

СЛІЗКОВ А. М., ПРИХОДЬКО А. М.

Київський національний університет технологій та дизайну

## АНАЛІЗ ЗАСТОСУВАННЯ ПЛАЗМОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ В ТЕКСТИЛЬНІЙ ТА ЛЕГКІЙ ПРОМИСЛОВОСТІ

**Мета.** Аналіз та визначення найбільш перспективних і економічних плазмових технологій обробки полімерних текстильних матеріалів для отримання матеріалів із заданими властивостями.

**Методи.** В статті використані аналітичні методи дослідження різних видів плазмової обробки полімерних текстильних матеріалів та їх впливу на властивості та структуру цих матеріалів.

**Результати.** Проаналізовано різні види плазмової обробки полімерних текстильних матеріалів. З фізичних методів модифікації найбільш перспективними є плазмові технології, які дозволяють зменшувати екологічне забруднення навколишнього середовища. Теплова плазма має надзвичайно високі температури і не може бути застосована для модифікації та обробки поверхні волокон полімерних текстильних матеріалів (в подальшому – ПТМ). Вибір певного різновиду холодної плазми для обробки ПТМ залежить від швидкості їх обробки, розміру вибірки і ступеня передбачуваної модифікації. Визначено вплив різних видів плазмової обробки полімерних текстильних матеріалів на зміну їх структури та властивостей, а також причини та особливості таких змін.

**Практична значимість.** Застосування плазмових технологій в текстильній і легкій промисловості дозволяє замінити технологічні операції обробки полімерних текстильних матеріалів, що вимагають великих витрат води та хімічних реагентів, на процеси їх сухої обробки. При цьому зменшується витрата хімічних матеріалів і скорочуються енергетичні витрати. Установка та обслуговування устаткування плазми атмосферного тиску є значно простішою та дешевшою у порівнянні із устаткуванням плазми низького тиску.

**Ключові слова:** фізична модифікація; екологічність; властивості матеріалів; полімерний текстильний матеріал; надмолекулярна структура; плазмова технологія; атмосферна плазма.

### APPLICATION OF PLASMA TECHNOLOGIES IN TEXTILE AND EASY INDUSTRY

SLIZKOV A. M., PRICHODKO A.

Kyiv National University of Technologies and Design

**Goal.** Analysis and determination of the most promising and economical plasma technologies for processing polymeric textile materials to obtain materials with specified properties

**Methodology.** The article uses analytical methods for the study of different types of plasma treatment of polymeric textile materials and their impact on the properties and structure of these materials.

**Results.** Different types of plasma treatment of polymeric textile materials are analyzed. Of the physical methods of modification, the most promising are plasma technologies that can reduce environmental pollution. Thermal plasma has extremely high temperatures and cannot be used to modify and treat the surface of PTM fibers. The choice of a certain type of cold plasma for the treatment of PTM depends on the speed of their processing, the sample size and the degree of the proposed modification. The influence of different types of plasma treatment of polymeric textile materials on the change of their structure and properties, as well as the causes and features of such changes are determined.

**Practical value.** The application of plasma technologies in the textile and light industry allows to replace the technological operations of processing polymeric textile materials that require high consumption of water and chemical reagents, for the processes of their dry processing. This reduces the consumption of chemical materials and reduces energy costs. Installation and maintenance of

*atmospheric pressure equipment is much simpler and cheaper than low pressure plasma equipment.*

**Keywords:** *physical modification; environmental friendliness; material properties; polymeric textile material; supramolecular structure; plasma technology; atmospheric plasma.*

**Вступ.** В текстильній та легкій промисловості України для виготовлення продукції широко використовуються капілярно-пористі текстильні матеріали з натуральних та хімічних волокон. Органічні натуральні текстильні волокна складаються з високомолекулярних сполук природнього походження, що обумовлює їх основні механічні та фізико-хімічні властивості. Органічні хімічні волокна є капілярно-пористими високомолекулярними матеріалами з високою молекулярною масою, атоми в яких пов'язані хімічними зв'язками. Високомолекулярні матеріали, які складаються з великого числа повторюваних ланок називають полімерами. Полімери складають надмолекулярну структуру усіх органічних текстильних волокон [1].

Для отримання якісно нових полімерних текстильних матеріалів з покращеними або заданими споживчими властивостями сьогодні успішно застосовують фізичні та хімічні методи їх модифікації.

