

**ГОРЯЩЕНКО СЕРГІЙ**

Хмельницький національний університет

ORCID ID: [0000-0001-6623-2523](https://orcid.org/0000-0001-6623-2523)e-mail: [horishchenko@khmnu.edu.ua](mailto:horishchenko@khmnu.edu.ua)**СИНЮК ОЛЕГ**

Хмельницький національний університет

<https://orcid.org/0000-0002-9615-0729>e-mail: [synyukom@khnu.km.ua](mailto:synyukom@khnu.km.ua)**ДРАПАК ГЕОРГІЙ**

Хмельницький національний університет

ORCID ID: [0000-0002-4908-0887](https://orcid.org/0000-0002-4908-0887)e-mail: [g\\_drapak@i.ua](mailto:g_drapak@i.ua)**ГОРЯЩЕНКО КОСТЯНТИН**

Хмельницький національний університет

ORCID ID: [0000-0002-7034-8702](https://orcid.org/0000-0002-7034-8702)e-mail: [kostyakst@ukr.net](mailto:kostyakst@ukr.net)**РОМАНЕЦЬ ТАРАС**

Хмельницький національний університет

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-0848-0825>e-mail: [romanetsta@khmnu.edu.ua](mailto:romanetsta@khmnu.edu.ua)

## АВТОМАТИЗАЦІЯ ПРОЦЕСУ НАНЕСЕННЯ ПОЛІМЕРНОГО ПОКРИТТЯ НА ДЕТАЛІ ЛЕГКОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

*Автоматизація процесу нанесення полімерних покриттів на деталі легкої промисловості пропонує численні переваги, починаючи від підвищеної точності та сталості до підвищеної ефективності та продуктивності. Застосовуючи автоматизацію, виробники можуть досягти найвищої якості покриття, зменшити витрати на оплату праці, підвищити безпеку та використовувати технології Industry 4.0. Оскільки виробничий ландшафт продовжує розвиватися, впровадження автоматизованих систем у легкій промисловості стає все більш важливим для збереження конкурентоспроможності та задоволення вимог сучасного ринку.*

*Ключові слова: Автоматизація, нанесення, полімерні покриття, деталі легкої промисловості*

HORIASHCHENKO SERHIY, SYNUYK OLEG, DRAPAK GEORHIY,  
HORIASHCHENKO KOSTYANTUN, ROMANETS TARAS

Khmelnytskyi National University

## AUTOMATING THE PROCESS OF APPLYING POLYMER COATING ON PARTS OF THE LIGHT INDUSTRY

*In today's rapidly evolving manufacturing landscape, automation has become a driving force behind increased productivity, efficiency, and quality. One area where automation is making significant strides is the application of polymer coatings on parts of the light industry. By automating this process, manufacturers can achieve consistent and precise coating application, reduce labor costs, and improve overall production output. In this article, we explore the benefits and advancements of automating the polymer coating application process in the light industry.*

*Automation in a small shop working with leather parts, several conditions and equipment considerations are essential was showed.*

*Automation line with Automated Spray Systems significantly enhances efficiency and productivity in coating applications. These systems can operate continuously, 24/7, minimizing downtime and maximizing throughput. With faster application speeds and reduced cycle times, manufacturers can achieve higher production volumes within the same time frame. The automated process also eliminates the need for manual labor-intensive tasks, allowing workers to focus on more skilled and value-added activities. Overall, the integration of Robotic Arms and Automated Spray Systems leads to streamlined processes and improved manufacturing output.*

*The automation of the process of applying polymer coatings on parts of the light industry offers numerous benefits ranging from increased precision and consistency to enhanced efficiency and productivity. By embracing automation, manufacturers can achieve superior coating quality, reduce labor costs, improve safety, and leverage Industry 4.0 technologies. As the manufacturing landscape continues to evolve, the adoption of automated systems in the light industry becomes increasingly crucial for staying competitive and meeting the demands of the modern market.*

*Keywords: Automation, application, polymer coatings, parts of light industry*

### Постановка проблеми

У сучасному виробничому середовищі, що швидко розвивається, автоматизація стала рушійною силою підвищення продуктивності, ефективності та якості. Однією з сфер, де автоматизація досягає значних успіхів, є нанесення полімерних покриттів на частини легкої промисловості. Автоматизуючи цей процес, виробники можуть досягти послідовного та точного нанесення покриття, зменшити витрати на оплату праці

та підвищити загальну продуктивність. У цій статті ми досліджуємо переваги та досягнення автоматизації процесу нанесення полімерного покриття в легкій промисловості.

