

КОНТРОЛЬ СУЧАСНИХ СТРАТЕГІЙ ПЕРЕРОБКИ БІОМЕДИЧНИХ ВІДХОДІВ ЗА ДОПОМОГОЮ БЛОКЧЕЙН ТЕХНОЛОГІЇ З МЕТОЮ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ

*Демчук Г. В., к.т.н., доц. (каф. ОППЦБ КПІ ім. Ігоря Сікорського);
Шемена Е. П., студ. (гр. БФ-01, ФБМІ КПІ ім. Ігоря Сікорського);
Гончаренко М. В., студ. (гр. БФ-01, ФБМІ КПІ ім. Ігоря Сікорського)*

Анотація. Згідно класифікації біомедичних відходів (БВ) був проведений порівняльний аналіз актуальних стратегій переробки, а також визначені переваги та недоліки кожного методу для збереження довкілля. В якості децентралізованої та прозорої системи для контролю належних етапів переробки та утилізації БВ була запропонована технологія “блокчейн”, яка має революційний потенціал в практиці управління відходами.

Ключові слова: біомедичні відходи, блокчейн технологія, екологічна безпека, поводження з відходами, методи утилізації, переробка.

Abstract. According to the classification of biomedical waste (BW), a comparative analysis of current recycling strategies was carried out, and the advantages and disadvantages of each method for environmental protection were identified. Blockchain technology was proposed as a decentralised and transparent system for controlling the proper stages of processing and disposal of BW, which has revolutionary potential in waste management practices.

Keywords: biomedical waste, blockchain, environmental safety, waste management, desposal techniques, recycling.

Вступ. Пандемія COVID-19 призвела до надмірного утворення БВ, що створило проблеми з їх управлінням та утилізацією [1]. Хоча COVID-19, безсумнівно, відіграв головну роль у збільшенні БВ, важливо визнати, що існують й інші вагомні чинники, які впливають на цю проблему.

Однією з основних причин утворення БВ є широке використання медичних приладів та обладнання в закладах охорони здоров'я. З розвитком технологій відбувається постійний приплив нових і вдосконалених медичних інструментів, що призводить до утилізації застарілого обладнання. Крім того, зростання поширеності хронічних захворювань і старіння населення призвело до збільшення попиту на медичні втручання та лікування.

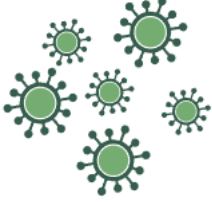




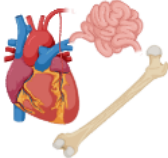

Іншим фактором є неналежне розділення потоків відходів у медичних закладах, що призводить до змішування загальних відходів з БВ. Відсутність належної сегрегації не тільки збільшує їх обсяг, але й перешкоджає ефективному управлінню та утилізації таких відходів [2]. Більше того, неналежна утилізація біомедичних відходів, така як відкрите спалювання, створює значні ризики для здоров'я населення та довкілля [3]. Тому вкрай важливо впроваджувати сучасні стратегії утилізації БВ для забезпечення екологічного балансу.

Аналіз стану питання. Біологічні відходи, такі як медичні відходи, лабораторні відходи та інші матеріали, забруднені потенційно небезпечними

мікроорганізмами, повинні бути належним чином утилізовані, щоб запобігти поширенню інфекцій та захистити навколишнє середовище [4]. В таблиці 1 зображена класифікація БВ, актуальні стратегії їх переробки та проаналізовані їх переваги та недоліки.