Хімічна модифікація полягає у впливі на полімер ПТМ хімічних реагентів, що супроводжується зміною його хімічного складу і молекулярної маси. Також цей вид модифікації супроводжується введенням на стадії синтезу невеликої кількості речовини, які вступають з основним мономером ПТМ в сополімеризацію або сополіконденсацію. Тому ця модифікація допомагає розширити асортимент і сферу застосування існуючих ПТМ, що в багатьох випадках простіше і економніше, ніж синтез нових полімерів.

При фізичній модифікації змінюється надмолекулярна структура полімеру ПТМ, при цьому його хімічний склад і молекулярна будова не змінюються. При цій модифікації полімер ПТМ залишився тим же, але він має дещо інші властивості, що визначаються особливостями його надмолекулярної структури.

Фізичну модифікацію волокнуотворюючих полімерів ПТМ, в більшості, проводять за допомогою їх термообробки. Термічна обробка полімерів призводить до змін надмолекулярної структури низькотемпературних волокнистих з'єднань. При термічній обробці ПТМ істотно підвищується їх структурна однорідність і збільшуються пружно-міцнісні характеристики, тобто створюється можливість прогнозування та управління їх якістю.

Теплові обробки також можуть збільшувати

міцність і зменшувати гігроскопічність ПТМ або, навпаки, призводити до розпушення структури, зниження модуля деформації, зниження ступеня орієнтації і міцності волокон, але поряд із цим збільшується їх водопоглинання та капілярність.

З фізичних методів модифікації найбільш перспективними є плазмові технології, які дозволяють зменшувати екологічне забруднення навколишнього середовища. Для обробки ПТМ використовується низькотемпературна плазма, що створюється різними газовими розрядами: тліючим, коронним, високочастотним та ін. Використання плазмохімічних процесів в текстильній і легкої промисловості дозволяє замінювати технологічні операції, що вимагають великих витрат води, на процеси сухої обробки. При цьому зменшується витрата хімічних матеріалів, і скорочуються енергетичні витрати.

З цих методів більш перспективними є електрофізичні плазмові види обробки ПТМ. Тому застосування нових вискоелективних технологій плазмової обробки ПТМ є актуальним [1-5].

#### **Постановка завдання.**

Для обґрунтування дії різних видів обробки ПТМ потрібно визначитися з особливостями їх молекулярної та надмолекулярної структури.

Типовим полімером натуральних волокон рослинного походження є целюлоза. Макромолекули целюлози розташовані паралельно їх великій осі. Натуральні волокна тваринного походження складаються з білків. Полімерні утворення різних видів текстильних волокон поділяються на два основних типи: зі структурою відкритого типу, що поглинає велику кількість води та закритого типу – з обмеженою здатністю поглинати воду. Присутність у полімерах волокон великої кількості електровалентних зв'язків обумовлює утворення структури відкритого типу, ковалентних зв'язків – утворення структури закритого типу.

Для білків характерний процес денатурації: зміна основного типу конформації білкових молекул в результаті зміни міжмолекулярних сил під впливом середовища, що призводить до зміни хімічних, біологічних властивостей білка при збереженні сталості хімічного складу.

На будову і структуру полімеру, а також на її зміни при різних обробках виробництва важливе значення має взаємодія між

головними ланцюгами окремих залишків амінокислот. Така взаємодія між ними може здійснюватися різними способами:

- гідрофобними силами Ван-дер-Ваальса, енергія взаємодії 800-4800 кДж / кмоль;

- водневими зв'язками, безпосередньо між пептидними зв'язками головних ланцюгів. Якщо водневі зв'язки утворені між пептидними зв'язками всередині одного ланцюга, вони скріплюють спіральні конформації ланцюгів. Можливе виникнення водневих зв'язків між активними групами бічних ланцюгів і пептидними зв'язками сусідніх ланцюгів - це поперечні внутрішньо або міжмолекулярні, їх виникнення залежить від наявності в колагені залишку амінокислоти і бічних ланцюгів;

- електровалентними зв'язками між бічними ланцюгами при взаємодії негативно заряджених карбоксильних груп моноамінодікарбонових кислот з електропозитивними аміногрупами діаміномонокарбонових кислот і ковалентними, що утворюються за участю активних груп бічних ланцюгів.

На сьогодні чистота та екологічність навколишнього середовища стала однією з основних глобальних проблем. В останні десятиліття спостерігається введення суворого екологічного законодавства в багатьох країнах світу та в Україні. Поряд із цим вирішення екологічних проблем текстильної та легкої промисловості є досить непростим завданням. Багато видів обробки текстилю із застосуванням різних хімічних реагентів, а також фарбування, друк, прання та інші види оздоблення супроводжуються виділенням різних токсичних, небезпечних та різних сполук, які майже не піддаються біологічному розкладанню.

