

ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА ТА ОСНОВИ ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ ENVIRONMENTAL SAFETY AND NATURAL RESOURCES

УДК 662.818

Ihor Petrushka, D. S. (Engineering), Professor

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-3344-4196> **e-mail:** ihor.m.petrushka@lpnu.ua

Volodymyr Mokryy, D. S. (Engineering), Professor

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-5814-5160> **e-mail:** volodymyr.i.mokryy@lpnu.ua

Bohdan Dmytriv, (Master's degree), Graduate student

e-mail: bohdan.dmytriv1996@gmail.com

Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine

ANALYSIS OF TECHNOLOGIES OF DISPOSAL AND USE FIBROUS PAPER SKOPJE

Abstract. *The article examines the current state and trends in the development of waste management technologies in the pulp and paper industry, with the aim of analyzing the reasons that hinder, and sometimes make impossible, the effective utilization of fibrous waste paper to obtain environmentally safe materials and raw products. The production of paper products is one of the most capital-intensive and energy-intensive industries, second only to the metallurgical and chemical industries, with a correspondingly large amount of waste and a negative impact on the environment. The technological processes of scum formation as a result of waste paper recycling and paper production wastewater treatment are considered and analyzed. Skopje is the final waste of the pulp and paper industry, which is formed at various stages of the paper and cardboard manufacturing process, therefore it is deposited in landfills. Multiton volumes of skopje require significant areas for its storage. Despite the low IV hazard class, this leads to serious environmental problems, as the leachate from the skopje landfill pollutes surface and ground water. Technologies of possible disposal and reuse of skopje, known in domestic and foreign literature, are described and analyzed. The technology of reusing scoop is determined by its relatively environmentally safe physicochemical composition. The indicated fibrous, mineral, extractive constituents and lignin determine the possibility of reusing skopje, mainly for the construction industry. The perspective of the complex use of multi-tonnage waste – slag, sludge, ash and slag of thermal power plants as plasticizers, fillers, binders and binding components in the production of building structural and heat-insulating materials is named. Technologies for using scapula as a filler in the production of building materials require a high content of inorganic compounds and a minimum amount of organic compounds. A high content of fibrous particles and a low content of mineral substances is necessary when using scapula in the production of composite wood composite materials. The specified technological limitations ensure only small amounts of skopje use in the production of building materials. The effectiveness of*

using skopje as an additive to the asphalt mixture for road construction and production of fuel materials is determined by the economic costs of transportation and dewatering. It is noted that the high humidity, ash content and low calorific value of scum are the main reason for the lack of effective technologies for its utilization. The solution to the problem is the use of low-energy technologies through the direct use of osprey as a component of the soil mixture for biological reclamation of man-made landscapes. The article substantiates an environmentally safe and socially favourable option for using a soil substrate based on osprey. It is emphasised that the humidity and organic viscosity of the plant origin of osprey form the agrotechnical properties of soil substrates of prolonged action, which ensure optimal technological efficiency of phytomelioration of degraded lands. The reclaimed areas will reduce greenhouse gas emissions from the soil, prevent wind and water erosion, and ensure the environmental safety of natural and man-made ecosystems.

Keywords: pulp and paper industry, waste, paper skopje, disposal technologies, reuse, environmental safety, reclamation.

І.М. Петрушка, В.І. Мокрий, Б.А. Дмитрів

Національний університет «Львівська політехніка», м. Львів, Україна

АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЙ УТИЛІЗАЦІЇ ТА ВИКОРИСТАННЯ ВОЛОКНИСТОГО МАКУЛАТУРНОГО СКОПУ

Анотація. У статті розглянуто сучасний стан та тенденції розвитку технологій управління відходами целюлозно-паперової галузі, з метою аналізу причин, що перешкоджають, а інколи й унеможливають ефективну утилізацію волокнистого макулатурного скопу для одержання екологічно безпечних матеріалів і сировинної продукції. Виробництво паперової продукції є однією з найбільш капіталозатратних та енергоємних галузей, поступаючись лише металургійній та хімічній промисловості, з відповідною великою кількістю відходів та негативним впливом на довкілля. Розглянуто та проаналізовано технологічні процеси утворення скопу внаслідок переробки макулатури та очистки стічних вод паперового виробництва. Скоп є остаточним відходом целюлозно-паперової промисловості, що утворюється на різних стадіях процесу виготовлення паперу та картону, тому складається на полігонах. Багатотоннажні обсяги скопу потребують значних площ для його складування. Незважаючи на невисокий IV клас небезпеки, це призводить до серйозних екологічних проблем, оскільки інфільтратом з полігону складування скопу забруднюються поверхневі та ґрунтові води. Описано та проаналізовано технології можливої утилізації та повторного використання скопу, відомі у вітчизняній та зарубіжній літературі. Технологічність повторного використання скопу визначається його відносно екологічно безпечним фізико-хімічним складом. Зазначені волокнисті, мінеральні, екстрактивні складові речовини та лігнін обумовлюють можливості повторного використання скопу, переважно для будівельної індустрії. Названо перспективність комплексного використання багатотоннажних відходів – скопу, мулу, золи і шлаку теплових електростанцій в якості пластифікаторів, наповнювачів, в'язучих і сполучних компонент при виготовленні будівельних конструкційно-теплоізоляційних матеріалів. Технології використання скопу в якості наповнювача при виробництві будівельних матеріалів потребують високого вмісту неорганічних і мінімальної кількості органічних сполук. При

використанні скопу у виробництві плитних деревинних композиційних матеріалів необхідний високий вміст волокнистих частинок та низький вміст мінеральних речовин. Вказані технологічні обмеження забезпечують лише незначні обсяги використання скопу у виробництві матеріалів будівельного призначення. Ефективність використання скопу в якості добавки до асфальтової суміші для дорожнього будівництва та виробництва паливних матеріалів визначається економічними затратами на транспортування та зневоднення. Зазначається, що висока вологість, зольність і низька теплотворність скопу є основною причиною відсутності ефективних технологій його утилізації. Розв'язком проблеми є використання технологій з низькими енергетичними затратами, шляхом прямого використання скопу в якості складової ґрунтосуміші для біологічної рекультивації техногенних ландшафтів. Обґрунтовується екологічно безпечний і соціально сприятливий варіант використання ґрунтового субстрату на основі скопу. Наголошується, що вологість та органічна в'язкість рослинного походження скопу формує агротехнічні властивості ґрунтових субстратів пролонгованої дії, які забезпечують оптимальну технологічність фітомеліорації деградованих земель. Рекультивовані території зменшать викиди ґрунтом парникових газів, запобігатимуть вітровій та водній ерозії ґрунту, забезпечать екологічну безпеку природно-техногенних екосистем.