Таблиця 1

Класифікація біомедичних відходів

Тип біомедичних відходів	Стратегія переробки	Переваги	Недоліки
<p>Інфекційні</p> 	Автоклавування або стерилізація паром з подальшим захороненням на полігоні або спалюванням з контролем викидів.	Ефективна у знищенні патогенів; знижує ризик передачі захворювань	Потребує спеціалізованого обладнання; високе споживання енергії для спалювання.
<p>Гострі відходи</p> 	Механічна або хімічна дезінфекція з подальшою утилізацією певних гострих матеріалів.	Зменшує ризик поранень голками; сприяє вторинній переробці.	Обмежені можливості переробки певних гострих матеріалів.
<p>Фармацевтичні</p> 	Спалювання з контролем викидів, високотемпературна хімічна обробка або зворотна логістика для належної утилізації.	Запобігає неналежній утилізації ліків; мінімізує забруднення навколишнього середовища.	Потребує належних потужностей для утилізації; потенційні хімічні викиди під час спалювання.
<p>Хімічні</p> 	Хімічна нейтралізація або інкапсуляція з подальшою безпечною утилізацією відповідно до правил поводження з небезпечними відходами.	Зменшує хімічну небезпеку; захищає навколишнє середовище.	Потребує спеціальної підготовки та обладнання; високі початкові інвестиції для нейтралізації.
<p>Радіоактивні</p> 	Сегрегація та належне зберігання для захоронення у сховищах радіоактивних відходів.	Забезпечує безпечне поводження з радіоактивними матеріалами; запобігає забрудненню навколишнього середовища.	Вимагає суворого дотримання нормативних вимог; потрібні спеціалізовані сховища для захоронення.
<p>Анатомічні</p> 	Високотемпературне спалювання, лужний гідроліз або біологічна обробка для безпечної утилізації.	Зменшує ризики біологічної небезпеки; мінімізує вплив на навколишнє середовище.	Потребує спеціалізованого обладнання; обмежені можливості для переробки.
<p>Цитотоксичні</p> 	Спалювання з контролем викидів або хімічна обробка для дезактивації.	Запобігає впливу цитотоксичних агентів.	Необхідність спеціалізованої утилізації; потенційні викиди під час спалювання.

Мета роботи: провести порівняльну характеристику ефективності сучасних стратегій утилізації біомедичних відходів та розглянути систему блокчейн в якості їх контролю.

Методики, матеріали і результати досліджень.

Хоча у багатьох країнах переважаючим методом поводження з медичними/лікарняними відходами є спалювання, яке є найменш матеріально затратним, цей процес спричиняє високий рівень забруднення та викидів, які негативно впливають на якість повітря, а також створюють потенційні ризики для здоров'я людей та довкілля [4].

Проблема контролю за належною утилізацією БВ залишається актуальною, що спонукає залучати цифрові технології для повної автоматизації процесу. Сучасним потенційним рішенням є імплементація технології блокчейн, яка здатна забезпечити прозорість і простежуваність протягом усього процесу утилізації БВ. На рисунку 1 зображені перспективи та складнощі подальшого розвитку цієї технології у сфері контролю за переробкою та утилізацією відходів.

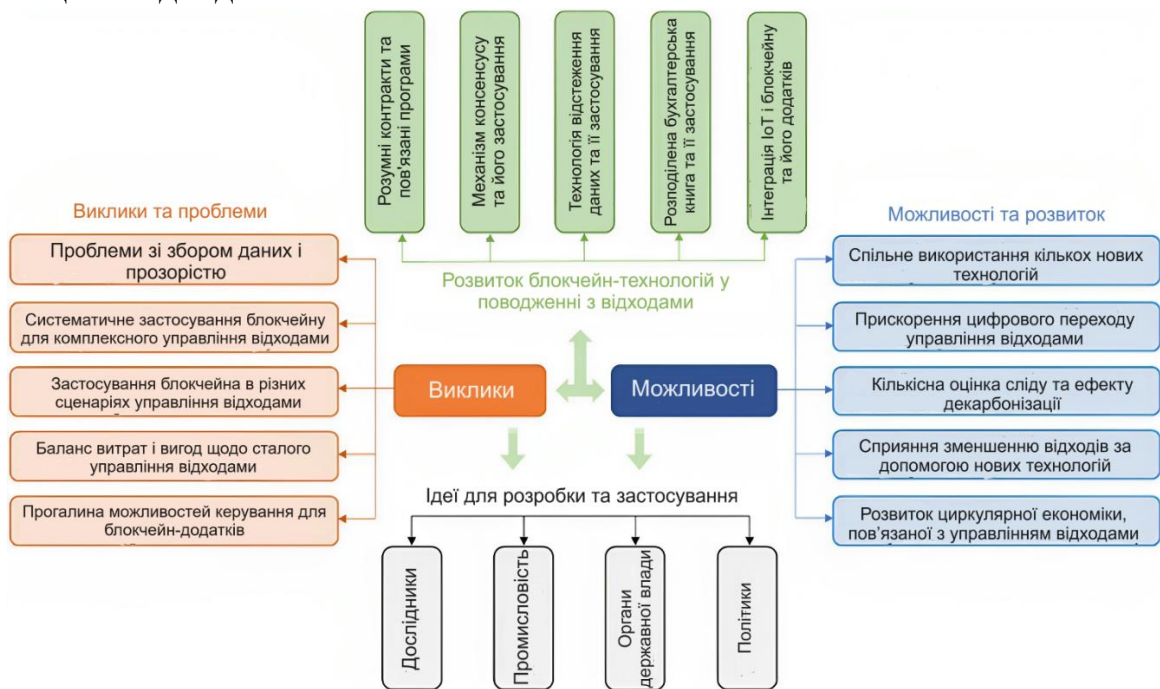


Рис. 1. Виклики та можливості застосування блокчейн технології до контролю переробки БВ відходів [5]

Завдяки впровадженню блокчейну кожен крок у ланцюжку управління відходами, від утворення до утилізації, може бути надійно зафіксований і перевірений, гарантуючи, що з відходами поводяться відповідно до нормативних актів і рекомендацій.

