Бабута В. Є., бакалавр, Олейнікова І. В., доцент
Київський національний університет технологій та дизайну

ІННОВАЦІЙНІ НАНОТЕХНОЛОГІЇ В КОНОПЛЯНІЙ ПРОМИСЛОВОСТІ ДЛЯ ВІДНОВЛЕННЯ ДОВКІЛЯ: УКРАЇНСЬКА ПЕРСПЕКТИВА

Анотація. *У статті аналізується сучасний стан використання продуктів коноплярства в різних галузях промисловості та актуальність у контексті екологічних проблем, а також потенційна шкода та користь для довкілля. Автор пропонує розширення галузей використання продукції, аналізує можливість покращення властивостей конопляних волокон шляхом додавання наноматеріалів. Зроблений відбір окремих інноваційних наноматеріалів, використання яких не призведе до порушення циркулярної переробки конопляних матеріалів. В роботі обговорюються екологічні та економічні переваги вирощування та переробки конопель, які можуть сприяти скороченню викидів вуглекислого газу та відновленню економіки України після кризи.*

Ключові слова*: економічно свідомий дизайн, коноплярство, відновлення України, біорозкладні матеріали, наночастинки в волокнах.*

Babuta V. E., Oleinikova I. V.
Kyiv National University of Technologies and Design

INNOVATIVE NANOTECHNOLOGIES IN THE HEMP INDUSTRY FOR ENVIRONMENTAL RESTORATION: UKRAINIAN PERSPECTIVE

Abstract. *The article analyzes the current state of use of hemp products in various industries and their relevance in the context of environmental issues, as well as potential harm and benefits to the environment. The author suggests expanding the areas of product use and analyzes the possibility of improving the properties of hemp fibers by adding nanomaterials. The author has selected some innovative nanomaterials, the use of which will not disrupt the circular processing of hemp materials. The paper discusses the environmental and economic benefits of hemp cultivation and processing, which can contribute to the reduction of carbon dioxide emissions and the recovery of Ukraine's economy after the crisis.*

Keywords*: Eco-Conscious Design, hemp breeding, restoration of Ukraine, biodegradable materials, nanoparticles in fibers*

Вступ. Останні роки весь цивілізований світ розглядає розвиток всіх галузей виробництва через реалізацію цілей сталого розвитку. Переробка екологічно чистих матеріалів та їх використання в сфері створення сучасного дизайну простору є невід'ємною частиною цієї програми. Саме тому застосування ненаркотичної коноплі, як однієї з найбільш універсальних та екологічно чистих культур стає однією з першорядних задач. Сьогодні інтерес до конопляної продукції стрімко зростає через актуальність проблем, пов'язаних з використанням викопного палива, пластику та інших забруднювачів [2]. Використання конопель у промисловості варіюється від будівельних матеріалів і текстилю до біопластику та палива [3]. Але при створенні виробів з коноплі виникає низка проблем, пов'язаних з недосконалістю їх функціональних властивостей, які частково можна вирішити завдяки використанню інноваційних наноматеріалів. Цей сектор особливо важливий для України, яка потребує відбудови післявоєнної інфраструктури та відновлення економіки.

Постановка завдання. Додавання наноматеріалів до конопляного волокна та інших виробів коноплярства – це перспективний напрямок у матеріалознавстві, який дозволить підвищити механічні, термічні, антибактеріальні та інші функціональні характеристики матеріалів. З іншого боку, слід проаналізувати які саме наночастинки не

будуть порушувати екологічність продукції і не призведуть до збільшення забруднення середовища.

Результат дослідження. Дослідження продукції кластеру «Слобожанське коноплярство» продемонструвало, що конопляна галузь має великий потенціал у різних секторах, включаючи такі галузі, як будівництво, текстиль, виробництво біопластику, енергетику та медицину. Головна перевага таких підприємств полягає у створенні замкненого виробничого циклу [4]. Так, вирощування конопель допомагає зменшити викиди вуглецю та покращити якість ґрунту. Після збору зелена сировина обробляється на переробних підприємствах, з яких переходить до різних типів виробничих заводів та фабрик. Продукти з конопель, такі як конопляний бетон, міцні волокна та біопластик, є екологічно чистими і можуть біологічно розкладатися після використання. Отримані продукти розкладання можуть знову потрапляти в ґрунт і слугувати добривом для майбутніх агрокультур (рис. 1).

Джерело: побудовано OpenAI за даними авторів на підставі [4].

