

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»
МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»
МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

КОЧЕТОВ МИКИТА СЕРГІЙОВИЧ

УДК 504.06:628.477:663.93

ДИСЕРТАЦІЯ
РОЗРОБКА ТА ВПРОВАДЖЕННЯ ЕКОЛОГІЧНО БЕЗПЕЧНОЇ
ТЕХНОЛОГІЇ УТИЛІЗАЦІЇ ВІДХОДІВ ВИРОБНИЦТВА ТА
СПОЖИВАННЯ КАВИ

Спеціальність 101 – Екологія
Галузь знань 10 – Природничі науки

Подається на здобуття наукового ступеня доктора філософії

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело



М.С. Кочетов

Наукові керівники:
Тихомирова Тетяна Сергіївна
Кандидат технічних наук, доцент

Черкашина Ганна Миколаївна
Кандидат технічних наук, доцент

Харків – 2026

АНОТАЦІЯ

Кочетов М.С. Розробка та впровадження екологічно безпечної технології утилізації виробництва та споживання кави. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 101 «Екологія» (10 – Природничі науки) – Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», 2026.

Дисертаційну роботу виконано на кафедрі хімічної техніки та промислової екології Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут».

Об'єктом дослідження є процес екологічно безпечного управління та утилізації відходів кавової індустрії.

Предмет дослідження – екологічні, організаційні та фізико-хімічні засади технологій рециклінгу кавовмісних відходів.

Дисертаційне дослідження присвячене розв'язанню науково-практичної задачі зменшення екологічного навантаження відходів кавової індустрії шляхом розробки комплексної системи їх утилізації та вторинного використання.

У вступі обґрунтовано актуальність теми, визначено мету, завдання, об'єкт і предмет дослідження, наведено наукову новизну та практичне значення отриманих результатів. Показано, що проблема поводження з кавовими відходами не обмежується лише питанням утилізації органічної сировини, а пов'язана з ширшим комплексом екологічних, технологічних, економічних та соціальних чинників. До таких чинників належать глобалізація кавової торгівлі, просторовий розрив природних біогеохімічних циклів, концентрація органічних відходів у великих містах, зростання обсягів відходів пакування та недостатній рівень локальної інфраструктури для рециклінгу

У першому розділі проаналізовано світові тенденції та еколого-технологічні аспекти поводження з відходами кавової індустрії. Розглянуто

вплив глобалізаційних процесів на територіальний розподіл утворення кавових відходів, показано, що сучасна модель споживання кави супроводжується переміщенням органічної речовини з країн вирощування до країн споживання, де вона накопичується у вигляді відпрацьованої кавової гущі та супутніх відходів. Проаналізовано розвиток ринку кави в Україні, зокрема вплив імпорту зеленого зерна, поширення локального обсмажування та зростання кількості кав'ярень на формування децентралізованих потоків кавових відходів. Визначено основні екологічні ризики, пов'язані з накопиченням кавової гущі та кавової луски, серед яких анаеробне розкладання з утворенням парникових газів, формування фільтратів, локальне закислення ґрунтів, потенційна фітотоксичність, забруднення каналізаційних систем ліпідними компонентами та збільшення частки складноперероблюваного пакування. Систематизовано основні напрями вторинного використання відходів обсмаження та споживання кави, включаючи біологічні, механічні, хімічні та матеріальні способи валоризації.

У другому розділі описано матеріали та методи дослідження. Основними об'єктами стали відходи кавової індустрії (гуща, луска), мильні основи, ґрунтові субстрати, текстиль та біополімерні матриці, для яких наведено детальну фізико-хімічну характеристику. Застосовано комплекс стандартизованих та спеціальних методик для оцінки екологічних (фітотоксичність, здатність до біорозкладання), фізико-механічних і технологічних властивостей досліджуваних зразків. Достовірність результатів підтверджено методами математичної статистики.

У третьому розділі виконано еколого-технологічне обґрунтування напрямів утилізації відпрацьованої кавової гущі у комунальному та сільському господарстві. Встановлено, що головним обмеженням для її використання є висока вологість і швидкий розвиток плісняви, що зумовлює необхідність стабілізації сировини шляхом сушіння. Доведено доцільність застосування конвекційного методу в закладах харчування, зокрема із залученням залишкового тепла промислового пекарського обладнання. Досліджено

ефективність висушеної кавової гущі як природного абразивного наповнювача у мильних композиціях для видалення складних забруднень. Встановлено, що технологічні та очищувальні властивості таких засобів залежать від типу мильної основи, вмісту, дисперсності та рівномірності розподілу наповнювача в матриці.