Враховуючи зазначене вище та особливості надмолекулярної структури ПТМ, а також для підтримання екологічності та охорони навколишнього природного середовища більш доцільно застосовувати фізичні методи модифікації ПТМ.

Одними з найбільш перспективних плазмових технологій є такі, які використовують для генерації плазми є газові розряди атмосферного тиску. Основою плазмохімічних процесів за атмосферного тиску у газовому розряді на поверхні ПТМ в основному є радикали, збуджені атоми та молекули полімерів. Суттєвою особливістю процесу плазмової модифікації ПТМ є те, що зміни відбуваються у дуже тонкому поверхневому шарі волокон, товщина якого становить кілька мікрон. Основна ж маса полімеру ПТМ не зазнає змін, зберігаючи таким чином його механічні, фізико-хімічні та електрофізичні властивості.

Поряд із цим потрібно зазначити,

що незважаючи на потенційні переваги плазмових технологій для текстильної та легкої промисловості, застосування їх в промислових масштабах обмежено. Це пояснюється як складністю адаптації плазмових технологій до традиційних технологічних процесів, так і особливостями будови і властивостей самих ПТМ. Такою особливістю ПТМ є їх об'ємна тривимірна структура. Тому для повноцінного застосування плазмової технології необхідно, щоб вплив плазми розповсюджувався на усю структуру ПТМ. Також ПТМ складаються з окремих волокон і мають велику питому поверхню, яка значно більша ніж у плівкових матеріалів [2-4].

Враховуючи зазначене вище перспективним способом обробки ПТМ, що дозволяє проводити їх обробку по усьому об'єму, є застосування плазми високочастотного ємнісного розряду зниженого тиску. Така обробка є сухою, екологічно чистою та безпечною. Аналіз особливостей цієї плазмової технології та її впливу на структуру і властивості ПТМ є важливою задачею.

#### **Результати дослідження.**

Для вирішення поставленої мети потрібен змістовний аналіз різних плазмових технологій, а також їх впливу на структуру та властивості ПТМ.

Відомо, що при електрофізичній модифікації зміни структури і фізико-механічних властивостей полімеру волокон ПТМ, були сформовані під впливом зовнішніх постійних фізичних полів. Орієнтація в макромолекулах буде відбуватися при формуванні наповненого полімеру під дією зовнішнього постійного магнітного та електричного полів. Але слід зазначити, ці процеси будуть залежати від ряду факторів: форми і розмірів частинок наповнювачів, напруженості зовнішнього постійного фізичного поля, в'язкості середовища тощо [3-8].

Від напрямку дії постійного фізичного поля залежить процес структуроутворення надмолекулярної структури полімерів волокон ПТМ. Фізико-механічні властивості полімерів проявляються більше за напрямком дії фізичного поля. В процесі структуроутворення полімерів між макромолекулами утворюються сітки хімічних і фізичних зв'язків, то є ймовірність більшого впливу фізичного поля на менш енергетичні міжмолекулярні зв'язки, які домінують при утворенні фізичної сітки. При збільшенні напруженості фізичного поля прояв всіх характеристик також буде збільшуватися. При дії постійних фізичних полів при зшиванні полімерної сітки ненаповненого полімеру зазнають зміни всі його властивості.

Сегменти ланцюгів макромолекул, які хаотично розташовані, локально переорієнтовуються у просторі у напрямку дії фізичного постійного поля. При цьому спостерігається більш щільне упакування макромолекул всередині ненаповненого полімеру. При цьому більший прояв такого переорієнтування сегментів пропорційно буде залежати від збільшення напруженості фізичного поля.

Плазму інколи називають «четвертим станом речовини», вона є електрично нейтральним іонізованим газом (густина електронів збалансована позитивними іонами) і містить значну кількість електрично заряджених частинок, які не пов'язані з атомами або молекулами. Такі вільні електричні заряди роблять плазму електропровідною, внутрішньо-інтерактивною та дуже чутливою до електромагнітних полів.

Для модифікації поверхні волокон ПТМ електричне поле надає прискорення електронам їх полімеру, які стикаються з іншими атомами або молекулами, утворюючи нові заряджені частинки, такі як іони або атоми, електрони та фотони. Залежно від умов та вимог до плазмової обробки ПТМ можна отримати чотири основні ефекти: очищення, мікропористості, утворення вільних радикалів та полімеризації в плазмі [3-7].