Ключові слова: целюлозно-паперова промисловість, відходи, макулатурний скоп, технології утилізації, повторне використання, екологічна безпека, рекультивація.

<https://doi.org/10.32347/2411-4049.2024.3.5-21>

Постановка проблеми

Целюлозно-паперове виробництво (ЦПВ) України об'єднує близько 100 підприємств із виробництва паперу і картону та виробів з них, а разом з переробниками, трейдерами, посередниками, науковими, монтажними та спеціалізованими торговельними організаціями їх налічується понад 300. У галузі працює близько 30 тис. осіб, а на підприємствах галузі встановлено 72 паперо- та картоноробних машини, понад 80 гофроагрегатів, майже 50 підприємств мають обладнання з виготовлення зошитів та 10 – з виготовлення шпалер. Загальна встановлена потужність паперо- та картоноробних машин в Україні становить близько 1 млн тонн паперу і картону на рік [1]. У структурі виробництва паперу і картону переважають такі види, як картон тарний, папір для гофрування, картон коробковий, папір санітарно-гігієнічний.

Внаслідок діяльності ЦПВ утворюється значна кількість відходів, які спричиняють негативний вплив на навколишнє середовище [2, 3]. З огляду на це, важливим залишається дослідження сучасного стану та тенденцій розвитку технологій управління відходами целюлозно-паперової галузі з метою виявлення та аналізу причин, що перешкоджають, а інколи й унеможливають ефективне повторне використання відходів, та вибору оптимального способу їх утилізації.

Головною причиною утворення великої кількості відходів та незначних обсягів їх повторного використання, крім фізичної та моральної застарілості основних фондів багатьох картонно-паперових підприємств, є обладнання, що працює понад 50 років, робочий стан якого підтримується переважно за

рахунок відновлювального ремонту та модернізації і рідше – шляхом заміни зношеного обладнання, та сировинна база, що спонукає орієнтуватися на випуск таких видів паперу і картону та виробів з них, які виробляються з вторинного волокна – макулатури.

У процесі виробництва картону та паперу утворюються відходи від розпуску макулатури, очистки макулатурної маси, очистки стічних вод, паперової, картонної, гофротарної продукції тощо. Ці відходи в залежності від їх виду підлягають своєчасному видаленню з проммайданчиків, зберіганню в спеціально відведених місцях, утилізації чи захороненню на полігонах промислових відходів.

Відомо, що целюлозно-паперова галузь надзвичайно водоемна – в середньому на 1 т паперу витрачається до 60 м³ води [4]. Важливо зазначити, що стічні води підприємств (особливо картонних і паперових) завжди волокновмісні, тому технологічна схема з їх очистки проектується таким чином, щоб забезпечувалось вилучення сторонніх речовин і сполук, зокрема і волокон рослинних полімерів для відповідності стоків встановленим рівням ГДК. Однією зі сполук, що вилучаються з очисних споруд, є волокнистий скоп. Встановлено, що значний обсяг картонно-паперових відходів (зокрема, скопу волокнистого макулатурного) не підлягає переробці чи утилізації, а тому розміщується на полігонах. У середньому, за рік на полігони України потрапляє 51815,404 т волокнистого скопу [2].

Тому, актуальним завданням технологій захисту довкілля є пошук та вибір ефективних способів утилізації багатотоннажних відходів ЦПВ – макулатурного волокнистого скопу. Оптимальне використання скопу сприятиме здешевленню основної продукції, збереженню природних ресурсів, зменшить техногенне навантаження на довкілля.

Мета дослідження – систематизація технологій утилізації та повторного використання скопу для одержання екологічно безпечних матеріалів та сировинної продукції.

Виклад основного матеріалу

1. Технології та обсяги утворення скопу. Сучасне ЦПВ України умовно можна розподілити на дві групи виробництв, відповідно до типів сировини, яка використовується. Відповідно, відходи ЦПВ поділяються на відходи виробництва целюлози та відходи виробництва паперу і картону та виробів з них.

Роль першої групи (целюлозної промисловості) полягає у створенні повноцінної сировини для галузі – целюлози. Основою для виробництва целюлози слугує деревина як хвойних, так і листяних порід. Основні способи переробки деревини в целюлозу – сульфатний процес і сульфітна варка. Виробничі потужності з випуску целюлози високого виходу (напівцелюлози) та деревної маси мають лише ВАТ «Жидачівський целюлозно-паперовий комбінат», ВАТ «Ізмаїльський целюлозно-картонний комбінат» та ВАТ «Луцький картонно-рубериодний комбінат», що виробляють ці напівфабрикати виключно для забезпечення власних потреб.

Відходи целюлозної промисловості утворюються внаслідок технологічних процесів виробництва целюлози в Україні, що, як правило, зводиться до наступних етапів: заготовки деревини хвойних та листяних порід дерев;

переробки деревини в технічну щепу; варіння целюлози; приготування хімічних реагентів та їх регенерація з подальшим повторним використанням; очистки стічних вод промисловості. Загалом, на промислових полігонах України внаслідок діяльності підприємств целюлозної галузі протягом 2018 р. складовано 10679,191 т промислових відходів [2].

Роль другої групи (картонно-паперової промисловості) полягає у повторному використанні полімерної сировини як альтернативи целюлозі – макулатури (вторинного рослинного волокна). Переробкою макулатури в Україні займаються ПрАТ «Київський картонно-паперовий комбінат», ТОВ «Понінківська картонно-паперова фабрика – Україна», ПрАТ «Малинська паперова фабрика – Вайдманн», ПрАТ «Картонно-Паперова Компанія», ТОВ «Дніпропетровська паперова фабрика», АТ «Кохавинська паперова фабрика» та інші підприємства.

