispersions, which exhibit high resistance to all organic solvents. Polyurethane films demonstrate the highest degree of swelling in butyl acetate (23.8%). All films demonstrate the ability to swell in water; the highest degree of swelling of 61.73% is for the acrylic film with Crilat 4815, the lowest degree of swelling is for the polyurethane film (1.33%).

It was determined that to obtain a sufficiently elastic, non-sticky polymer coating with high mechanical strength, while maintaining a low degree of swelling of the films in water, it is advisable to use dispersions of acrylic copolymer Plectol VF 3500 or Crilat 4815 and polyester-polyurethane dispersion Impranal DLP-R. Further research will be aimed at choosing a rational ratio of the mentioned film formers and developing technological parameters of finishing.

Keywords: polymer dispersions, acrylic-urethane polymers, hybrid coatings, textile materials.

Стаття надійшла до редакції / Received 15.04.2025

Прийнята до друку / Accepted 30.04.2025

Постановка проблеми у загальному вигляді

та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями

Поліуретанові (ПУ) та акрилові дисперсії є основними видами плівкоутворювальних речовин, які використовуються для оздоблення шкіряних і текстильних матеріалів [1]. Поліакрилати демонструють високі експлуатаційні характеристики, включаючи хорошу адгезію, чудові плівкоутворювальні властивості, стійкість до УФ-випромінювання та економічну ефективність [2]. До їх недоліків можна віднести низьку хімічну та водостійкість, а також знижену стійкість до атмосферних впливів і механічну міцність. Навпаки, водорозчинні поліуретани (WPU) відрізняються адгезією, гнучкістю та стійкістю до стирання, до їх недоліків можна віднести високу вартість, низьку стабільність рН і обмежену стійкість до зовнішніх впливів [3]. Суміші акрилових і поліуретанових сполучних часто використовуються в обробці шкіри, щоб зменшити витрати, одночасно використовуючи переваги обох.

Однак, через несумісність між полімерами можуть виникнути проблеми під час формування плівки [4]. Багатообіцяюча альтернатива передбачає поєднання властивостей обох типів полімерів в одному матеріалі, який називають «гібридом». На відміну від простих фізичних сумішей, які мають чіткі акрилові та поліуретанові домени, гібридні полімерні дисперсії утворюють взаємопроникну мережу акрилових і уретанових полімерних ланцюгів на молекулярному рівні [5]. Це забезпечує формування комплексу унікальних властивостей, що створює серйозні переваги для використання таких гібридних систем для текстильних матеріалів спеціального призначення. Альтернативний підхід до фізичного змішування акрилових і поліуретанових дисперсій полягає у формуванні дисперсії частинок, кожна з яких складається з тісно переплетених акрилових і поліуретанових ланцюгів. Це досягається шляхом полімеризації *in situ* відповідних попередньо мішаних полімерів, таким чином утворюючи «гібридні» частинки в процесі нанесення покриття на поверхню. З'ясування за рахунок чого відбувається формування комплексу унікальних властивостей у випадку застосування акрил-уретанових дисперсій для оздоблення волокнистих матеріалів вимагає проведення додаткових досліджень.

Аналіз досліджень та публікацій

Авторами [6] розроблені гібридні ПУ-акрилові зв'язувальні речовини на водній основі без емульгаторів і розчинників для оздоблення синтетичної шкіри. Традиційно цей клас матеріалів виробляють із нафтопохідної сировини. Незважаючи на те, що неізоціанатні поліуретани можна виробляти із відновлюваної сировини, однак їх синтез характеризується низькою швидкістю реакції та кількома побічними продуктами, які сильно впливають на кінцеві властивості матеріалів. Це обмежує використання неізоціанатних поліуретанів для оздоблення шкіри.

Авторами [7] для модифікування поверхні тканин на етапах обробки запропоновано нові види водно-дисперсійних систем на акрилових і уретанових полімерах з метою надання тканинам певних функціональних властивостей. У цих гібридних дисперсіях поліуретан підвищує міцність, гнучкість і продуктивність утворення плівки, тоді як акриловий компонент забезпечує хорошу сумісність з пігментами, стійкість до дії лугів і до зовнішніх впливів, а також низьку собівартість.