Проаналізовано перспективи використання ВКГ як антислизького агенту для відкритих територій у зимовий період. Показано, що завдяки структурі частинок вона підвищує коефіцієнт тертя на засніжених і обмерзлих поверхнях. Водночас визначено експлуатаційні обмеження (ризик стійкого забарвлення текстилю через наявність олій та пігментів), що звужує сферу доцільного застосування агенту виключно до відкритих вуличних просторів.

У четвертому розділі досліджено перспективи використання відпрацьованої кавової гущі як екологічного наповнювача для біорозкладних полімерних композитів. Розглянуто технологічні передумови введення лігноцелюлозної органічної сировини у полімерні матриці, зокрема питання сумісності гідрофільної кавової гущі з полімерним середовищем, впливу розміру частинок, вологості та попередньої підготовки наповнювача на властивості композиту. Проаналізовано фізико-хімічні характеристики кавової гущі, що визначають її поведінку у складі полімерних матеріалів, а також вплив органічного наповнювача на технологічні, структурно-механічні та експлуатаційні властивості біорозкладних композицій. Показано, що використання кавової гущі у складі таких матеріалів може сприяти зменшенню частки первинної полімерної сировини, підвищенню ресурсної ефективності та формуванню нових напрямів матеріальної валоризації кавових відходів.

П'ятий розділ присвячено розробці та обґрунтуванню модель утилізації відходів виробництва та споживання кави в умовах циркулярної економіки. Показано, що для сфери HoReCa найбільш доцільним є поетапний підхід, за якого кав'ярні виступають первинними вузлами роздільного збирання, стабілізації та підготовки кавових відходів до подальшого використання. Запропонована модель передбачає окремий збір кавової гущі, її сушіння

різними методами, використання у складі мильних композицій, компостів, біополімерних матеріалів або як антислизького агенту, а також повторне використання джутових мішків з-під кави у соціальних, волонтерських, аграрних чи дизайнерських напрямках. Встановлено, що складні багат шарові пакувальні матеріали, зокрема окремі типи капсул та дріп-пакетів, можуть бути спрямовані на рециклінг лише за наявності налагодженої системи сортування; за її відсутності вони залишаються відходами, що підлягають видаленню або захороненню.

Наукова новизна отриманих результатів полягає у наступному:

- вперше розроблено схему локального екологічно безпечного управління відходам виробництва та споживання кави, яка відповідає ієрархії управління відходами та забезпечує мінімізацію екологічного навантаження на урбанізовані території;
- вперше розроблено енергозберігаючу технологію дегідратації відходів споживання кави з використанням вторинних теплових ресурсів, що дозволяє запобігти її неконтрольованому мікробіологічному розпаду та емісії парникових газів;
- вперше встановлено закономірності зміни фізико-механічних та водно-фізичних параметрів ґрунтів за умов довготривалого внесення кавовмісних відходів, що дозволило науково обґрунтувати межі їхнього екологічно безпечного використання як ґрунтових меліорантів;
- удосконалено наукові засади створення екологічно безпечних очищаючих засобів шляхом заміни синтетичних абразивів на відпрацьовану кавову гущу певного гранулометричного складу;
- набули подальшого розвитку науково-практичні засади екологічно безпечної утилізації відходів кавової індустрії шляхом їх використання у складі здатних до біорозкладання полімерних композицій.

Ключові слова: кавова гуща, відходи, поводження з відходами, сталий розвиток, сільськогосподарські відходи, зменшення відходів, енергія з

відходів, харчові відходи, циркулярна економіка, композити, ґрунт, компост, біодеградація, модифікація, переробка

ABSTRACT

Kochetov M. S. Development and implementation of an eco-friendly recycling technology for coffee production and consumption waste. – Qualifying scientific work as a manuscript.

Dissertation for the Doctor of Philosophy degree in specialty 101 "Ecology" (10 – Natural Sciences) – National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", 2026.