На відміну від целюлозної промисловості, картонно-паперова орієнтована на переробку вторинної сировини, що обумовлює утворення більшої кількості відходів виробництва, в порівнянні з першою групою підприємств. Головною особливістю вторинної сировини є те, що вона, щонайменше один раз, пройшла повний цикл переробки. Відомо, що переробка макулатури характеризується частковою утратою папероутворювальних властивостей, що проявляється у скороченні волокон, зниженні здатності до набухання, частковій втраті еластичності тощо. Звідси випливає неможливість переробки вторинної сировини нескінченну кількість разів. Загальна технологічна схема переробки макулатури на підприємствах другої групи представлена у роботі [7]. З відходоутворювальної точки зору у картонно-паперовому виробництві найбільш важливе значення мають два взаємопов'язані процеси: процес переробки макулатури; процес очистки стічних вод. При аналізі з відходоутворювальної точки зору типової для України технологічної схеми водоочистки стічних вод підприємств другої групи встановлено причини утворення скопу (рис. 1).

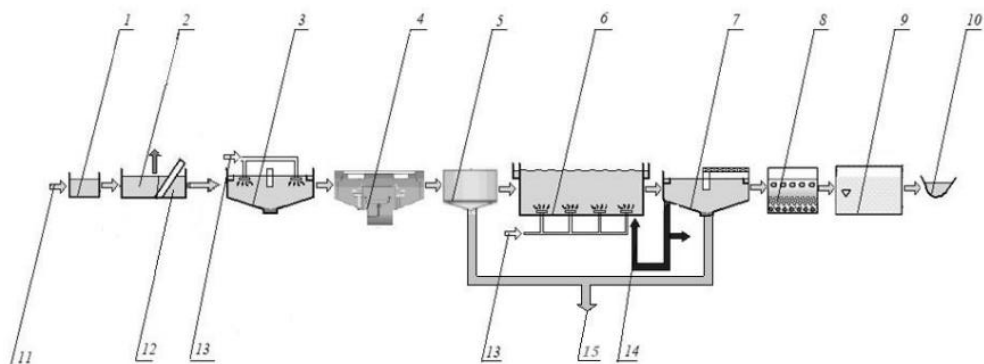


Рис. 1. Загальна технологічна схема очистки стічних вод підприємств картонно-паперової промисловості: 1 – вода на очистку; 2 – барабанна решітка; 3 – первинний відстійник або усереднювач з турбоаераторами; 4 – коагулятор; 5 – флотатор; 6 – аеротенк; 7 – вторинний відстійник; 8 – фільтр; 9 – знезаражувач води; 10 – водойма або повторне водокористування (для замкненого циклу); 11 – стоки на очистку; 12 – грубе сміття; 13 – повітря; 14 – активний мул; 15 – вологий волокнистий скоп

Очищення води починається на комплексі решіток барабанного типу. На цьому етапі затримується крупне сміття, що включає: залишки клейкої стрічки – 22,658 т/рік; залишки плівки – 211,52 т/рік [3]. Комплекс із первинного відстійника та коагулятора затримує та відокремлює шлам фарб, що містять галогенові розчинники, фарб на водяній основі, фарб, що не містять галогенові розчинники, та затверділих друкарських фарб сумарно в кількості 74,584 т за 2018 рік [3].

Комплекс із аеротенка з вторинними відстійниками забезпечує повну біологічну очистку стічних вод підприємств целюлозно-паперової галузі за рахунок роботи активного мулу. Протягом 2018 року, відповідно до даних [3], утворено та вивезено на промислові полігони 122,9 т надлишкового активного мулу.

Комплекс флотаційних установок у зв'язці із вторинними відстійниками забезпечує відокремлення волокон рослинних полімерів зі стічних вод, що надходять на очистку. Внаслідок роботи комплексу протягом 2018 року за даними [3], утворено 55436,132 т волокнистого скопу, накопиченого на очисних спорудах.

Отже, враховуючи вищезазначене, найбільші обсяги відходів картонно-паперової промисловості, що не можуть бути утилізовані чи використані повторно та підлягають своєчасному видаленню з виробничих майданчиків і вивезенню та складуванню на полігонах промислових відходів, складають: волокнистий скоп – 55436,132 т/рік; відходи очищення стічних вод – 8361,43 т/рік; непровар – 2194,861 т/рік; залишки та шлам фарб, зокрема друкарських – 972,968 т/рік.

Встановлено, що волокнистого скопу за рік утворюється в п'ять разів більше аніж інших вищезазначених відходів разом взятих. Його обсяги зростають у разі використання макулатури низької якості як складової паперової композиції. Кількість відходів у такому випадку може становити до 20% від маси вихідної сировини [18].

Прийнято вважати, що волокнистий скоп є поєднанням трьох складових частин: волокнистої, мінеральної та нерозчинної [8]. До волокнистої частини відноситься целюлоза та геміцелюлоза, до мінеральної – мінеральні речовини, домішки, хімічні сполуки тощо, до нерозчинної – лігнін та екстрактивні речовини (табл. 1).

Таблиця 1. Хімічний склад скопу

Компонент	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	MgO
Вміст, %	25,00	16,20	7,27	28,80	0,30	0,24	1,65

Целюлоза у скопі – це якісне волокно, в якому, проте, міститься велика кількість дрібного волокна та його обривків, що суттєво відображається на якості паперу та картону. Геміцелюлоза – складні полісахариди, молекули яких містять пентози, гексози, а також уронові кислоти. Лігнін – компонент зі складним хімічним складом, що заповнює простір між волокнами целюлози, таким чином забезпечуючи міцність скопу та його нерозчинність у воді. Екстрактивні речовини у скопі представлені сумішшю ароматичних з'єднань, а мінеральні речовини – в основному карбонатом кальцію [8].

Склад волокнистого скопу визначається видом вторинної сировини, що переробляється. Оскільки часто макулатура являє собою різні співвідношення паперу з картоном, що переробляються підприємствами другої групи, то і скоп в результаті отримується з різним співвідношенням складових (табл. 2). До хімічного складу скопу входять такі компоненти: целюлоза (48%), лігнін (24%), геміцелюлоза (24%), екстрактивні речовини (3,5%), мінеральні речовини (0,5%).