Нанесення полімерного покриття на деталі в легкій промисловості вимагає точності, щоб забезпечити рівномірне покриття та постійну товщину. За допомогою роботизованих систем виробники можуть програмувати конкретні моделі покриття, контролювати параметри розпилення та регулювати такі змінні, як тиск, відстань і швидкість. Цей рівень контролю гарантує, що кожна деталь отримує однаково високоякісне покриття, що сприяє покращенню продуктивності продукту та задоволенню клієнтів.

#### Аналіз останніх джерел

Роботизовані системи нанесення покриттів використовують промислових роботів, оснащених передовою технологією розпилення для автоматизації нанесення полімерних покриттів. Ці системи пропонують точний контроль параметрів розпилення, таких як тиск, швидкість потоку та малюнок розпилення, забезпечуючи постійне та рівномірне покриття покриття. Популярним прикладом є серія роботів FANUC Paint Mate [1].

Автоматизоване обладнання для нанесення покриттів розпиленням включає конвеєрні системи, які транспортують деталі через контрольоване середовище нанесення покриття. Ці системи оснащені автоматизованими механізмами розпилення, як правило, з використанням безповітряного або електростатичного розпилення високого тиску. Приклади включають систему порошкового покриття Nordson Encore LT [2] та електростатичні пістолети Graco Pro Xp [3, 4].

Системи покриття з псевдозрідженим шаром включають занурення деталей у псевдозріджений шар полімерного порошку, який прилипає до поверхні. Автоматизовані системи контролюють процеси потоку порошку, попереднього нагрівання та затвердіння, забезпечуючи постійну та рівномірну товщину покриття. Прикладом є система киплячого шару WAGNER [5]

Машини для нанесення покриттів зануренням автоматизують занурення та вилучення деталей у резервуар із рідким полімерним покриттям. Ці машини контролюють швидкість занурення, час витримки та швидкість вилучення, що забезпечує рівномірну та контрольовану товщину покриття. Система покриття зануренням SCS PrecisionCoat [6] є широко використовуваним прикладом у галузі.

Лінії порошкового покриття — це комплексні автоматизовані системи, які об'єднують кілька етапів процесу покриття, включаючи підготовку деталей, нанесення порошку, затвердіння та охолодження. Ці лінії часто включають конвеєри, роботизовані руки та передові системи керування для оптимізації всього процесу нанесення покриття. Приклади включають лінію порошкового покриття Gema OptiFlex [7, 8] і систему Eisenmann Eco+Paint [9]

#### Виклад основного матеріалу

Загальні вказівки щодо факторів, які слід враховувати під час розробки алгоритмів або моделей для автоматизації процесу нанесення покриття з урахуванням досліджень, що були проведені у [10, 11, 12]:

1) Параметри покриття: визначте ключові параметри, які впливають на процес покриття, такі як тиск розпилення, відстань, швидкість потоку, температура та час затвердіння. Дослідіть і проаналізуйте взаємозв'язок між цими параметрами та бажаною якістю покриття.

2) Оптимізація процесу: розробіть алгоритми для оптимізації процесу нанесення покриття з урахуванням таких факторів, як бажана товщина покриття, геометрія поверхні та властивості матеріалу. Ці алгоритми можуть допомогти визначити оптимальну техніку розпилення, конфігурацію сопла та траєкторії руху робота.

3) Контроль за зворотним зв'язком: запровадьте механізми контролю за зворотним зв'язком для постійного моніторингу та коригування змінних процесу під час нанесення покриття. Це може передбачати включення датчиків для вимірювання таких параметрів, як товщина покриття, температура або в'язкість, і використання алгоритмів для підтримки оптимальних умов.