The dissertation research was carried out at the Chemical Engineering and Industrial Ecology Department, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute".

The research object encompasses environmentally safe management and utilization processes regarding coffee industry waste.

The research subject covers environmental, organizational, and physicochemical principles behind coffee-containing waste recycling technologies.

This dissertation aims to solve a scientific and practical problem: reducing environmental impacts caused by coffee industry waste through developing a comprehensive utilization and secondary use system.

The introduction substantiates the topic's relevance, defining the research goal, objectives, object, and subject, while outlining the scientific novelty and practical significance regarding the obtained results. It demonstrates that coffee waste management extends beyond mere organic raw material disposal, involving a broader set encompassing environmental, technological, economic, and social factors. These factors include coffee trade globalization, spatially disrupted natural biogeochemical cycles, and massive organic waste concentration within large cities. Furthermore, growing packaging waste volumes alongside insufficient local recycling infrastructure exacerbate this issue.

The first chapter analyzes global trends and eco-technological aspects regarding coffee industry waste management. The globalization impact on territorial coffee waste generation distribution is examined. The modern coffee consumption

model involves transferring organic matter from producing countries to consuming nations, where it accumulates as spent coffee grounds and associated waste. Ukrainian coffee market development is analyzed, specifically highlighting green bean import influences, local roasting expansion, and coffee shop proliferation on decentralized coffee waste streams. Primary environmental risks associated with spent coffee grounds and coffee silverskin accumulation are identified. These include anaerobic decomposition producing greenhouse gases, leachate formation, and local soil acidification. Additional risks involve potential phytotoxicity, sewer system contamination by lipid components, and an increasing share regarding hard-to-recycle packaging. Main avenues for secondary coffee roasting and consumption waste utilization are systematized, encompassing biological, mechanical, chemical, and material valorization methods.

The second chapter describes the research materials and methods. Primary objects include coffee industry waste (spent coffee grounds, coffee silver skin), soap bases, soil substrates, textiles, and biopolymer matrices. A detailed physicochemical characterization is provided for these materials. A standardized and specialized technique set was applied to evaluate environmental (phytotoxicity, biodegradability), physical-mechanical, and technological properties characterizing the studied samples. Result reliability is confirmed using mathematical statistics methods.

The third chapter provides an eco-technological rationale for utilizing spent coffee grounds within municipal and agricultural sectors. High moisture content and rapid mold development act as main limitations against its utilization, necessitating raw material stabilization through drying. Applying convective methods in food service establishments proves feasible, particularly by recovering residual heat from industrial baking equipment. Dried spent coffee ground effectiveness as a natural abrasive filler in soap compositions designed to remove stubborn stains is investigated. Technological and cleansing properties characterizing these products depend on soap base types, alongside filler content, dispersion, and uniform matrix distribution.

Prospects regarding spent coffee ground application as an outdoor anti-slip agent during winter are analyzed. Thanks to their particle structure, they increase friction coefficients on snow-covered and icy surfaces. Simultaneously, operational limitations are identified (persistent textile staining risks due to oils and pigments), restricting appropriate agent application exclusively to open street spaces.

The fourth chapter explores prospects for utilizing spent coffee grounds as eco-friendly fillers inside biodegradable polymer composites. Technological prerequisites for introducing lignocellulosic organic raw materials into polymer matrices are examined. Specifically, compatibility between hydrophilic spent coffee grounds and polymer environments is addressed, alongside particle size, moisture, and preliminary filler preparation influences on composite properties. Physicochemical characteristics dictating spent coffee ground behavior within polymer materials are analyzed. Furthermore, organic filler impacts on technological, structural-mechanical, and operational properties regarding biodegradable compositions are evaluated. Using spent coffee grounds inside such materials can reduce virgin polymer raw material shares. This approach enhances resource efficiency and establishes new avenues for material coffee waste valorization.

The fifth chapter develops and substantiates a utilization model covering coffee production and consumption waste within a circular economy framework. For the HoReCa sector, a phased approach is most appropriate, where coffee shops act as primary nodes facilitating separate collection, stabilization, and coffee waste preparation for subsequent use. The proposed model involves separate spent coffee ground collection and subsequent drying using various methods. These grounds are then used inside soap compositions, composts, biopolymer materials, or as an anti-slip agent. Additionally, jute coffee bags are reused for social, volunteer, agricultural, or design purposes. Complex multilayer packaging materials, such as specific capsule types and drip bags, can only be recycled if a well-established sorting system exists. Without it, they remain waste destined for disposal or landfilling.