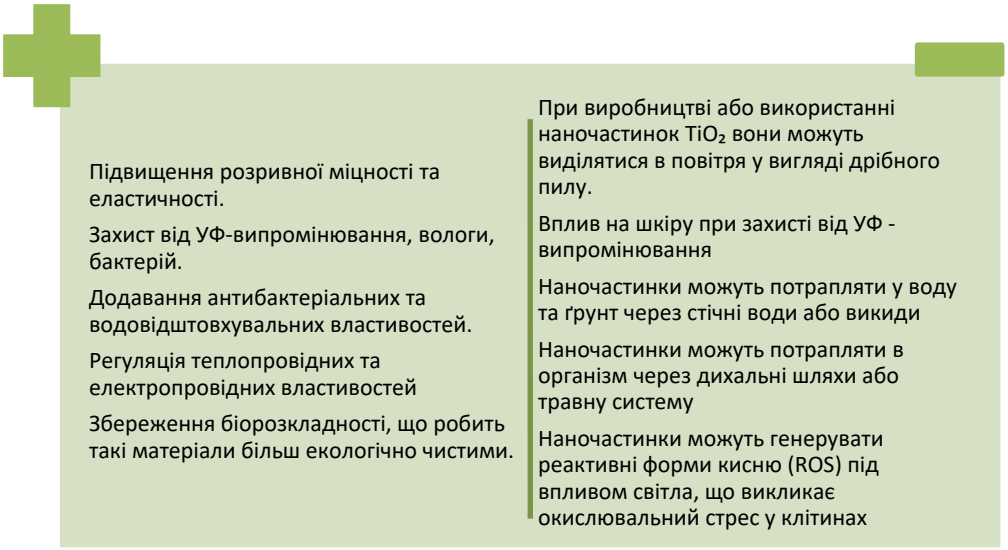
Рис. 1. **Схема замкненого циклу виробництва виробів з коноплі**

Для України ця галузь особливо важлива в контексті післявоєнної відбудови. Розвиток конопляної галузі може створити нові робочі місця, сприяти енергоефективному будівництву та зміцнити економічну незалежність країни за рахунок зменшення потреби в імпортних матеріалах. Однак для ефективного просування коноплярства на промисловому рівні необхідні чіткі правила та розробка відповідної законодавчої бази. Загалом, конопляна галузь має потенціал стати важливим рушієм сталого розвитку та покращення стану довкілля в Україні, сприяючи переходу до зеленої економіки та екологічно чистого суспільства [5].

Сучасні технології дозволили використовувати конопляну сировину в різних галузях промисловості. Так, у будівництві та архітектурі, завдяки своїм високим міцності та теплоізоляційним властивостям, коноплі стають чудовою альтернативою традиційним будівельним матеріалам. Коноплебетон (конопляний бетон) легкий, міцний і має чудові

властивості збереження тепла. Тому він корисний для енергоефективного будівництва і є актуальним для реконструкції житлових і промислових об'єктів в Україні. В даній роботі докладніше розглянуто використання конопляних волокон в сфері моди.

Конопляне волокно відоме своєю міцністю, стійкістю до стирання та природними антибактеріальними властивостями [6]. Воно може бути більш екологічною альтернативою традиційним бавовняним тканинам, які потребують великої кількості води та хімікатів під час вирощування [7] та високих трудових витрат при зборах агрокультури та переробці. Але, при цьому, є можливість покращити функціональні властивості матеріалів шляхом додавання наночастинок різного призначення [8]. Наночастинки діоксиду титану (TiO_2) при додаванні до текстильних виробів з коноплі підвищують стійкість до ультрафіолетового (УФ) випромінювання та надає самоочищувальні властивості завдяки фотокаталітичному ефекту. Підвищення гігієнічних властивостей матеріалу можна досягнути шляхом використання наночастинок срібла. Нанокремнезем (SiO_2) підвищує міцність та стійкість до стирання та знижує водопоглинання, що робить матеріал більш водовідштовхувальним. Переваги та недоліки використання зазначених матеріалів представлені в таблиці (рис. 2).



Джерело: побудовано авторами на підставі [8].