Автори [8] у своїх дослідженнях зосередились на синтезі та характеристиці уретан-акрилових гібридних полімерних дисперсій з використанням методів емульсійної полімеризації за різного співвідношення ПУ та акрилової фази. Отримані гібридні емульсії були застосовані у композиціях для обробки шкіри для покращення властивостей її поверхні. Однак складна процедура отримання гібридної полімерної дисперсії ускладнює широке впровадження розробленої технології в повсякденну технологічну практику.

В іншому дослідженні [9] автори приділили особливу увагу тому, як структуру гібридної поліуретан-акрилової дисперсії можна налаштувати для комерційного застосування. Зокрема визначена роль кожного полімеру у синтезі/застосуванні кінцевих дисперсій, а саме визначено як структура гібридних дисперсій впливає на фізико-механічні властивості плівок з огляду на те, що поліуретан/акрилові дисперсії часто використовують у твердих покриттях, наприклад, для захисту дерев'яної підлоги, меблів або металевих поверхонь в автомобільній промисловості, або ж для обробки килимів, шкіри, текстилю чи паперу.

Формулювання цілей статті

Метою даної наукової роботи є створення гібридних покриттів для функціоналізації поверхні волокнистих матеріалів з використанням полімерних дисперсій різних типів. Для досягнення поставленої мети необхідно проаналізувати механічні властивості плівок з полімерних дисперсій різного типу, встановити їх здатність до набухання в органічних розчинниках і воді, липкість плівок, стійкість до підвищеної і зниженої температури.

Виклад основного матеріалу

Методологія дослідження.

В роботі використали полімерні матеріали різних типів: Plextol UltraFine PR 3500 (Synthomer, Велика Британія), Vinavil Eva 1612 (Vinavil, Італія), CRILAT 4815 (Vinavil, Італія), Impranil DLP-R (Covestro, Німеччина). Вибір матеріалів обумовлений простотою їх застосування, доступністю на ринку, прийнятною ціною [10].

PLEXTOL UF PR 3500K це водна дисперсія акрилового співполімеру з ультра дрібним розміром частинок, яка розроблена для використання в ґрунтовках для пористих основ. Ця дисперсія забезпечує чудову адгезію для фінішного покриття, має хорошу стійкість до вицвітання.

Акрилова дисперсія на водній основі CRILAT 4815 теж характеризується дуже малим розміром частинок. CRILAT 4815 не містить алкілфенол-етоксилатів (APEO-FREE), формальдегіду та розчинників, не має запаху. CRILAT 4815 після нанесення на поверхню проникає в глибину і діє як регулятор просочування та як прискорювач адгезії фінішного покриття.

VINAVIL EVA 4612 – це водна дисперсія співполімеру вінілацетату та етилену, не містить розчинників, з дуже низьким вмістом алкілфенол етоксилату (APEO-FREE). Дисперсія рекомендується для зовнішніх робіт, зокрема у складі інтумесцентних покриттів.

Impranil® DLP-R – це аніонна аліфатична поліефірно-поліуретанова дисперсія, яка підходить для використання у складі текстильних покриттів для верхнього одягу, багажно-технічних виробів. Має хорошу світлостійкість, забезпечує хорошу адгезію, має високий вміст твердих речовин і хорошу стабільність при перемішуванні.

Якість водоемульсійних плівкоутворювальних композицій і можливості їх використання в процесі функціоналізації поверхні волокнистих матеріалів визначаються їх плівкоутворювальною здатністю, стійкістю до дії води і органічних розчинників, механічними характеристиками (межа міцності плівки при розтягуванні, відносне видовження при розриванні), липкістю плівок та іншими властивостями. В попередніх дослідженнях авторів [10] зроблено порівняльну оцінку водно-дисперсійних акрилових, вінілових і уретанових полімерів з метою визначення можливості їх подальшого застосування для функціоналізації поверхні волокнистих основ. Визначили, що всі практично всі полімерні дисперсії можуть змішуватись без загрози коагуляції.