The scientific novelty characterizing the obtained results is as follows:

- for the first time, a local environmentally safe management scheme covering coffee production and consumption waste has been developed; this scheme complies with waste management hierarchies and ensures minimized environmental impacts on urbanized areas;
- for the first time, an energy-saving dehydration technology targeting coffee consumption waste using secondary heat resources has been developed, preventing its uncontrolled microbiological decomposition and greenhouse gas emissions;
- for the first time, patterns characterizing changes within soil physical-mechanical and hydro-physical parameters under long-term coffee-containing waste application have been established; this allowed scientific substantiation regarding limits for their environmentally safe use as soil ameliorants;
- scientific principles underlying environmentally safe cleaning agent creation have been improved by replacing synthetic abrasives with spent coffee grounds having a specific granulometric composition;
- scientific and practical principles concerning environmentally safe coffee industry waste utilization have been further developed through their incorporation into biodegradable polymer compositions.

Keywords: Spent coffee grounds, waste, waste management, sustainable development, agricultural waste, waste reduction, waste to energy, food waste, circular economy, composites, soil, compost, biodegradation, modification, recycling.

СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА

Наукові праці, які відображають основні наукові результати дисертації.

1. Лебедев В. В., Мірошниченко Д. В., Тихомирова Т. С., Савченко Д. О., Мазченко М. В., Мисяк В. Р., Кочетов М. С., Соловей Л. В. Дослідження гібридних екологічно безпечних біодеградабельних композитів на основі полілактиду, кавової гущі та гумінових речовин. *Інтегровані технології та енергозбереження*. 2022. № 4. С. 46–54. <https://doi.org/http://doi.org/10.20998/2078-5364.2022.4.05>

2. Тихомирова Т. С., Шестопапов О. В., Разно М. Р., Кочетов М. С. Дослідження впливу складу компосту на його здатність покращувати якість ґрунтів. *Аграрні інновації*. 2024. № 25. С. 72–78. <https://doi.org/10.32848/agrар.innov.2024.25.12>

3. Тихомирова Т. С., Кочетов М. С. Дослідження впливу відходів обсмаження та споживання кави на якість ґрунтів. *Аграрні інновації*. 2025. № 29. С. 155–161. <https://doi.org/10.32848/agrар.innov.2025.29.25>

4. Кочетов М. С., Тихомирова Т. С. Використання кавової гущі у складі очищаючих засобів як елемент сталого управління відходами. *Інтегровані технології та енергозбереження*. 2025. № 3. С. 132–141. <https://doi.org/10.20998/2078-5364.2025.3.12>

5. Шестопапов О.В., Цейтлін М.А, Крючкова В.В., Кочетов М.С. Дослідження можливості вторинного використання мішків для транспортування кави в системі циркулярної економіки. *Екологічні науки*. № 5 (62), ч. 2. С. 122-128. <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2025.eco.5-62.2.20>

6. Кочетов М.С., Черкашина Г.М. Дослідження екологічно безпечних біополімерних композитів на основі термопластичного біопластику та відпрацьованої кавової гущі. *Інтегровані технології та енергозбереження*. 2025. № 4. С. 125-134. <https://doi.org/10.20998/2078-5364.2025.4.11>

Опубліковані праці апробаційного характеру

7. Кочетов М. С., Тихомирова Т. С. Пріоритетні напрямки використання залишків виробництва та споживання кави. *Євроінтеграція екологічної політики України* : матеріали четвертої Всеукр. наук.-практ. конф., м. Одеса, 25 жовтня 2022 р. Одеса : ОДЕУ, 2022. С. 110.

8. Кочетов М. С., Тихомирова Т. С. Перспективи використання відходів споживання кави в якості антислизького агенту. *Теоретичні та практичні дослідження молодих вчених* : зб. тез доп. 16-ї Міжнар. наук.-практ. конф. магістрантів та аспірантів, м. Харків, 14–16 грудня 2022 р. Харків : НТУ «ХП», 2022. С. 339.