Таблиця 2. Склад волокнистого скопу, що утворюється внаслідок переробки макулатури на підприємствах картонно-паперової промисловості

Назва компоненту	ПрАТ «Київський КПК», вміст, % [9]	АТ «Кохавинська ПФ», вміст, % [10]	ТОВ «Понінківська КПФ – Україна», вміст, % [11]	Середній склад волокнистого скопу, %
Целюлоза	49	47	48	48
Геміцелюлоза	23	25	22	23
Лігнін	24	24	26	25
Екстрактивні речовини	3,6	3,4	3,5	3,5
Мінеральні речовини	0,4	0,6	0,5	0,5

Згідно з [9] відомо, що серед підприємств, що займаються переробкою макулатури в Україні, ПрАТ «Київський КПК» переробляє не менше 30% макулатури, при цьому утворюючи та розміщуючи на промисловому полігоні щонайменше 18 478,526 т волокнистого скопу в рік. АТ «Кохавинська ПФ» переробляє не менше 14% макулатури, утворюючи та розміщуючи на власному промисловому полігоні щонайменше 7 761,05 т волокнистого скопу в рік. ТОВ «Понінківська КПФ – Україна» переробляє не менше 6% макулатури, відповідно утворюючи та розміщуючи на власному промисловому полігоні щонайменше 3 326,17 т волокнистого скопу в рік.

Відповідно до висновків державної санітарно-епідеміологічної експертизи [10–12] скоп волокнистий макулатурний, що утворюється на підприємствах, відповідає встановленим медичним показникам та критеріям безпеки та має склад, представлений у табл. 1. Проаналізувавши склад волокнистого скопу, що утворюється внаслідок очистки стічних вод трьома підприємствами другої групи, на які разом припадає 50% виробничих потужностей з переробки макулатури, встановлено, що вміст основних компонентів скопу знаходиться у близьких межах (табл. 2). Склад скопу залежить від типу використовуваного паперу, кількості і видів ступенів очищення.

Незважаючи на невисокий IV клас небезпеки, поводження з даним відходом на підприємствах обтяжливе, викликає нарікання регіональних адміністративних органів, екологічних служб та громадськості. Макулатурний скоп, великотоннажний відхід виробництва паперу та картону, давно є проблемою виробників картонно-паперової галузі. Постійне вдосконалення технології паперу та картону і спроби рециклінгу скопу в технологічному процесі не дозволяють повністю уникнути його утворення та накопичення. Способи класифікації, напрями утилізації та повторного використання скопу та волокнистого шламу ЦПВ наведено у роботах [5, 6].

2. Технології утилізації скопу. Через багатотоннажні обсяги волокнистого скопу, що утворюються внаслідок переробки макулатури і в результаті займають значні площі придатної для провадження інших видів діяльності землі, вітчизняними та зарубіжними вченими галузі активно розробляються способи та методи утилізації макулатурного скопу (рис. 2).

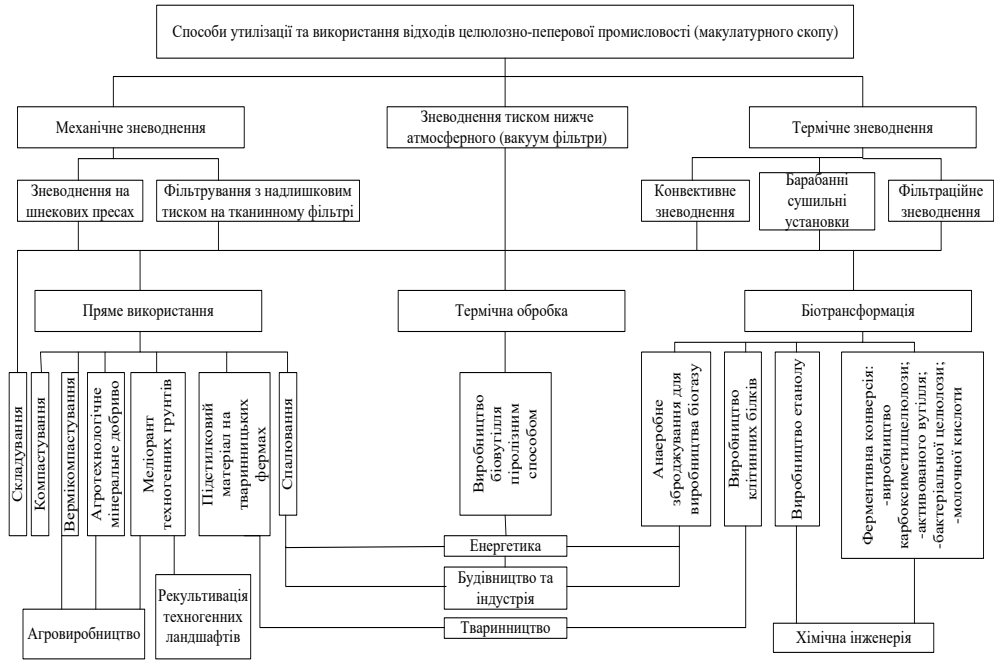


Рис. 2. Способи утилізації волокнистого макулатурного скопу

Найбільш поширеним способом утилізації скопу є його складування. Проте, такий спосіб призводить до серйозних екологічних проблем, які виникають внаслідок проникнення в ґрунт рідкої фази з відходів, особливо коли звалища розташовані на відносно проникних ґрунтах. Волокнистий скоп, що виділяється після очистки стічних вод підприємств другої групи, являє собою осад сірого кольору з вологістю понад 80% [14]. Як наслідок, інфільтратом з полігону складування скопу забруднюються поверхневі та підземні ґрунтові води, які є джерелом питної води [13]. Макулатурний скоп є незручним відходом через його високу вологість, а складування вимагає значних площ.

Для зменшення площ складування скопу на полігонах його зневоднюють. Завдяки процесу зневоднення на шнекових пресах, в кінцевому результаті скоп являє собою осад з масовою часткою сухої речовини в межах 40% і зберігається у спеціально відведених місцях. Ще одним популярним і широко застосовуваним методом зневоднення вологого волокнистого скопу є фільтрування через тканинний фільтр [15], що полягає у затриманні волокна целюлози, навіть найкоротшого, на тканині, що одночасно пропускає молекули води. Таким чином скоп відділяється від надлишкової вологи. Вищезазначені способи зневоднення волокнистого скопу, а також зневоднення за допомогою вакуум-фільтрів, центрифуг відносяться до механічних. Крім того, існують термічні способи зневоднення скопу за допомогою

конвективних та барабанних сушильних установок. При зневодненні щільність скопу зростає і, відповідно, даний тип відходів умовно займає менше місця.

У ЦПВ спостерігається багаторічна традиція спалювання відходів. Цей варіант утилізації шламу широко використовується для виробництва електроенергії [16, 22]. Проте, скоп має низьку ефективність згоряння, збільшує концентрацію забруднення повітря та потребує високого інвестиційного капіталовкладення [13]. Авторами [23] встановлено, що золошлакові відходи від спалювання макулатурного скопу мають в'язучі властивості, утворюють тверднучі системи і можуть використовуватися як додатковий цементуючий матеріал у будівництві. Розроблено технологію утилізації, що передбачає консервацію скопу негашеним вапном із подальшим формуванням із портландцементом та золою. Вироби на основі таких компонентів дають змогу рекомендувати їх після додаткових апробаційних досліджень як теплоізоляційні матеріали.