Отримання вільної плівки

Плівки з полімерних дисперсій товщиною 0,2 мм отримують наступним чином. На чисту, протерту спиртом скляну пластинку, встановлену точно горизонтально, наливають необхідну кількість дисперсії полімеру. За допомогою скляної палички розрівнюють дисперсію по поверхні скла та залишають для сушіння при кімнатній температурі. Утворену плівку відокремлюють від скла, за необхідності її зволожують марлевым тампоном. Зволожену плівку підсушують протягом 24 год при кімнатній температурі, потім для повного висихання витримують при температурі 60°C протягом 6 год у сушильній шафі. Кондиціонування плівки проводять при температурі 20±0,5°C та відносній вологості 65% протягом 24 год.

Визначення механічних властивостей полімерних плівок

Після кондиціонування зразки плівок товщиною 0,20–0,25 мм, шириною 5 мм та довжиною 50 мм (робоча ділянка довжиною 20 мм) випробовують на розривній машині РМ-3. Визначають навантаження при розтягуванні плівки на 10, 30, 100 та 300% її довжини та при розриві. Розраховують межу міцності та відносне видовження при розриві за формулами (1) і (2), відповідно:

$$\sigma_p = \frac{P}{S}, \quad (1)$$

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l} \cdot 100, \quad (2)$$

де: σ_p – межа міцності плівки при розтягуванні, МПа; P – навантаження при розриві, Н; S – площа поперечного перетину у місці розриву, м²; ε – видовження при розриві, %; Δl – збільшення довжини робочої ділянки зразка плівки, мм; l – довжина робочої ділянки зразка плівки, мм.

Визначення липкості плівок

Вирізають дві однакових зразки плівки розміром 5 x 1 см. Зразки накладають один на одного, залишаючи вільними кінці по 1 см. Загальна площа контакту у склейці 4 см². Підготовлені таким чином зразки розташовують між двома скляними пластинами розміром 12 x 9 x 0,12 см та залишають на 30 хв під загальним навантаженням 0,5 кг. Після цього на динамометрі зі шкалою до 3 кг визначають міцність склейки на зсув. Липкість плівки вимірюють у Н/м².

Визначення впливу температури на фізико-механічні властивості плівок

Для визначення впливу підвищеної температури плівку витримують протягом 10 хв при температурі 105±5°C. Після нагрівання плівки охолоджують 20 хв, вирізають зразки 50 x 5 мм та визначають межу міцності та видовження при розтягуванні. При визначенні впливу зниженої температури плівку витримують при –10° С протягом 48 год. Після відтаювання плівку витримують у ексікаторі з насиченим розчином біхромату натрію протягом 72 год при температурі 20±0,5°C та відносній вологості 65%, вирізають зразки 50 x 5 мм та визначають межу міцності та видовження при розтягуванні.

Набухання плівок в органічних розчинниках

Для визначення ступеню набухання плівок в органічних розчинниках зразки плівок 15 x 15 мм зважують і заливають органічним розчинником так, щоб зразок повністю був занурений у розчинник. Протягом 1 год спостерігають за станом плівки. Через 1 год плівку трохи осушують фільтрувальним папером та зважують. Ступінь набухання плівки в органічних розчинниках H , %, розраховують за формулою (3):

$$H = \frac{(M_1 - M_0)}{M_0} \cdot 100, \quad (3)$$

де: M_0 – маса плівки до набухання, г; M_1 – маса плівки після набухання, г.

Набухання плівок у воді

Для визначення ступеню набухання плівок у воді використовують зразки площею від 20 до 30 см². Кондиційовані зразки плівок зважують (M_1) та занурюють у чашку Петрі (або скляний бюкс) з дистильованою водою на 2 год. Після двогодинного набухання плівку зважують (M_2). Ступінь набухання плівки у воді розраховують за формулою (4):

$$Q_2 = \frac{M_2 - M_0}{M_0} \cdot 100, \quad (4)$$

де: M_0 – маса разка плівки до набухання, г; M_2 – маса зразка після двогодинного набухання, г.