Рис. 2. **Переваги та недоліки використання окремих видів наночастинок в конопляному текстилі**

З усіх видів наноматеріалів, що використовують для покращення текстильних властивостей матеріалів, були обрані два: нанокристалічна целюлоза (NCC) та нанокласти (глини). Такий вибір був зумовлений тим, що лише додавання таких матеріалів не буде впливати на процес біорозкладності конопляних волокон, що забезпечить неперервність та екологічність циклу виробництва. Нанокристалічна целюлоза призводить до покращення механічної міцності ниток, покращення адгезії між волокнами та матрицею у композитних матеріалах та підвищує біорозкладність та екологічність. Такі волокна можуть використовуватися у будівництві або автомобільній промисловості. Використання нанокластів (спеціальних глин) призводить до підвищення вогнестійкості, покращення бар'єрних властивостей проти вологи та газів, що значно розширює границі використання таких матеріалів в екстремальних умовах. Нанокласти – це спеціальні наноматеріали, що складаються з глинистих мінералів, таких як монтморилоніт, каолініт або інші алюмосилікати. В своїй будові вони мають шарувату

структуру, при чому товщина кожного шару складає всього кілька нанометрів, а ширина сягає сотень нанометрів. У нанорозмірному стані ці частинки мають велику поверхневу площу і можуть взаємодіяти з іншими компонентами, підвищуючи механічні властивості та інші характеристики матеріалу. Процес додавання нанокластів до конопляного волокна складається з таких етапів: підготовка волокна, підготовка нанокластів, інтеграція нанокластів, термообробка та стабілізація.

На першому етапі конопляне нановолокно очищується для видалення зайвих домішок за допомогою механічних або хімічних процесів. Це має покращити адгезію волокон для взаємодії з наночастинками. В свою чергу, глина диспергується у водному або органічному розчиннику для утворення однорідної суспензії. Хімічна модифікація проводиться, щоб зробити глину сумісною з конопляними волокнами. Наприклад, проводиться іонний обмін для заміни іонів у структурі глини на органічні молекули, що полегшує інтеграцію нанокластів у полімерні матриці.

Підготовлені нанокласти вводяться у полімерний розчин або у матрицю, яку потім змішують з конопляним волокном. Існує кілька методів інтеграції. Це може бути просочування волокон у суміші з нанокластами. Інший метод - екструзія композитних ниток, де нанокласти змішуються з полімерною матрицею, що містить конопляні волокна. Електропрядіння дозволяє отримати нанокомпозити з рівномірним розподілом наночастинок у волокні. Після інтеграції нанокластів проводиться сушіння, термообробка або полімеризація, щоб наночастинки щільно зв’язалися з поверхнею волокон, завдяки чому підвищується їх міцність та зносостійкість. Для волокон важливою характеристикою є стійкість до деформацій і тому важливо збільшувати міцність конопляного волокна. Одяг, який створюється сьогодні, має характеризуватися не лише естетичним виглядом, а і високою функціональністю. Захист від вологи та зниження абсорбції води матеріалами є дуже важливою складовою будь якого текстильного виробу. Нанокласти збільшують і вогнестійкість матеріалів, що особливо важливо в умовах надзвичайних ситуацій, вони дозволяють запобігати займанню матеріалу, що робить його безпечнішим у використанні. Більш того деякі нанокласти можуть запобігати росту бактерій і грибків, що покращує антибактеріальні властивості виробів. Отже, додавання спеціальних наноматеріалів дозволить створити виробництво міцних і довговічних тканин для одягу та меблів.

Ще одним важливим аспектом використання конопляних матеріалів є створення біопластику. Біопластик з конопель може замінити звичайний пластик в пакуванні продуктів, одноразових столових приладах та інших предметах повсякденного вжитку завдяки своїй здатності біологічно розкладатися без шкоди для довкілля [6]. Нанокласти разом з коноплею можуть використовуватись для створення екологічно чистих пакувальних матеріалів. З конопель можна виробляти біомасу, яка є екологічно чистим джерелом енергії. Це може частково зменшити залежність від викопного палива та сприяти переходу на відновлювані джерела енергії [3].

Хоча конопля має значні переваги, її широке використання вимагає детального аналізу потенційних ризиків. Вирощування коноплі може вносити зміни в склад ґрунту, отже неправильне вирощування або надмірне вирощування конопель може його виснажити. Тому важливо дотримуватися сівозміни та контролювати посівні площі [4]. У деяких країнах, зокрема в Україні, коноплярство потребує чітко врегульованої законодавчої бази. Впровадження цієї культури на промисловому рівні може бути пов'язане з бюрократичними та соціальними труднощами.

В Україні конопляна галузь має великий потенціал для сприяння сталому розвитку під час реконструкції. Українська промисловість може виробляти біопластик, будівельні матеріали та текстиль з конопель, зменшуючи залежність від імпорту та

створюючи нові робочі місця. Це може стати рушійною силою для розвитку сільськогосподарського сектору в регіонах, які найбільше постраждали від конфлікту [6].