Потенційні можливості утилізації скопу шляхом біотрансформування для виготовлення етанолу, карбоксиметилцелюлози, активованого вугілля і молочної кислоти розглянуті в роботі [13]. Також скоп є придатною сировиною для анаеробного зброджування з метою отримання біогазу. Авторами роботи [16] продемонстровано можливість біотрансформації скопу в рідкі нафтопродукти для рекуперації енергії, шляхом прямого зрідження у гарячій стиснутій воді. Згідно з даними [18], скоп може слугувати сировиною для виготовлення бактеріальної целюлози та ферментів, шляхом його послідовної ферментації. Розглянуто застосування скопу як перспективного субстрату для виробництва клітинних білків для використання в кормах тварин. Також в тваринництві можливе використання скопу в якості підстилки, але попередньо його зневоднивши.

Перспективним способом утилізації скопу є його термічне розкладання, внаслідок якого утворюється біовугілля. Біовугілля містить високу частку мінералів, які є цінним джерелом поживних речовин. Його застосовують для підвищення родючості ґрунтів, що сприяє збільшенню продуктивності сільського господарства. В аграрному секторі скоп може використовуватися як добавка до ґрунтів (меліорант) для покращення їх якості і навіть як органіко-мінеральне добриво для покращення врожайності як у чистому вигляді, так і в суміші з іншими компонентами [24]. Проте, існує необхідність у подальших дослідженнях властивостей скопу для використання в аграрній сфері. Вони включають аналіз різних способів попередньої обробки скопу, різних норм внесення в ґрунт та комбінації з іншими органічними й мінеральними добривами, для забезпечення екологічної чистоти продукції агровиробництва.

3. Технології повторного використання скопу. Окрім різних способів утилізації скопу, останнім часом все більше приділяється увага його повторному використанню (рис. 3). Цінність скопу полягає не тільки в його екологічній чистоті та теплоенергетичному потенціалі (він здатен горіти в сухому стані), але і в більшій мірі зумовлена його матеріальною складовою. Йдеться про 50% глинистої сировини – каоліну, що є цінною природною сировиною. За такого складу ці відходи можна використати як вторинну сировину для виготовлення різних композитів. Промислові можливості повторного використання скопу розділяються на дві категорії: ті, що потребують високого вмісту неорганічних і мінімальної кількості органічних

сполук, інші – високого вмісту волокна та низького вмісту мінеральних речовин. При використанні шламу у виробництві деревинних композиційних матеріалів важливе значення має високий вміст волокнистих частинок, при виготовленні будівельної продукції – наповнювачів, а при виготовленні покрівельних матеріалів має значення високий вміст волокна та наповнювачів.

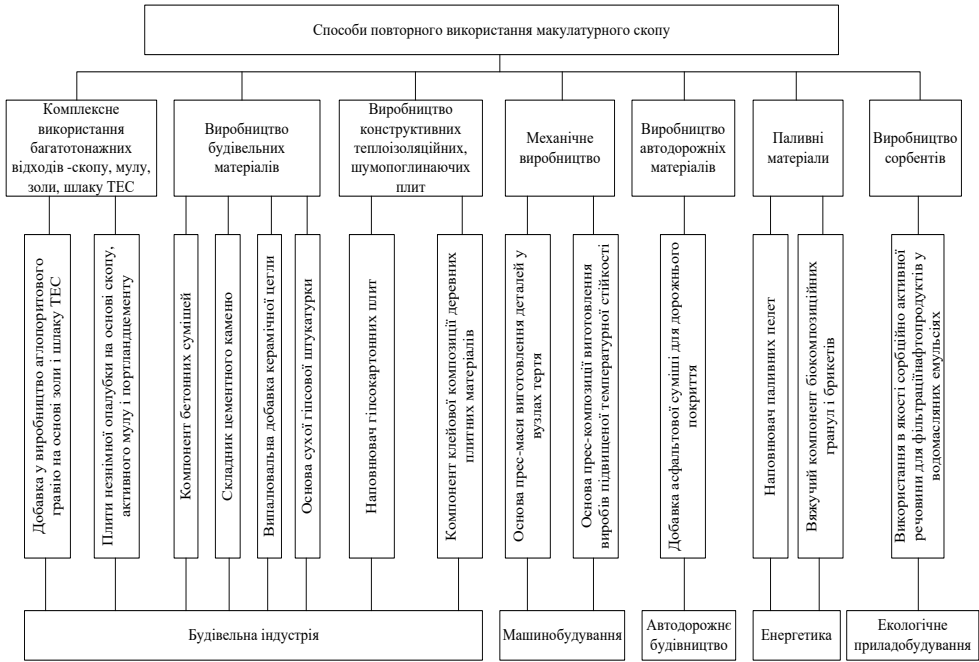


Рис. 3. Способи повторного використання волокнистого макулатурного скопу

Повторне використання скопу для виробництва паперу і картону має певне обмеження. Введення дрібного волокна до складу паперової чи картонної композиції істотно погіршує фізико-механічні показники товарної продукції [19]. Тому скоп може використовуватися при виготовленні яєчних, фруктових лотків, промислової пакувальної продукції, одноразових виробів, призначених для громадського харчування тощо. Відома практика використання скопу при виробництві картону, який виготовляється із 100% переробленого волокна [13].

Наявні розробки у сфері поводження з відходами ЦПВ показують перспективність використання скопу для виробництва матеріалів будівельного призначення. Великі обсяги і дешевизна скопу є вагомим аргументом його використання в якості заміника деяких традиційних добавок при виробництві будівельних матеріалів. У виробництві будівельних матеріалів скоп може повторно використовуватись як у ролі в'язучого компонента, так і в ролі наповнювача.

Використовуючи скоп в якості компонента бетонних сумішей, при поєднанні з портландцементом можна одержати композиційні матеріали, придатні для виготовлення будівельних блоків, стінових панелей тощо. Зола макулатурного шламу є цінною сировиною для виробництва цементу та цементної продукції, оскільки містить у своєму складі велику частку діоксиду

кремнію, алюмінію та карбонату кальцію. Однак, вміст шламу в композиції не має перевищувати 10%, оскільки його збільшення призводить до зниження механічної міцності композитів. У роботі [20] досліджувалася можливість використання золи шламу для часткової заміни цементу при виготовленні нового виду бетону.