4) Моделювання та моделювання: використовуйте комп'ютерне моделювання та методи моделювання для прогнозування поведінки покриття та оптимізації параметрів процесу. Це може включати використання моделювання обчислювальної гідродинаміки (CFD), аналізу кінцевих елементів (FEA) або алгоритмів машинного навчання для прогнозування товщини покриття, покриття та характеристик висихання/твердіння.

5) Аналіз даних і машинне навчання: збирайте та аналізуйте дані процесу нанесення покриття, щоб виявити закономірності та кореляції між параметрами процесу та якістю покриття. Алгоритми машинного навчання можна використовувати для розробки прогнозних моделей, які оптимізують параметри покриття на основі історичних даних.

Конкретні алгоритми та моделі залежатимуть від методу покриття, обладнання та унікальних характеристик застосування.

Запропонований пристрій [13] для виконання способу містить такі конструктивні елементи: тканина 1, рулон 2, валок підтримуючий 3, валок притискний до підтримуючого 4, наносний привідний валок 5, притискний валок 6, сопла 7, роботизована система позиціонування сопел 8, патрубок подачі полімеру 9, компресор 10, патрубок повітряний 11, сушильний пристрій 12, згладжувальний валок 13, підтримуючий валок 14, рухомий валок 15, пружний елемент валка 16, рулон 17, 55 ємність для полімеру 18, патрубок відводу 19, бак з полімером 20.

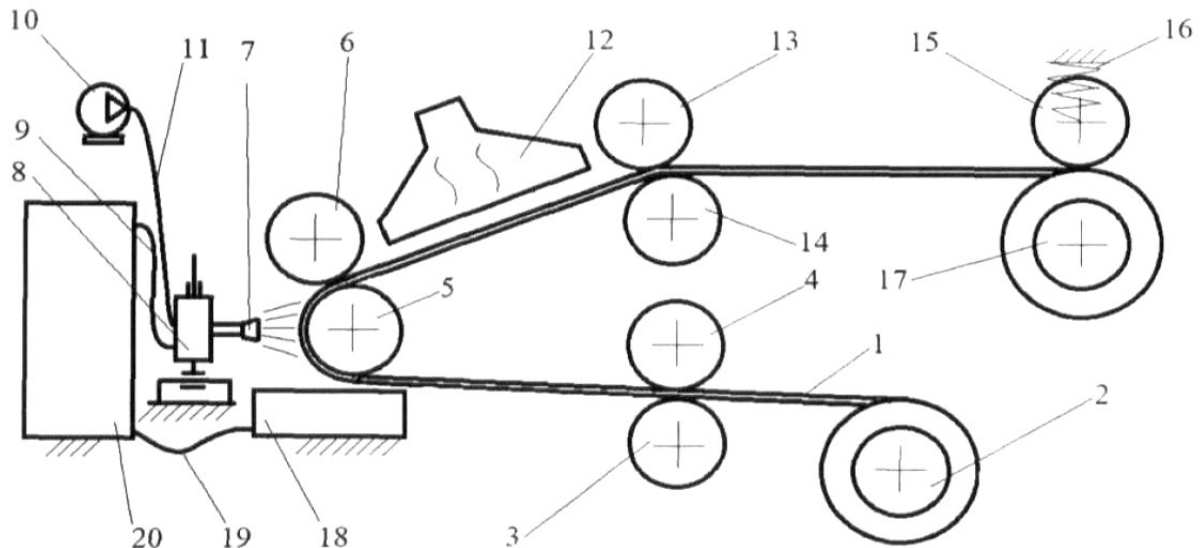


Рис. 1. Модель автоматизованої лінії нанесення полімерного покриття на рулонні матеріали