Результати дослідження та їх обговорення

Фізико-хімічні властивості плівок представлені в таблицях 1 і 2. Як видно з наведених даних, за величиною відносного видовження при навантаженні, поліуретанову дисперсію Impranil DLP-R можна віднести до м'яких плівкоутворювачів, тоді як акрилові дисперсії Crilat 4815 і Plextol VF 3500 можна віднести до жорстких плівкоутворювачів. Зазвичай м'які плівкоутворювачі рекомендуються для

просочення матеріалів, забезпечуючи високу адгезію покриття до поверхні. Тоді як жорсткі плівкоутворювачі надають покриттю механічної міцності. Тож поєднання плівкоутворювачів різних типів може забезпечити потрібні фізико-механічні властивості покриття. Також таким чином можна регулювати такі споживчі властивості покриттів як липкість і відношення до дії води і органічних розчинників.

Таблиця 1

Властивості плівок, отриманих з вихідних полімерних матеріалів

Показник	Полімерна дисперсія			
	Plextol VF 3500	Vinavil Eva 1612	Crilat 4815	Impranil DLP-R
Органолептична оцінка плівки	Еластична, прозора, не липка	Еластична, липка, прозора плівка, неоднорідна по товщині	Прозора, ламка, трохи липка плівка	Прозора, неоднорідна по товщині, еластична, трохи липка
Товщина плівки, мм	0,2	0,5	0,3	0,4
Межа міцності плівки при розтягуванні, МПа	4,51	2,04	5,49	3,22
Видовження плівки при розриві, %	450	650	400	1100
Стійкість до підвищеної температури: – межа міцності плівки при розтягуванні, МПа	5,09	6,5	8,16	6,47
– видовження плівки при розриві, %	435	900	425	875
Стійкість до дії холоду: – межа міцності плівки при розтягуванні, МПа	9,4	3,92	4,15	2,18
– видовження плівки при розриві, %	526	550	350	700
Липкість плівки, Н/м ²	Склеює не утворилась	Склеює не розірвалася	6,7	6,1

Практично всі полімерні плівки демонструють стійкість до дії підвищеної температури. Про це свідчить підвищення межі міцності плівки при розриві після дії підвищеної температури. При чому для поліуретанової плівки межа міцності підвищується більше ніж у двічі (з 3,22 до 6,47 МПа), а для акрилових плівок підвищення межі міцності коливається від 12 до 50%. Ймовірно завдяки підвищенню температури відбувається певні перетворення в структурі полімерів, що потім проявляється у підвищенні механічної міцності полімерних плівок.

Плівки з акрилових дисперсій демонструють розчинність у більшості органічних розчинників, крім етиленгліколя, на відміну від плівок з поліуретанової дисперсії, яка проявляє високу стійкість до дії всіх органічних розчинників. Поліуретанові плівки демонструють найвищий ступінь набухання в бутилацетаті (23,8%). Всі плівки демонструють здатність до набухання у воді, найвищий ступінь набухання 61,73% має акрилова плівка з Crilat 4815, найнижчий ступінь набухання має поліуретанова плівка (1,33%).

Таблиця 2

Результати визначення ступеню набухання плівки у воді і органічних розчинниках

Показник	Характер/рівень показника для			
	Plextol VF 3500	Vinavil Eva 1612	Crilat 4815	Impranil DLP-R
Ступінь набухання плівок в органічних розчинниках, % – бутилацетат	розчинилася	розчинилася	розчинилася	23,8
– етиловий спирт	розчинилася	розчинилася	розчинилася	4,58
– чотирехлористий вуглець	набула форми гелю	розчинилася	розчинилася	13,36
– етиленгліколь	1,0	0,6	3,8	2,86
Ступінь набухання плівок у воді, %	26,42	7,80	61,73	1,33

Таким чином для отримання достатньо еластичного, не липкого полімерного покриття з високою механічною міцністю, за умов збереження низького ступеня набухання плівок у воді, для нанесення на поверхню текстильних матеріалів пропонується сумісне використання дисперсії акрилового співполімеру Plextol VF 3500 чи Crilat 4815 і поліефірно-поліуретанової дисперсії Impranil DLP-R. Подальші дослідження будуть направлені на вибір раціонального співвідношення згаданих плівкоутворювачів і розробку технологічних параметрів оздоблення.