Як наповнювач скоп можна використовувати також у виробництві конструкційно-теплоізоляційного легкого бетону (скопобетон), на основі якого можна виготовляти стінові блоки класом не менше В 12,5, теплопровідністю 0,15 Вт/(м·К) і морозостійкістю до F 35. Витрату портландцементу для виготовлення скопобетонних блоків можна довести до 200 кг/м³ [19].

У будівництві скоп застосовують як компонент бетонних сумішей, випалювальну добавку у виробництві керамічної цегли, основу сухої гіпсової шпукатурки, компонент волокнистих та напівтвердих волокнистих плит [13].

Макулатурний скоп може застосовуватись при виготовленні керамічних матеріалів (цегли). Однак, на основі проведених досліджень було зроблено висновок про те, що наявність шламу у композиціях для виготовлення керамічної цегли призводила до погіршення механічних властивостей виробів, нестабільності форми та розмірів матеріалу. Єдиним позитивним результатом було те, що зменшувалась щільність матеріалу [13].

Широко представлені можливості одержання конструктивних, теплоізоляційних та шумопоглинаючих плит на основі скопу. Скоп у матеріалі виступає як органічна композиційна складова, що має в'язучу здатність, і як волокнистий армуючий компонент. В'язуча здатність скопу обумовлена його хімічною будовою та адгезійними властивостями. У процесі затвердіння скоп проявляє властивості в'язучого контактного твердіння, до яких відносяться також в'язучі аморфної і нестабільної кристалічної структури, здатні конденсуватися в момент виникнення контактів між частинками під час наближення їх на відстань дії поверхневих сил притягання. Наявність у системі лігніну також призводить до утворення жорстких зв'язків між волокнами, що посилює зв'язуючий ефект.

Вже наявні в цій галузі напрацювання показують можливість використання скопу для виробництва гіпсоволокнистих плит як наповнювача, замість паперової макулатури [21]. При виготовленні гіпсокартону волокнисті частинки шламу покращують механічні властивості матеріалу, забезпечують йому пористу структуру та низьку щільність. Проте, можуть негативно впливати на вогнестійкість.

Скоп можна використати для виробництва теплоізоляційних волокнистих плит із застосуванням як органічних, так і неорганічних в'язучих. Розроблений склад для виготовлення теплоізоляційних матеріалів, що містять скоп 60...90%, спучений перліт 8...20%, фтористий натрій 0,5...2,5% і в'язуче – продукт сумісної нейтралізації ортофосфорної кислоти, карбаміду, формаліну 1...12%. Також наведено можливість застосування як в'язучих глини, фторангідритового в'язучого. Застосування цього складу у виробництві теплоізоляційного матеріалу підвищує механічну міцність і знижує займість матеріалу. Теплоізоляційні плити на основі скопу мають теплопровідність 0,063...0,087 Вт/(м·К) [19, 21].

Скоп можна використовувати у виробництві напівтвердих волокнистих плит. Українським науково-виробничим об'єднанням целюлозно-паперової

промисловості отримано склад для виготовлення волокнистих плит, що містять осад стічних вод картонно-паперового виробництва до 85% і макулатурні волокна [21].

При виготовленні таких деревинних композиційних матеріалів, як стружкова плита, MDF, волокниста плита, скоп може використовуватись в якості наповнювача в поєднанні з первинним макулатурним шламом. Результати досліджень щодо використання шламу при виготовленні таких матеріалів довели, що застосування його є можливим при обґрунтованому процентному співвідношенні щодо інших компонент композиції для отримання матеріалу із задовільними властивостями. Первинний шлам, який додається в суміш композиції, має значення армувального компонента, оскільки містить велику кількість волокнистих частинок. Скоп може додаватися як співполімер до клейової композиції, оскільки містить в своєму складі білок. При виготовленні композитів первинний шлам може змішуватися з макулатурним скопом [13].

Заслужують уваги технології комплексного використання багатотоннажних відходів – скопу, мулу, золи, шлаку ТЕС. Запропоновано теплоізоляційні матеріали на основі скопу та активного мулу. Мул так само, як і скоп, належить до багатотоннажних відходів целюлозно-паперової промисловості. Активний мул може бути пластифікатором для дисперсних систем на основі в'язучих речовин і сполучним компонентом у сумішах з органічних волокон. Розглянуто технології виготовлення конструкційно-теплоізоляційних матеріалів, таких як плити незнімної опалубки на основі скопу і портландцементу [6].

У роботі [11] розроблено концепцію технології спільної утилізації золи, що утворюється внаслідок спалювання вугілля на ТЕС, та скопу з утворенням конструктивно-теплоізоляційного виробу. Встановлено, що суміш, яка складається з 60% золи, 20% цементу, 10% волокнистого скопу та 10% негашеного вапна, може бути віднесена до групи конструкційно-теплоізоляційних матеріалів та використовуватись в якості будівельного матеріалу при укладанні підлоги та плоскої покрівлі через міцність на стиск більше 6 МПа [11].

Використання вторинної сировини та промислових відходів є одним з найбільш ефективних напрямків ресурсозбереження у виробництві будівельних матеріалів. Економічно та екологічно вигідним методом переробки макулатурного скопу є додавання у виробництво аглопоритового гравію на основі золи ТЕС. Маючи невисоку густину, високі сорбційні властивості й пластичність, він здатний покращити умови грудкування зольної шихти й підвищити міцність як вологих, так і сухих сирцевих гранул. На його основі можна одержати, зокрема, легкі бетони.

Виробництво виготовлення паливних пелет зі скопу запропоновано авторами [17]. Для підвищення ефективності виробництва, зберігання, транспортування та спалювання, в роботі [22] розглянута можливість виробництва паливних біокомпозитних гранул і брикетів на основі волокнистого скопу, що використовується в якості в'язучого компонента. Суть технології полягає у вивільненні зі скопу чистого лігніну під високим тиском (понад 90 МПа), що зв'язує наповнювач брикету, в ролі якого виступає переважно тирса, стружка, дрібнодисперсне вугілля тощо.