Спосіб полягає в наступному: тканина 1, яка намотана на рулон 2, подається через підтримуючий валок 3 та притискний валок 4 до зони нанесення полімеру. В зоні нанесення тканина 1 огинає наносний привідний валок 5 таким чином, що внутрішня сторона йде по валку, а зовнішня розтягується під час огинавання. Після проходження половини валка 5 тканина попадає під дію струменя полімеру, що розпилюється через сопла 7 горизонтально, та подається догори. Сам полімер розташовано у баку 20 і звідти подається через патрубок 9 до системи сопел, які можуть перенастроюватися відповідно до потреб та умов нанесення у роботизованій системі 8. Компресор 10 через повітряний патрубок нагнітає необхідний для нанесення тиск у сопла 7, які розташовані вздовж ширини тканини у лінію. Полімер, що наноситься розпиленням через сопла 5 7, повністю пориває ширину тканини. Решта, що вийшла за ширину тканини, падає та потрапляє у ємність 18. Після нанесення на виході з огинаючої частини валка 5 тканина вирівнюється і у дотичній точці її зовнішня поверхня ковзає під притискний валок 6. Під час цього полімер ще вдавлюється у структуру тканини, а решта відкидається вниз, де розташована ємність 18. Далі тканина рухається в зоні сушіння під сушильним пристроєм 12. Потім тканина 10 подається під згладжувальний валок 13, якій вирівнює зовнішню сторону, притискаючи тканину до підтримуючого валка 14, після чого тканина намотується на новий рулон 17, який має ще рухомий валок 15, що оснащений пружним елементом 16, завдяки якому тканина рівномірно розгладжується під час намотування. З ємності 18 рештки полімеру через патрубок відводу 19 подаються до бака 20 і можуть бути знову використані для нанесення. 15

Таким чином наноситься невеликий шар полімеру, рівномірність нанесення якого забезпечується групою валків та геометрією проходження наносного привідного валка. Товщина матеріалу при цьому не змінюється.

#### Умови автоматизації

Щоб провести автоматизацію в невеликому цеху, що працює зі шкіряними деталями, необхідно врахувати кілька умов і обладнання. Ключові фактори, які слід врахувати:

1) Стандартизовані процеси: автоматизація працює найкраще, коли є стандартизовані та повторювані процеси. Важливо встановити чіткі та послідовні робочі процеси для підготовки, покриття та фінішної обробки шкіряних деталей, щоб забезпечити плавну інтеграцію з автоматизованим обладнанням.

2) Відповідна конструкція та поводження з деталями: деталі мають бути розроблені таким чином, щоб їх було легко використовувати та автоматизувати. Враховуйте такі фактори, як розмір, форма, вага та гнучкість деталей. Плоскі або напівплоскі шкіряні деталі, як правило, більш сумісні з автоматизацією, ніж деталі складної або неправильної форми.

3) Відповідний робочий простір: оцініть доступний робочий простір у вашому магазині для розміщення автоматизованого обладнання. Визначте, чи достатньо місця для обладнання, конвеєрних систем (якщо застосовно) і будь-яких додаткових заходів безпеки або бар'єрів, які можуть знадобитися.

4) Обладнання для автоматизації: розгляньте конкретне обладнання, необхідне для автоматизації процесу нанесення покриття. Деякі ключові варіанти обладнання для невеликого магазину, що працює зі шкіряними деталями, можуть включати:

5) Роботизована рука або автоматизована система розпилення: Роботизовану руку з насадкою для розпилювача можна запрограмувати для точного нанесення полімерного покриття на шкіряні деталі. В якості альтернативи можна використовувати автоматизовану систему розпилення з контрольованими параметрами розпилення.

5) Конвеєрна система: залежно від робочого процесу та обсягу виробництва, конвеєрна система може допомогти в переміщенні деталей у процесі нанесення покриття. Він забезпечує безперервну обробку та може інтегруватися з іншим обладнанням автоматизації.

6) Обладнання для сушіння або затвердіння: після нанесення покриття може знадобитися обладнання для сушіння або затвердіння. Це може включати печі, інфрачервоні лампи або системи УФ-затвердіння, залежно від матеріалу покриття.

7) Інструменти контролю та інспекції якості: Впровадження заходів контролю якості має важливе значення. Розгляньте можливість використання інструментів перевірки, таких як датчики або камери, щоб забезпечити товщину покриття, покриття та загальну якість.

8) Заходи безпеки: Обладнання автоматизації має супроводжуватися відповідними заходами безпеки. Це може включати бар'єри безпеки, кнопки аварійної зупинки та протоколи безпеки для захисту операторів і запобігання нещасним випадкам.