Таким чином всі технологічні дані системи управління відходами, що обробляються за допомогою технології блокчейн, є відкритими і прозорими, що може допомогти вирішити недоліки традиційних систем управління відходами. Блокчейн також може задовольнити потреби в записі/зберіганні даних про

управління відходами і може бути використана для розробки нових механізмів ефективного управління БВ.

Ця технологія не тільки знижує ризик незаконної або неналежної утилізації, але й підвищує підзвітність та сприяє екологічно відповідальній практиці поводження з БВ, що в кінцевому підсумку захищає здоров'я населення та навколишнє середовище. Хоча ця нова технологія ще не отримала широкого визнання серед потенційних користувачів, дослідники та практики продовжують вивчати її широке застосування для підтримки сталого управління відходами [5].

Висновки. В зв'язку з попитом на медичні послуги а також розвитком наукових досліджень та виробництва кількість БВ щороку дедалі більше зростає, що особливо продемонстрували пост ковідні роки, тому була розглянута класифікація БВ та актуальні способи їх утилізації. В ході аналізу була виявлена значна проблема стосовно контролю БВ. Не дивлячись на інтегрування сучасних біохімічних, хімічних, фізико-хімічних та ін. підходів для переробки та утилізації, кінцевою стадією для багатьох видів відходів залишається відкрите спалювання, через низьку економічну затратність та гарантоване знищення патогенних речовин. Не зважаючи на переконання виробників, які використовують контрольоване спалювання, дані про кількість перероблених та утилізованих відходів відсутні.

Таким чином було запропоновано впровадження централізованої системи блокчейн яка має на меті забезпечити прозорість та відкритість процесу в управлінні відходами. Інформація, яка зберігається в блокчейні, не може бути підроблена, через структурні особливості її алгоритмів, а кожен етап процесу поводження з відходами можна легко відстежити, що значно підвищить довіру до виробника та зменшить кількість екологічних проблем.

Література

1. Thirunavukkarasu, A., Alhazmi, A., Dar, U F., Alruwaili, A M., Alsharari, S D., Alazmi, F A., Alruwaili, S F., & Alarjan, A M. (2022, July 20). [Електронний ресурс] // Knowledge, attitude and practice towards bio-medical waste management among healthcare workers: a northern Saudi study. – Режим доступу до ресурсу: <https://peerj.com/articles/13773/>.

2. Muna I., Mesfin K., Bizatu M. Healthcare Waste Segregation Practice and Associated Factors among Healthcare Professionals Working in Public and Private Hospitals, Dire Dawa, Eastern Ethiopia [Електронний ресурс] // J Environ Public Health.. – 2023. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC9899136/>.

3. Nuripuah, J.G., Duwiejuah, A.B. & Bakobie, N. Awareness and health risk protection behaviours of scavengers in the Gbalahi landfill site, Ghana, in the era of sustainable development [Електронний ресурс] / Nuripuah, J.G., Duwiejuah, A.B. & Bakobie, N. // Discover Sustainability. – 2022. – Режим доступу до ресурсу: <https://link.springer.com/article/10.1007/s43621-021-00070-7>.

4. Attrah M., Elmanadely A., Akter D., R. Rene E. A Review on Medical Waste Management: Treatment, Recycling, and Disposal Options [Электронный ресурс] / Attrah M., Elmanadely A., Akter D., R. Rene E. // *Environments*. – 2022. – Режим доступа до ресурсу: <https://www.mdpi.com/2076-3298/9/11/146>.

5. Peng J., Lei Z., Siming Y., Yee Van Fan, Raymond R. Tan d, Jiří Jaromír Klemeš, Fengqi Y. Blockchain technology applications in waste management: Overview, challenges and opportunities [Электронный ресурс] // *Journal of Cleaner Production*. – 2023. – Режим доступа до ресурсу: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652623026240>.