Україна має багаторічний досвід вирощування конопель і завдяки сучасним технологіям може відновити свої позиції одного з найбільших виробників конопляної продукції в Європі. З огляду на необхідність відновлення будівельної інфраструктури, конопляний бетон може стати важливим матеріалом для швидкого, екологічного та довговічного будівництва.

Висновок. Дослідження конопляної галузі показують, що вона має великий потенціал для підтримки сталого розвитку в Україні, особливо в контексті післявоєнної відбудови. Коноплі є відновлюваним ресурсом і можуть використовуватися в багатьох секторах, від будівництва до текстилю, від біопластику [9] до біомаси для виробництва енергії. Основною перевагою конопель є низький вплив на навколишнє середовище, особливо завдяки здатності поглинати вуглекислий газ під час росту, що сприяє зменшенню парникового ефекту та покращенню якості повітря. Додавання певного виду наночастинок дозволяє покращити функціональні властивості виробів з коноплі, зокрема волокон та текстилю [8]. Окрім екологічних переваг, конопляна галузь може сприяти створенню робочих місць та регіональному економічному зростанню, що особливо важливо в післявоєнній Україні. Інвестиції в цей сектор можуть розвивати інфраструктуру, покращувати умови життя та сприяти економічній незалежності країни. Конопляний бетон, текстиль та біопластик можуть стати основою зеленої економіки України та зменшити залежність від імпортованих ресурсів та екологічно шкідливих традиційних матеріалів.

Таким чином, галузь коноплярства може зробити значний внесок у відновлення української економіки, одночасно вирішуючи глобальні екологічні проблеми. Збалансований регуляторний підхід, підтримка інновацій та впровадження сталих практик можуть зробити коноплі стратегічним ресурсом для сталого розвитку України, що принесе екологічні, економічні та соціальні вигоди для країни та її населення в довгостроковій перспективі.

Список використаної літератури

1. Дурач В. М., Ніколайчук Л. Г. Проблеми та перспективи виробництва та застосування безнаркотичних конопель для текстильних матеріалів спеціального призначення в Україні. *Вісник Хмельницького національного університету*. 2020. № 5(289). С. 249–251. DOI: https://www.doi.org/10.31891/2307-5732-2020-289-5-249-252.

2. Naeem, M. Y., Corbo, F., Crupi, P., Clodoveo, M. L. (2023). Hemp: An Alternative Source for Various Industries and an Emerging Tool for Functional Food and Pharmaceutical Sectors. *Processes*, 11(3), 718. DOI: https://doi.org/10.3390/pr11030718.

3. Sieracka, D., Frankowski, J., Wacławek, S., Czekała, W. (2023). Hemp biomass as a raw material for sustainable development. *Applied Sciences*, 13(17), 9733.

4. Mariz, J., Guise, C., Silva, T. L., Rodrigues, L., Silva, C. J. (2024). Hemp: From Field to Fiber–A Review. *Textiles*, 4(2): 165–182. DOI: https://doi.org/10.3390/textiles4020011.

5. Shaik Anjimoon, Gowtham Raj R., Atul Singla, Irfan Khan, Surovi Paul, Dalael Saad Abdul-Zahra (2024). Eco-Conscious Design: Incorporating Biodegradable Materials in Modern Product Development. *E3S Web Conf.*, 505, 03003. DOI: https://doi.org/10.1051/e3sconf/202450503003.

6. Ravindra B. Malabadi, Kiran P. Kolkar, Raju K. Chalannavar (2023). Industrial Cannabis sativa: Role of hemp (fiber type) in textile industries. *World Journal of Biology Pharmacy and Health Sciences*, 16(02): 001–014. DOI: https://doi.org/10.30574/wjbphs.2023.16.2.0450.

7. Meffo Kemda, Marlyse et al. (2024). Environmental impact assessment of hemp cultivation and its seed-based food products. *Frontiers in Environmental Science*, 12, 1342330.

8. Dai, D., Fan, M., Collins, P. (2013). Fabrication of nanocelluloses from hemp fibers and their application for the reinforcement of hemp fibers. *Industrial Crops and Products*, 44: 192–199. DOI: 10.1016/j.indcrop.2012.11.010.

9. Modi Ali, Shahid Rehmatullah, Saeed Muhammad, Younas Tanzila (2018). Hemp is the Future of Plastics. *E3S Web of Conferences*, 51.