Очисний ефект в основному пов'язаний зі змінами текстури поверхні ПТМ, що призводить до підвищення поглинання барвника або оздоблювальних речовин. Підвищення мікропористості поверхні ПТМ може покращити адгезію оздоблювальних речовин, штампування та поведінку протиобробних оздоблювальних засобів. Утворення вільних радикалів може викликати вторинні реакції. До них можна віднести такі як зшивання, що може призводити до утворення гідрофобних або гідрофільних поверхонь ПТМ. Полімеризація плазми призводить до осадження на поверхні ПТМ твердого полімеру з заданими властивостями.

Розрізняють різні типи плазми, тому розробка їх універсальної класифікації є досить проблематичною. Поряд із цим найбільш простий і об'єктивний спосіб класифікації різних видів плазми полягає у поділі її різновидів на дві категорії: термічні (теплові) та нетермічні (нетеплові) [3-8].

Теплові плазми можна генерувати за допомогою декількох способів. До них можна віднести наступні: електричні розряди постійного та змінного струму (вільне горіння, імпульсні та перенесені дуги, плазмотрони, лампи), лазерні, радіочастотні та мікрохвильові розряди майже при атмосферному тиску. Теплова плазма має надзвичайно високі температури (до тисяч градусів Цельсія) і

характеризується умовою теплової рівноваги між усіма різними елементами, що містяться в газі. Таку теплову плазму можна спостерігати у зірок, блискавок, північного сяйва тощо. Поряд із цим жоден ПТМ не може уникнути руйнування при дії теплової плазми, тому такий її вид не може бути застосований для модифікації ПТМ.

До нетеплових видів плазми відносяться такі, у яких термодинамічна рівновага не досягається навіть у локальних масштабах між електронами та частинками більшої маси (нейтральні атоми чи молекули, іони та фрагменти нейтральних молекул). Температура електронів у цьому виді плазми набагато вища, ніж температура інших частинок. Електрони можуть досягати температури 104–1058 К (1–10 еВ), тоді як температура газу залишається близькою до кімнатної, тому такі нетеплові плазми також називаються холодною плазмою. Цей тип плазми підходить для модифікації та обробки поверхні ПТМ. Такі форми розряду в холодній плазмі мають велику перевагу при індукції значних поверхневих хімічних та морфологічних модифікаціях, чим покращуючи гідрофільність волокон ПТМ. Таким чином вони роблять ПТМ їх більш доступними до різних хімічних обробних операцій не змінюючи при цьому їх властивостей по усьому об'ємі.

Холодна плазма може бути поділена на два різновиди: плазму атмосферного тиску і плазму низького тиску (вакууму). Кожен із цих різновидів має свої переваги та недоліки [8-14]. Вибір певного різновиду холодної плазми для обробки ПТМ залежить від швидкості обробки, розміру ПТМ і ступеня передбачуваної модифікації.

Так вакуумна плазма (плазма низького тиску) часто використовується для досягнення різних ефектів шляхом травлення, полімеризації або утворення вільних радикалів на поверхні волокон ПТМ. Поряд із цим технологія вакуумної плазми потребує вартісних вакуумних систем. Ці фактори значно обмежують застосування вакуумної плазми в текстильній промисловості.

Для обробки ПТМ також використовується низькотемпературна плазма атмосферного тиску, яка утворюється різними газовими розрядами: тліючим, коронним, високочастотним та ін. Для ефективної обробки поверхні ПТМ час взаємодії атмосферної плазми з їх поверхнею може бути значно меншим, ніж при застосуванні плазми низького тиску.

Перехід від обробки ПТМ вакуумною плазмою до обробки їх газовим розрядом атмосферного тиску в більшості потребує використання більших енергетичних витрат і відповідного обладнання. Поряд із цим

в багатьох роботах [13-16] зазначено, що установка та обслуговування такого обладнання є значно простішою та дешевшою. Також застосування цього виду плазми, як зазначалося вище, дозволяє досягнути ефектів очищення, підвищеної мікропористості, стійкості фарбування до різних дій, покращення гідрофобних або гідрофільних властивостей та полімеризації в плазмі з осадженням на поверхні волокон твердого полімеру із заданими властивостями.