9) Навчання та кваліфіковані оператори: Переконайтеся, що оператори належним чином навчені працювати та обслуговувати автоматизоване обладнання. Наявність кваліфікованого персоналу, який розуміє обладнання та процес нанесення покриття, має вирішальне значення для успішного впровадження.

### Висновки

Автоматизація нанесення полімерного покриття позбавляє від необхідності виконання трудомістких процесів вручну, зменшуючи трудовитрати та звільняючи людські ресурси для більш кваліфікованих завдань. Зводячи до мінімуму участь людини, виробники також можуть пом'якшити загрози безпеці, пов'язані з поводженням з хімікатами та роботою в потенційно небезпечних середовищах. Інтегруючи автоматизовані системи, виробники можуть значно скоротити час обробки, забезпечуючи швидші виробничі цикли та коротші терміни виконання. Автоматизовані системи можуть працювати безперервно, 24/7, мінімізуючи час простою та максимізуючи пропускну здатність. Ця підвищена ефективність перетворюється на вищий рівень продуктивності та покращення загальної продуктивності виробництва.

Автоматизовані системи оснащені функціями безпеки, такими як датчики та захисні бар'єри, що забезпечує більш безпечне робоче середовище для працівників. Трім того, це забезпечує невід'ємні переваги в контролі якості та відстежуваності. Інтегровані датчики та системи моніторингу можуть надавати дані в режимі реального часу про такі змінні, як температура, тиск і в'язкість, що дозволяє негайно коригувати та забезпечувати постійну якість покриття. Крім того, автоматизовані процеси полегшують збір і аналіз даних, дозволяючи виробникам відстежувати та відстежувати параметри покриття, виявляти потенційні проблеми та впроваджувати коригувальні дії. Цей рівень відстежуваності покращує заходи контролю якості та підтримує безперервне вдосконалення.

Автоматизація процесу нанесення полімерного покриття відповідає принципам Industry 4.0, що робить акцент на інтеграції передових технологій для оптимізації виробничих процесів. Їх можна легко інтегрувати з іншими інтелектуальними технологіями, такими як пристрої Інтернету речей (IoT), штучний інтелект (AI) і платформи аналізу даних. Ця інтеграція забезпечує моніторинг у реальному часі, прогнозне технічне обслуговування та інтелектуальну оптимізацію процесів, що ще більше підвищує ефективність і продуктивність.

### Література

- 1) FANUC Paint Mate robot series, Industrial robots for manufacturing [Електронний ресурс]. – 2023. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.fanucamerica.com/products/robots/paint-mate-series>
- 2) Industrial Coating Systems [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: [https://www.nordson.com/en/products?search#sort=relevancy&f:@applicationsz32xcf=\[Fluid%20Coating\]](https://www.nordson.com/en/products?search#sort=relevancy&f:@applicationsz32xcf=[Fluid%20Coating]).
- 3) Prevent substrate deterioration with spray-on chemical resistant coatings [Електронний ресурс]. – 2023. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.graco.com/us/en/in-plant-manufacturing/products/protective-coatings/chemical-resistant-coatings-sprayers.html>.
- 4) Protective coatings [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.graco.com/us/en/in-plant-manufacturing/products/protective-coatings.html>.
- 5) Application equipment for powder coating [Електронний ресурс]. – 2023. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.wagner-group.com/en/industry/products/powder-coating/applying/>
- 6) Graco Pro Xp electrostatic spray guns: Spray Tanks [Електронний ресурс]. – 2023. – Режим доступу до ресурсу: <https://scsequipment.com/project/spray-tanks/>
- 7) Reduce spray to waste after color change [Електронний ресурс]. – 2023. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.gemapowdercoating.com/en/solutions/reduce-powder-consumption>.
- 8) Robot application with Gema [Електронний ресурс]. – 2023. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.gemapowdercoating.com/fileadmin/documents/Brochures/English/Whitepaper-Gema-Robotcoating-EN.pdf>.
- 9) Conveyor systems. The inverted power & free system for ground-based conveying tasks of light loads in the coating process [Електронний ресурс]. – 2023. – Режим доступу до ресурсу: [https://www.eisenmann.com/wp-content/uploads/2021/07/Inverted-PowerFree-Bodenfoerderer\\_en.pdf](https://www.eisenmann.com/wp-content/uploads/2021/07/Inverted-PowerFree-Bodenfoerderer_en.pdf).