Висновки

В роботі проаналізовані властивості полімерних дисперсій різного типу для визначення можливості їх подальшого застосування у складі полімерних покриттів для функціоналізації поверхні волокнистих матеріалів. Якість водоемульсійних плівкоутворювальних композицій і можливості їх використання в процесі функціоналізації поверхні волокнистих матеріалів визначали за їх плівкоутворювальною здатністю, стійкістю до дії води і органічних розчинників, механічними характеристиками (межа міцності плівки при розтягуванні, відносне видовження при розриванні), липкістю плівок та іншими властивостями.

Визначили, що плівки з акрилових дисперсій демонструють розчинність у більшості органічних розчинників, крім етиленгліколя, на відміну від плівки з поліуретанової дисперсії, яка проявляє високу стійкість до дії всіх органічних розчинників. Поліуретанову дисперсію Impranil DLP-R, яку за величиною відносного видовження при навантаженні, можна віднести до м'яких плівкоутворювачів, пропонується комбінувати з акриловою дисперсією Plextol VF 3500, яку можна віднести до жорстких плівкоутворювачів. Поєднання плівкоутворювачів різних типів може забезпечити потрібні фізико-механічні властивості покриття.

Таким чином, для отримання достатньо еластичного, не липкого полімерного покриття з високою механічною міцністю, за умов збереження низького ступеня набухання плівок у воді, для нанесення на поверхню текстильних матеріалів пропонується сумісне використання дисперсії акрилових співполімерів Plextol VF 3500 чи Crilat 4815 і поліефірно-поліуретанової дисперсії Impranil DLP-R. Подальші дослідження будуть направлені на вибір раціонального співвідношення згаданих плівкоутворювачів і розробку технологічних параметрів оздоблення.

Література

1. Rajeckas, V. Leather Coatings. In *Coating Technology Handbook*, 3rd ed.; Tracton, A.A., Ed.; CRC Press: Boca Raton, FL, USA, 2006; pp. 100–107.
2. Schindler, F. Properties Distinguishing Acrylic Polymers as Binders for Basecoats on Leather. *J. Am. Leather Chem. Assoc.* **2003**, *98*, 97–100.
3. Ryu, Y.-S.; Lee, Y.-H.; Kim, J.-S.; Park, C.-C.; Kim, H.-D. Preparation and Properties of Emulsifier-/Solvent-Free Polyurethane-Acrylic Hybrid Emulsions for Binder Materials: Effect of the Glycidyl Methacrylate/Acrylonitrile Content. *J. Appl. Polym. Sci.* **2016**, *134*, 44497.
4. Krings, L.; Jimenez, M.; Oliveras, M.; Pont Pi, J.M. Acrylic-Urethane Hybrid Polymers: Materials with High Potential in Leather Finishing. *J. Am. Leather Chem. Assoc.* **2010**, *105*, 388–394.
5. Hegedus, C.R.; Kloiber, K.A. Aqueous acrylic-polyurethane hybrid dispersions and their use in industrial coatings *Journal of Coatings Technology*, Vol. 68, №860, September 1996, P.39-48.
6. Liu, J.; Recupido, F.; Lama, G.C.; Oliviero, M.; Verdolotti, L.; Lavorgna, M. Recent Advances Concerning Polyurethane in Leather Applications: An Overview of Conventional and Greener Solutions. *Collagen Leather* **2023**, *5*, 8.
7. Petrova, L.; Grishin, R.; Zimnurov, A.; Kozlova, O.; Odintsova, O.; Sangeeva, E. Improvement of Textile Materials Processing Techniques by Applying Aqueous Dispersions of Polymers. *Coatings* **2023**, *13*, 462. <https://doi.org/10.3390/coatings13020462>
8. Keskin, S.; Cheaburu-Yilmaz, C.N.; Altinisik Tagac, A.; Darie-Nita, R.N.; Yilmaz, O. Synthesis of Acrylic-Urethane Hybrid Polymer Dispersions and Investigations on Their Properties as Binders in Leather Finishing. *Polymers* **2025**, *17*, 308. <https://doi.org/10.3390/polym17030308>
9. Samane Mehravar, Nicholas Ballard, Radmila Tomovska, José M. Asua. Polyurethane/Acrylic Hybrid Waterborne Dispersions: Synthesis, Properties and Applications *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 2019, Vol 58, Issue 46, DOI: 10.1021/acs.iecr.9b02324
10. В. П. Плаван, А. І. Колодій, О. А. Охмат, А. Ю. Бойченко, Д. О. Латишев. Порівняльна оцінка полімерних дисперсій для функціоналізації поверхні волокнистих матеріалів *Технології та інжиніринг*, 2024, 4 (21), 102-110. <https://doi.org/10.30857/2786-5371.2024.4.10>