Аналіз останніх досліджень застосування плазми атмосферного тиску зазначив гарні результати стабільної та рівномірної модифікації поверхні волокон ПТМ. Атмосферні плазми є альтернативним та економічним способом обробки ПТМ у порівнянні з обробкою плазмою низького тиску та вологими хімічними речовинами. Це дозволяє зменшити вартість обладнання та отримувати тривалу та рівномірну обробку поверхні волокон ПТМ з надання їм нових заданих властивостей [14-17].

На сьогодні розрізняють чотири основних типи атмосферної плазми, які можуть бути використані для обробки ПТМ:

1. Коронний розряд або корона є найбільш відомою технологією атмосферної плазми, яка застосовується на модифікації полімерних поверхонь. Такий коронний розряд генерується при атмосферному тиску із застосуванням низької частоти і високої напруги (10-15 кВ) між двома електродами різної форми і розмірів. В залежності від збільшення відстані між електродами густина енергії розряду швидко знижується, що пояснюється дуже малим міжелектродним інтервалом (1 мм). Такий тип атмосферної плазми не можна застосовувати для отримання швидкої та рівномірної обробки товстих ПТМ (сукно, драп тощо). Обробка ПТМ коронним розрядом може збільшити площу поверхні волокон та їх шорсткість. Поряд із цим вона нерівномірно обробляє ПТМ, оскільки має більш слабку іонізацію будучи неоднорідною, і модифікує тільки поверхневі волокна ПТМ не проникаючи при цьому глибоко в його структуру.

2. Технологія діелектричного бар'єрного розряду у повітря (надалі - ДБР) є однією з найбільш ефективних типів нетермічної атмосферної плазми. Вона має значний інтерес для промислового застосування завдяки можливості застосування для дуже великих систем. У плазмі ДБР мінімум один з електродів покритий діелектричним шаром, який накопичує транспортований заряд на його поверхні. Цей діелектричний шар виконує функції обмеження кількості заряду, що транспортується одним мікророзрядом, а також розподіляє заряд по

всій площі електрода. Однак ДБР є неповністю однорідним і має коротку тривалість, що може перервати послідовність перетворень, які необхідні для отримання стійкої та рівномірної модифікації волокон ПТМ.

3. Світловий розряд генерується при більш нижчій напрузі та з більшою частотою порівняно з плазмою ДБР. Він має відносно велику тривалість, рівномірність та низьку середню густина потужності. При цій обробці значно зменшується нагрівання поверхні волокон ПТМ та їх пошкодження. Джерело радіочастоти може бути утворено між двома паралельними електродами, які розташовані на відстані декількох міліметрів. Для того щоб витримати постійний розряд світіння, електроди повинні бути струмопровідними. У простому варіанті розряд утворюється при застосуванні потенціалу від кількох до 100 кВ між електродами, які встановлені в камері, що містить інертний газ (гелій або аргон) при атмосферному тиску.

4. Плазмовий струмінь атмосферного тиску значно менш пошкоджує полімери волокон ПТМ, ніж плазмотрони, але він не ефективний при кімнатній температурі. Він має переваги перед ДБР, оскільки він може створювати рівномірну обробку, а також може бути нанесений на поверхню будь-якого фігурного предмета. Поряд із цим плазмовий струмінь атмосферного тиску можна наносити лише на один бік оброблюваного ПТМ, який знаходиться безпосередньо перед плазмовим струменем [13-18].

Плазми атмосферного тиску доцільно застосовувати в текстильних процесах, які працюють в режимі відкритого периметра, що дозволяє отримувати безперервну обробку ПТМ. Також така особливість цієї технології дозволяє достатньо оперативно та легко інтегрувати її в звичайні текстильні оздоблювальні лінії.

Завдяки технологічним вдосконаленням та науково-дослідним розробкам плазмова технологія вже застосовується в текстильній промисловості, а її використання в нових та вдосконалених методах для більш широкого застосування є перспективним. У текстильній промисловості вакуумна плазмова технологія почала використовуватися значно швидше, ніж плазмова технологія атмосферного тиску. Для цього існують певні причини:

- простіше виробляти великі обсяги плазми при зниженому тиску, ніж в одній атмосфері;
- легше контролювати концентрацію, склад та хімію процесу газової атмосфери в закритій системі під вакуумом;

- атмосферні плазми характеризуються більшим контактуванням та меншою фракційною іонізацією, ніж вакуумні розряди.