- 10 Horiashchenko S. Research Spray and Device for Polymer Coatings on Fabric/ *Mechanika 2015 Proceedings Of The 20th International Scientific Conference, Kaunas - 2015*, p.101-104
11. Simulation and Research of the Nozzle with an Ultrasonic Resonator for Spraying Polymeric Materials / S. Horiashchenko, I. Golinka, A. Bubulis, V. Jurenas // *Mechanika*. – 2018. – Vol. 24, No 1. – P. 61-64.
12. Musiał, J.; Horiashchenko, S.; Polasik, R.; Musiał, J.; Kałaczyński, T.; Matuszewski, M.; Śrutek, M. Abrasion Wear Resistance of Polymer Constructional Materials for Rapid Prototyping and Tool-Making Industry. *Polymers* 2020, 12, 873.
13. Патент України № 122945, Спосіб нанесення полімерних покриттів на рулонні матеріали/ Горященко С.Л., Карван С. А.// Опублік. 25.01.2018, бюл. № 2

#### References

- 1) FANUC Paint Mate robot series, Industrial robots for manufacturing [Електронний ресурс]. – 2023. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.fanucamerica.com/products/robots/paint-mate-series>
- 2) Industrial Coating Systems [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: [https://www.nordson.com/en/products?search#sort=relevancy&f:@applicationsz32xcf=\[Fluid%20Coating\]](https://www.nordson.com/en/products?search#sort=relevancy&f:@applicationsz32xcf=[Fluid%20Coating]).
- 3) Prevent substrate deterioration with spray-on chemical resistant coatings [Електронний ресурс]. – 2023. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.graco.com/us/en/in-plant-manufacturing/products/protective-coatings/chemical-resistant-coatings-sprayers.html>.
- 4) Protective coatings [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.graco.com/us/en/in-plant-manufacturing/products/protective-coatings.html>.
- 5) Application equipment for powder coating [Електронний ресурс]. – 2023. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.wagner-group.com/en/industry/products/powder-coating/applying/>
- 6) Graco Pro Xp electrostatic spray guns: Spray Tanks [Електронний ресурс]. – 2023. – Режим доступу до ресурсу: <https://scsequipment.com/project/spray-tanks/>
- 7) Reduce spray to waste after color change [Електронний ресурс]. – 2023. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.gemapowdercoating.com/en/solutions/reduce-powder-consumption>.
- 8) Robot application with Gema [Електронний ресурс]. – 2023. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.gemapowdercoating.com/fileadmin/documents/Brochures/English/Whitepaper-Gema-Robotcoating-EN.pdf>.
- 9) Conveyor systems. The inverted power & free system for ground-based conveying tasks of light loads in the coating process [Електронний ресурс]. – 2023. – Режим доступу до ресурсу: [https://www.eisenmann.com/wp-content/uploads/2021/07/Inverted-PowerFree-Bodenfoerderer\\_en.pdf](https://www.eisenmann.com/wp-content/uploads/2021/07/Inverted-PowerFree-Bodenfoerderer_en.pdf).
- 10 Horiashchenko S. Research Spray and Device for Polymer Coatings on Fabric/ *Mechanika 2015 Proceedings Of The 20th International Scientific Conference, Kaunas - 2015*, p.101-104
11. Simulation and Research of the Nozzle with an Ultrasonic Resonator for Spraying Polymeric Materials / S. Horiashchenko, I. Golinka, A. Bubulis, V. Jurenas // *Mechanika*. – 2018. – Vol. 24, No 1. – P. 61-64.
12. Musiał, J.; Horiashchenko, S.; Polasik, R.; Musiał, J.; Kałaczyński, T.; Matuszewski, M.; Śrutek, M. Abrasion Wear Resistance of Polymer Constructional Materials for Rapid Prototyping and Tool-Making Industry. *Polymers* 2020, 12, 873.
13. Patent Ukrainy № 122945, Sposib nanessenia polimernykh pokryttiv na rulonni materialy/ Horiashchenko S.L., Karvan S. A.// Опублік. 25.01.2018, биул. № 2