Скоп може використовуватись як добавка в асфальтову суміш для дорожнього покриття [25]. Волокнисті добавки сприяють зменшенню шуму, забезпечують підвищене зв'язування, еластичність і довговічність тротуарів, велосипедних доріжок, спортивних майданчиків, теренкурових алей та екологічних стежок в парках.

Використання скопу в якості сорбційно-активної речовини можливе у різних технологіях очищення газових і рідинних потоків від шкідливих компонентів, що забруднюють довкілля. В [6] обговорюються можливості використання фільтраційних властивостей скопу по відношенню до нафтопродуктів, що містяться у складі водомасляних емульсій. Адсорбція, що здійснювалась в лабораторній фільтраційній установці шляхом пропускання водомасляної емульсії з нафтопродуктами через заповнені подрібненим у порошок та попередньо просушеним в сушильній шафі при 110⁰С протягом 250 хв волокнистим скопом колонки, забезпечила зниження концентрації нафтопродуктів з початкових 4170 мг/л до 279 мг/л, тобто ефективність очистки склала 93,3%. Проте, використання волокнистого скопу в якості адсорбенту має ряд суттєвих недоліків, серед яких: низька швидкість протікання водомасляної емульсії з нафтопродуктами через шар адсорбенту; відсутність технології регенерації адсорбенту. Таким чином, спостерігаємо трансформацію скопу, як відходу очистки стічних волокновмісних вод підприємств картонно-паперової промисловості, у відходи очистки стоків від нафтопродуктів, що через відсутність технології утилізації (регенерації) підлягає розміщенню на полігоні. Отже, використання скопу в якості адсорбенту є перспективним напрямком, проте сучасний рівень розвитку науки не дозволяє вирішити проблему заповнення скопом промислових полігонів за допомогою запропонованої ідеї.

В машинобудуванні скоп може використовуватись для виготовлення деталей. У роботі [19] розроблено прес-масу на основі скопу для виготовлення деталей у вузлах тертя, що працюють без мастила, а також – прес-композицію на основі скопу для виготовлення виробів, що працюють за підвищених температур.

Висновки і пропозиції

Дослідивши та проаналізувавши інформацію про існуючі способи утилізації макулатурного скопу, можна констатувати факт відсутності на даний момент дійсно ефективної та економічно доцільної технології його переробки. Найбільш широко у науковій літературі представлені технології можливого використання скопу як волокнистого наповнювача в незначних кількостях для виробництва деревинних і будівельних композиційних матеріалів. Технологічно перспективний термічний розклад скопу в широко використовуюваному обладнанні піролізних установок для виробництва біовугілля. Отримане в процесі карбонізації скопу біовугілля може мати широкий діапазон застосування в більш ніж 50 галузях промисловості (сільське господарство, виробництво добрив, косметика, фармацевтична промисловість).

Висока відносна вологість, зольність і, як наслідок, низька теплотворність макулатурного скопу є основною причиною відсутності на сьогоднішній день ефективних технологій його утилізації. Розв'язком проблеми ефективної утилізації макулатурного скопу є використання технологій з низькими енергетичними затратами.

Агротехнологічне використання скопу можливе, але потребує суттєвих уточнень технічних можливостей та ефективності. Врахування стану конкретних ґрунтів, кліматичних зон та фізико-хімічних властивостей скопу від конкретного виробника обов'язкове при вирощуванні сільськогосподарської продукції.

Найбільш перспективною є технологія прямого використання скопу в якості складової ґрунтосуміші для біологічної рекультивації техногенних ландшафтів. Висока відносна вологість та органічна в'язкість рослинного походження скопу забезпечують оптимальну технологічність його використання для ґрунтових субстратів. Основні агротехнічні властивості ґрунтосуміші пролонгованої дії на основі скопу забезпечать ефективність озеленення техногенних земель. Рекультивація кар'єрів, териконів, хвостосховищ, відвалів золи і шлаку, з використанням субстратів на основі скопу, може зменшити викиди ґрунтом парникових газів, зменшити вимивання поживних речовин, зменшити потреби в зрошенні та добривах рослин деградованих земель.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Офіційний сайт Державної служби статистики України. Електронний ресурс: <http://www.ukrstat.gov.ua>
2. Утворення відходів за класифікаційними угрупованнями державного класифікатора відходів у 2020 р. Електронний ресурс: https://ukrstat.gov.ua/operativ/operativ2018/ns/uv_zaklass/arch_uv_zaklass_u.htm
3. Утворення відходів за класифікаційними угрупованнями державного класифікатора відходів у 2018 р. Електронний ресурс: http://www.ukrstat.gov.ua/operativ/operativ2018/ns/uv_zaklass/uv_zaklass_18u.xls
4. Національна доповідь про стан навколишнього природного середовища в Україні у 2021 р. Міністерство екології та природних ресурсів України. Електронний ресурс: <https://mepr.gov.ua/wp-content/uploads/2023/01/Natsdopovid-2021-n.pdf>
5. Шепелюк І.Р. Класифікація целюлозно-паперового шламу, шляхи його утилізації та можливості використання. Науковий вісник НЛТУ України, Вип. 25.5, 2015, С. 204-210.
6. Шепелюк І.Р., Шепелюк О.О., Лютий П.В. Напрями використання скопу целюлозно-паперового виробництва. Науковий вісник НЛТУ України, №24(9), 2014, С. 171-174.
7. Примаков С.П., Барбаш В.А. Технологія паперу і картону: навчальний посібник, Київ, ЕМКО, 2008, 425 с.
8. Новосад П.В., Челядин Л.І., Челядин В.Л. Теплоізоляційні матеріали на основі техногенних відходів. Теорія і практика будівництва : зб. наук. праць, № 655, 2009, С. 208-213.
9. Бондар О.І., Байрак О.М. Національна доповідь про стан навколишнього природного середовища в Україні у 2015 році. Міністерство екології та природних ресурсів України. Київ, 2017, 308 с.
10. Скоп волокнистий макулатурний: Висновок державної санітарно-епідеміологічної експертизи від 07.06.2019 №12.2-18-1/12489. Звіт Держсанепідслужби України, 2019, С. 149-151.
11. Скоп волокнистий макулатурний: Висновок державної санітарно-епідеміологічної експертизи від 19.02.2019 №12.2-18-1/29396. Звіт Держсанепідслужби України, 2019, С. 398-399.