References

1. Rajeckas, V. Leather Coatings. In *Coating Technology Handbook*, 3rd ed.; Tracton, A.A., Ed.; CRC Press: Boca Raton, FL, USA, 2006; pp. 100–107.
2. Schindler, F. Properties Distinguishing Acrylic Polymers as Binders for Basecoats on Leather. *J. Am. Leather Chem. Assoc.* **2003**, *98*, 97–100.
3. Ryu, Y.-S.; Lee, Y.-H.; Kim, J.-S.; Park, C.-C.; Kim, H.-D. Preparation and Properties of Emulsifier-/Solvent-Free

Polyurethane-Acrylic Hybrid Emulsions for Binder Materials: Effect of the Glycidyl Methacrylate/Acrylonitrile Content. *J. Appl. Polym. Sci.* **2016**, *134*, 44497.

4. Krings, L.; Jimenez, M.; Oliveras, M.; Pont Pi, J.M. Acrylic-Urethane Hybrid Polymers: Materials with High Potential in Leather Finishing. *J. Am. Leather Chem. Assoc.* **2010**, *105*, 388–394.

5. Hegedus, C.R.; Kloiber, K.A. Aqueous acrylic-polyurethane hybrid dispersions and their use in industrial coatings *Journal of Coatings Technology*, Vol. 68, №860, September 1996, P.39-48.

6. Liu, J.; Recupido, F.; Lama, G.C.; Oliviero, M.; Verdolotti, L.; Lavorgna, M. Recent Advances Concerning Polyurethane in Leather Applications: An Overview of Conventional and Greener Solutions. *Collagen Leather* **2023**, *5*, 8.

7. Petrova, L.; Grishin, R.; Zimmurov, A.; Kozlova, O.; Odintsova, O.; Sangeeva, E. Improvement of Textile Materials Processing Techniques by Applying Aqueous Dispersions of Polymers. *Coatings* **2023**, *13*, 462. <https://doi.org/10.3390/coatings13020462>

8. Keskin, S.; Cheaburu-Yilmaz, C.N.; Altinisik Tagac, A.; Darie-Nita, R.N.; Yilmaz, O. Synthesis of Acrylic-Urethane Hybrid Polymer Dispersions and Investigations on Their Properties as Binders in Leather Finishing. *Polymers* **2025**, *17*, 308. <https://doi.org/10.3390/polym17030308>

9. Samane Mehravar, Nicholas Ballard, Radmila Tomovska, José M. Asua. Polyurethane/Acrylic Hybrid Waterborne Dispersions: Synthesis, Properties and Applications *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 2019, Vol 58, Issue 46, DOI: 10.1021/acs.iecr.9b02324

10. V. P. Plavan, A. I. Kolodiy, O. A. Okhmat, A. Yu. Boychenko, D. O. Latishev (2024). Comparative evaluation of the polymer dispersions for the fibrous materials surface functionalization. *Technologies and Engineering*, (4), 102–110. <https://doi.org/10.30857/2786-5371.2024.4.10>