9. Кочетов М. С., Сахнюк Д. М. Використання залишків пакування кави для виготовлення маскувального одягу як елемент сталого розвитку України під час війни. *Екологічна безпека держави* : тези доп. 17-ї Всеукр. наук.-практ. конф., м. Київ, 20 квітня 2023 р. Київ : НАУ, 2023. С. 12–13.

10. Кочетов М. С. Вплив пересувних кав'ярень на урбоекосистему. *Екологічно сталий розвиток урбосистем: виклики та рішення в контексті євроінтеграції України* : матеріали Всеукр. наук.-практ. інтернет-конф., до дня пам'яті Ф. В. Стольберга, Харків, 02–03 листопада 2023 р. Харків, 2023. С. 37–38.

11. Кочетов М. С., Васильєв М. І. Використання залишків споживання кави в сільському господарстві. *Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я* : тези доп. 31-ї Міжнар. наук.-практ. конф. MicroCAD-2023, м. Харків, 17–20 травня 2023 р. Харків : НТУ «ХП», 2023. С. 353.

12. Кочетов М. С., Тихомирова Т. С. Дослідження впливу відходів споживання кави на рівень рН ґрунтів. *Проблеми надзвичайних ситуацій* : матеріали Міжнар. наук.-практ. конф., 16 травня 2024 р. Харків : НУЦЗУ, 2024. С. 306–307.

13. Кочетов М. С., Разно М. Р. Дослідження впливу складу компосту на родючість ґрунтів. *Інформаційні технології: наука, техніка, технологія,*

освіта, здоров'я : тези доп. 32-ї міжнар. наук.-практ. конф. MicroCAD–2024, 22–25 травня 2024 р. Харків : НТУ «ХПІ», 2024. С. 362.

14. Кочетов М. С., Косенкова І. Д. Довгостроковий вплив кавової гущі на властивості ґрунтів. *Консолідація заради майбутнього: наукові здобутки вчених задля перемоги та післявоєнної відбудови України* : зб. тез Міжнар. наук.-практ. конф. молодих вчених та спеціалістів, 29 серпня 2024 р. Полтава, 2024. С. 14–16.

15. Кочетов М. С. Використання відходів споживання кави для отримання біопалива: перспектив для України. *Теоретичні та практичні дослідження молодих вчених* : зб. тез доп. 18-ї Міжнар. наук.-практ. конф. магістрантів та аспірантів, 19–22 листопада 2024 р. Харків : НТУ «ХПІ», 2024. С. 662–663.

16. Адашевський О. В., Кочетов М. С. Дослідження потенціалу використання харчових відходів в якості компонентів палива. *Проблеми надзвичайних ситуацій* : матеріали Міжнар. наук.-практ. конф., 14 травня 2025 р. Харків : НУЦЗУ, 2025. С. 338–339.

17. Кочетов М. С., Бутко В. С. Стале управління відходами пакування зеленого кавового зерна. *Актуальні питання біотехнології, екології та природокористування* : матеріали Міжнар. наук. конф., 14–15 травня 2025 р. Харків, 2025. С. 218–219.

18. Кочетов М. С., Пітак Р. О. Дослідження процесів розвитку плісневих грибів на відходах споживання кави. *Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я* : тези доп. 33-ї міжнар. наук.-практ. конф. MicroCAD-2025, 14–17 травня 2025 р. Харків: НТУ «ХПІ», 2025. С. 438.

19. Tykhomyrova T., Kochetov M., Pavlenko R. Kariev A., Kopylov S., Vitalii Lavryk V., Masikevych Yu. Environmentally Safety Biodegradable Composites Based On Renewable Biopolymer Materials And Coffee Grounds: Mechanical and Dielectric Properties. *2025 IEEE 6th KhPI Week on Advanced Technology (KhPIWeek)*. 2025. P.1-4.

20. Крючкова В.В., Кочетов М.С. , Тихомирова Т.С., Шестопапов О.В. Мішквина як відновлюваний ресурс у системі циркулярної економіки: екологічний та технологічний потенціал. *XIX Міжнародна науково-практична конференція магістрантів та аспірантів «Теоретичні та практичні дослідження молодих вчених»*, 19–21 листопада 2025 року: матеріали конференції. Харків, 2025. С. 678 -679.