На сьогодні плазма низького тиску успішно

застосовується в текстильній промисловості. Так деякі компанії виробляють та продають газові плазмові системи низького тиску для активації поверхні в ПТМ для поліпшення їх змочування та адгезії, а також покращення гідрофобної та олеофобної обробки. Також застосовують методи хімічного осадження плазми низького тиску для виробництва надзвичайно міцного водонепроникного текстилю. Успішними є приклади плазмових технологій атмосферного тиску, що застосовуються до попереднього оброблення бавовняних матеріалів, з метою їх очищення та відбілювання.

На ринку уже існують плазмові технології атмосферного тиску, які можуть надавати нові властивості текстилю. До них можна віднести осаджені плазмою функціональні покриття на ПТМ для технічного застосування. Інноваційним є виробництво «двофункціональних» текстильних тканин, які мають масло- і водовідштовхувальні властивості зовні, при цьому зберігаючи свої первісні властивості та забезпечуючи комфорт зсередини.

З постійним зростанням витрат на сировину, енергію і воду, збільшуються переваги застосування атмосферної плазми у порівнянні з іншими видами обробки ПТМ.

### Список використаної літератури

1. Кричевський Г. Є Теория и практика подготовки текстильных материалов / Г. Є. Кричевський, В. А Микитка. - М.: Легпромбытиздат, 1989. - 208 с.
2. Мельников Б.М., Захарова Т.Д. Сучасні способи заключної обробки тканин з целюлозних волокон – М.: Легка індустрія, 1975. - 208 с.
3. R. Shishoo, Plasma technologies for textiles. - Woodhead Publishing, 2007. - 353 p
4. M. Gorjanc, M. Gorenssek, P. Jovancic, M. Mozetic, Multifunctional Textiles – Modification by Plasma, Dyeing and Nanoparticles. DMG, Eco-Friendly Textile Dyeing and Finishing. M InTech. 2013, doi: 10.5772/53376.
5. Садова С. Ф., Наумов О. В, Кечекьян А. С., Корольов В. А. Використання низькотемпературної плазми для вдосконалення малосмінаємой обробки лляних матеріалів. Текстильна промисловість, 1995. № 3, С. 24-27.
6. Виленский В. А. Постоянные магнитные и электрические поля как факторы влияния на фазовые процессы в гетерогенных полимерных системах // Фазовые процессы в гетерогенных полимерных системах. – К.: Наукова думка. – 2012. – 430 с.
7. P. Koulik, S. Begounov, and S. Goloviatinskii. Atmospheric plasma sterilization and deodorization of dielectric surfaces // Plasma Chemistry and Plasma Processing. -1999. -Vol.19, No.2. - pp. 311-326.

Атмосферні плазми мають головну перевагу в текстильному процесі, який працює в режимі відкритого периметра, що дозволяє безперервно, оперативно та досить легко інтегрувати цей вид обробки в звичайні текстильні оздоблювальні лінії [19-21].

**Висновки.** Проаналізовано та визначено, що для отримання якісно нових ПТМ з покращеними або заданими споживчими властивостями успішно застосовують фізичні методи їх модифікації. З фізичних методів модифікації найбільш перспективними є плазмові технології, які дозволяють зменшувати екологічне забруднення навколишнього середовища.

Зазначено, що вибір певного різновиду холодної плазми для обробки ПТМ залежить від швидкості їх обробки, розміру вибірки і ступеня передбачуваної модифікації. Установка та обслуговування устаткування плазми атмосферного тиску є значно простішою та дешевшою у порівнянні із устаткуванням плазми низького тиску (вакуумною). Плазми атмосферного тиску зменшують витрати на сировину, енергію і воду і можуть здійснювати безперервну обробку ПТМ, а також достатньо оперативно та легко інтегруватися в існуюче текстильне оздоблювальне устаткування.

### References

1. Krichevskiy G. E., Mikitka V. A. (1989). Teoriya i praktika podgotovki tekstil'nykh materialov [Theory and practice of preparing textile materials] Moskow, Legprombytizdat [in Russian].
2. Melnykov B. M., Zakharova T. D. (1975). Suchasni sposoby zakliuchnoi obrobky tkanyh z tseliuloznykh volokon [Modern methods of final processing of fabrics from cellulose fibers] Moskow, Lehka industriia [in Ukraine].
3. R. Shishoo, Plasma technologies for textiles. Woodhead Publishing, 2007. - 353 p
4. M. Gorjanc, M. Gorenssek, P. Jovancic, M. Mozetic, Multifunctional Textiles – Modification by Plasma, Dyeing and Nanoparticles. DMG, Eco-Friendly Textile Dyeing and Finishing. M InTech. 2013, doi: 10.5772/53376.
5. Sadova S. F., Naumov O. V, Kechejian A. S., Korolov V. A. (1995). Vykorystannia nyzkotemperaturnoi plazmy dlia vdoskonalennia malosminaemoi obrobky llianykh materialiv [The use of low-temperature plasma to improve low-change processing of linen materials.] Textile industry - Textile industry, No. 3, pp. 24-27 [in Ukraine].
6. Vilensky V. A. (2012). Postoyannye magnitnye i elektricheskie polya kak faktory vliyaniya na fazovye protsessy v geterogennykh polimemykh sistemakh [Constant magnetic and electric fields as factors of influence on phase processes in heterogeneous polymer systems]. Fazovye protsessy v geterogennykh polimemykh sistemakh - Phase processes in heterogeneous polymer systems. Kuiv: Naukova Dumka. [in Russian].
7. P. Koulik, S. Begounov, and S. Goloviatinskii. Atmospheric plasma sterilization and deodorization of dielectric surfaces // Plasma Chemistry and Plasma Processing. -1999. -Vol.19, No.2. - pp. 311-326.
8. Golovyatinsky S. A. (2004). Modifikatsiya poverkhnosti

8. Головятинский С. А.. Модификация поверхности полимеров импульсной плазмой атмосферного давления // Вісник Харківського університету. Серії фізична: Ядра, частинки, поля.– 2004. - №628. - Випуск 2(24). – С.80-86.
9. Головятинский С. А., Гуральник Н. А., Дубровский К. Э.. Преимущества применения метода ДПО в современной технологии производства СБИС, БИС и СПП. // Физические основы высоких технологий. Научные труды. - Т.3.- Черкассы: НПО Ротор. -1990. – С.3-10.
10. Бардадим Ю. В., Віленський В. О. Сучасні покриття, отриманні із залученням постійних фізичних полів // Міжнародна науково-практична конференція «Сучасні гідроізоляційні та покрівельні матеріали»: Тези доповідей. – Київ, 2014. – С. 35 – 36.
11. Охлопкова А. А., Адрианова О. А., Попов С. Н Модификация полимеров ультрадисперсными наполнителями. Якутск: Физд-ва СО РАН, 2003. – 224 с.
12. Решетняк Е. Н., Стрельницкий В. Е. Синтез упрочняющих наноструктурных покрытий / Вопросы атомной науки и техники. – 2008. – № 2. – С. 119 – 130.
13. Алентьев А. Ю., Яблокова М. Ю.. Связующие для полимерных композиционных материалов, Москва, 2010. – 69 с.
14. Полимерные композиционные материалы: структура, свойства, технология / Под ред. А. А. Берлина. – СПб: Профессия, 2009. – 250 с.
15. Липатов Ю. С. Межфазные явления в полимерах. – К.: Наукова Думка, 1980. – 260 с.
16. Демченко В. Л. Мікрогетерогенна структура та властивості композитів на основі епоксидного полімеру та одного з оксидів металів (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), сформованих у постійному магнітному полі / В. Л. Демченко, В. І. Унрод, С. П. Бененко // Вісник ЧДТУ. – 2010. – № 2. – С. 147 – 151.
17. Towards nanomedicines of the future: Remote magneto-mechanical actuation of nanomedicines by alternating magnetic fields / Yu. I. Golovin, S. L. Gribovsky, D. Y. Golovin [et all]. // Journal of Controlled Release. – 2015. – V. 219, № 10. – P. 43 – 60.
18. Бардадим Ю. В., Вплив магнітного та електричного полів на структуру і властивості епоксидних композитів : дис. ... канд.техн. наук б 05.17.06 / Бардадим Юлія Володимирівна. – Київ, 2005. – 155 с.
19. Zille A., Oliveira F., Souto A. Plasma Processes and Polymers. – 2015, Vol.2, Is.12. – P. 98-131.
20. Koulik P., Begounov S., and Goloviatinskii S. Atmospheric plasma sterilization and deodorization of dielectric surfaces // Plasma Chemistry and Plasma Processing. -1999. -Vol.19, No.2. - pp. 311-326.
21. Гильман А. Б. Плазмохимическая модификация поверхности полимерных материалов [Электронный ресурс]. URL: [http://www.isuct.ru/rus/nich/konfer/plasma/LECTIONS/Gilman\\_lection.html](http://www.isuct.ru/rus/nich/konfer/plasma/LECTIONS/Gilman_lection.html).
- polimerov impul'snoy plazmoy atmosfemogo davleniya [Modification of the surface of polymers by pulsed plasma of atmospheric pressure]. Visnyk Kharkivskoho universytetu. Serii fizychna: Yadra, chastynky, polia.– Bulletin of Kharkiv University. Series of physical: Kernels, partides, fields. No. 628. - Issue 2 (24). - S. 80-86 [in Russian].
9. Golovyatinskiy S. A, Guralnik N. A, Dubrovskiy K. E. (1990). Preimushchestva primeneniya metoda DPO v sovremennoy tekhnologii proizvodstva SBIS, BIS i SPP. [Advantages of using the DPO method in modern production technology of VLSI, LSI and SPP] Fizicheskie osnovy vysokikh tekhnologiy. Nauchnye trudy - Physical foundations of high technologies. Scientific works. Vol. 3.Cherkassy: NPO Rotor. P.3-10 [in Russian].
10. Bardadym Yu. V., Vilensky V. O. (2014). Suchasni pokryttia, otrymanni iz zaluchenniam postiinykh fizychnykh poliv [Modern coatings obtained with the involvement of constant physical fields]. Suchasni hidroizoliatsiini ta pokrivelni materialy: Mizhnarodna naukovo-praktychna konferentsiia - International scientific-practical conference .Kuiv, P. 35 - 36. [in Ukraine].
11. Okhlopkova A. A, Adrianova O. A, Popov S. N. (2003). Modifikatsiya polimerov ul'tradispersnyimi napolnityami [Modification of polymers by ultrafine fillers]. Yakutsk: Fizd-va SB RAS, [in Russian].
12. Reshetnyak E. N., Strelnitsky V. E. (2008). Sintez uprochnyayushchikh nanostrukturnykh pokrytyi [Synthesis of reinforcing nanostructured coatings]. Voprosy atomnoy nauki i tekhniki - Questions of atomic science and technology, № 2. P. 119 – 130 [in Russian].
13. Alent'ev A. Yu., Yablokova M. Yu.. (2010). Svyazuyushchie dlya polimernykh kompozitsionnykh materialov [Binders for polymer composite materials]. Moskva [in Russian].
14. Polimernye kompozitsionnye materialy: struktura, svoystva, tekhnologiya (2009) [Polymer composite materials: structure, properties, technology]. [Strategic management] A. A. Berlin. - SPb: Profession [in Russian].
15. Lipatov Yu. S. (1980). Mezhfaznye yavleniya v polimerakh [Interphase Phenomena in Polymers]. Kuiv: Naukova Dumka [in Russian].
16. Demchenko, V.L, Unrod, V. I., Benenko S. P. (2010). Mikroheterohenna struktura ta vlastyosti kompozytiv na osnovi epoksydnogo polimeru ta odnogo z oksydiv metaliv (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), sformovanykh u postiinomu mahnitnomu poli [Microheterogeneous structure and properties of composites based on epoxy polymer and one of metal oxides (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) formed in a constant magnetic field]. Visnyk ChDTU. - Bulletin of ChSTU. № 2. P. 147 – 151 [in Ukraine].
17. Towards nanomedicines of the future: Remote magneto-mechanical actuation of nanomedicines by alternating magnetic fields / Yu. I. Golovin, S. L. Gribovsky, D. Y. Golovin [et all]. // Journal of Controlled Release. – 2015. – V. 219, № 10. – P. 43 – 60.
18. Bardadym Y. V. (2005). Vplyv mahnitnoho ta elektrychnoho poliv na strukturu i vlastyosti epoksydnykh kompozytiv [Influence of magnetic and electric fields on the structure and properties of epoxy composites]. Candidate's thesis. Kuiv [in Ukraine].
19. Zille A., Oliveira F., Souto A. (2015). Plasma Processes and Polymers, 2,12, 98-131
20. P. Koulik, S. Begounov, and S. Goloviatinskii. (1999) Atmospheric plasma sterilization and deodorization of dielectric surfaces // Plasma Chemistry and Plasma Processing. 19, 2, 311-326
21. Gilman A. B. Plazmokhimicheskaya modifikatsiya poverkhnosti polimernykh materialov [Plasmochemical surface modification of polymeric materials]. Elektronnyy resurs - Electronic resource : URL: [http://www.isuct.ru/rus/nich/konfer/plasma/LECTIONS/Gilman\\_lection.html](http://www.isuct.ru/rus/nich/konfer/plasma/LECTIONS/Gilman_lection.html).