12. Скоп волокнистий макулатурний: Висновок державної санітарно-епідеміологічної експертизи від 17.09.2017 №602-123-20-3. Звіт Держсанепідслужби України, 2018, С. 655-656.
13. Bajpai P. Management of Pulp and Paper Mill Waste. Switzerland, Springer International Publishing, 2015, 193 p. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-3-319-11788-1>
14. Tachtuiev B.G. Recycling of paper and board industry waste. Ukrainian Research Institute of Paper. №17(89), 2010, P. 18-23.
15. Гомеля М.Д., Іваненко О.І., Шаблій Т.О. Практичний посібник з курсу «Промислова екологія» для студентів спеціальності 6.040106 «Екологія, охорона навколишнього середовища та збалансоване природокористування», Київ, НТУУ «КПІ», 2010, 48 с.
16. Xu C., Lancaster J. Conversion of secondary pulp/paper sludge powder to liquid oil products for energy recovery by direct liquefaction in hot-compressed water. Water Research. № 42(6-7), 2008, P. 1571-1582. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2007.11.007>
17. David P.K. Converting paper, paper mill sludge and other industrial wastes into pellet fuel. Tappi Press, USA, 1995, P. 365-367.
18. Cavka A., Guo X., Tang S.J., Wenstrand S., Jonsson L.G., Feng Hong F. Production of bacterial cellulose and enzyme from waste fiber sludge. Biotechnology for Biofuels and Bioproducts, № 6, 2013, P. 1-10. <https://doi.org/10.1186/1754-6834-6-25>
19. Мазепа Ю.В., Семінський О.О., Рябцев Г.Л. Екологічні способи перероблення вологого осаду стічних вод целюлозно-паперового виробництва. Хімічна інженерія, екологія та ресурсозбереження : зб. наук. праць. № 2(6), 2010, С. 72-75.
20. Ahmad S., Iqbal Malik M., Bashir Wani M., Ahmad R. Study of concrete involving use of waste paper sludge ash as partial replacement of cement. IOSR Journal of Engineering. Vol. 3, № 11, 2013, P. 6-15. <http://dx.doi.org/10.9790/3021-031130615>
21. Баталін Б.І., Козлов І. Будівельні матеріали на основі скопу – відходу целюлозно-паперової промисловості. Будівельні матеріали : зб. наук. праць. № 1. 2004, С. 42-43.
22. Бать Р.Я., Мальований М.С. Технологія створення біокомпозиції на основі відходів лісової та целюлозно-паперової промисловості. Науковий вісник НЛТУ України, №16(2), 2006, С. 86-88.
23. Sobol K., Solodkyu S., Petrovska N., Belov S., Hunyak O., Hidei V. Chemical Composition and Hydraulic Properties of Incinerated Wastepaper Sludge. Chemistry & Chemical Technology. Vol. 14, № 4, 2020, P. 538-544. <https://doi.org/10.23939/chcht14.04.538>
24. Романенко Т.Б., Зіновчук Н.В. Перспективи використання побічних продуктів картонно-паперового виробництва в сільському господарстві. Збалансоване природокористування, № 3, 2021, С. 96-102. DOI: 10.33730/2310-4678.3.2021.247144
25. Hidei V., Sidun Iu., Hunyak O., Stanchak S., Bidos V. Application of Thermoactivated Wastepaper Sludge Ash as Mineral Powder for Hot Asphalt Concrete Mix. Journal Theory and Building Practice, Volume 2, Number 2, 2020, P. 42-47, DOI: <https://doi.org/10.23939/jtbp2020.02.042>

Стаття надійшла до редакції 10.05.2024 і прийнята до друку після рецензування 21.08.2024

REFERENCES

1. Official website of the State Statistics Service of Ukraine. Retrieved from <http://www.ukrstat.gov.ua> [in Ukrainian].
2. Waste generation by classification groups of the state waste classifier in 2020. Retrieved from https://ukrstat.gov.ua/operativ/operativ2018/ns/uv_zaklass/arch_uv_zaklass_u.htm [in Ukrainian].

3. Generation of waste by classification groups of the state waste classifier in 2018. Retrieved from http://www.ukrstat.gov.ua/operativ/operativ2018/ns/uv_zaklass/uv_zaklass_18u.xls [in Ukrainian].
4. National report on the state of the natural environment in Ukraine in 2021. Ministry of Ecology and Natural Resources of Ukraine. Retrieved from <https://mepr.gov.ua/wp-content/uploads/2023/01/Natsdopovid-2021-n.pdf> [in Ukrainian].
5. Shepelyuk, I.R. (2015). Classification of Pulp and Paper Sludge, the Way of its Utilization and the Possibility of Using. *Scientific Bulletin of NLTU of Ukraine*, 25.5, 204-210 [in Ukrainian].
6. Shepelyuk, I.R., Shepelyuk, O.O., Saldan, R.I., & Lyutyj, P.V. (2014). Some Directions for Use Skopje Pulp and Paper Production. *Scientific Bulletin of National Technical University of Ukraine*, 24(9), 171-174 [in Ukrainian].
7. Primakov, S.P., & Barbash, V.A. (2008). Technology of paper and cardboard: a study guide, Kyiv: EMKO [in Ukrainian].
8. Novosad, P.V., Chelyadyn, L.I., & Chelyadyn, V.L. (2009). Thermal insulation materials based on man-made waste. *Theory and practice of construction: collection. of science works*, 655, 208-213 [in Ukrainian].
9. Bondar, O.I., & Bayrak, O.M. (2017). National report on the state of the natural environment in Ukraine in 2015. Ministry of Ecology and Natural Resources of Ukraine. Kyiv [in Ukrainian].
10. Fibrous waste paper carp: Conclusion of the state sanitary-epidemiological examination dated 06.07.2019 No. 12.2-18-1/12489. Report of the State Sanitation Service of Ukraine, 2019, P. 149-151 [in Ukrainian].
11. Fibrous waste paper skunk: Conclusion of the state sanitary-epidemiological examination dated February 19, 2019 No. 12.2-18-1/29396. Report of the State Sanitation Service of Ukraine, 2019, P. 398-399 [in Ukrainian].
12. Fibrous waste paper skunk: Conclusion of the state sanitary-epidemiological examination dated September 17, 2017 No. 602-123-20-3. Report of the State Sanitation Service of Ukraine, 2018, P. 655-656 [in Ukrainian].
13. Bajpai, P. (2015). Management of Pulp and Paper Mill Waste. Switzerland: Springer International Publishing, 193 p. DOI 10.1007/978-3-319-11788-1
14. Tachtuiev, B.G. (2010). Recycling of paper and board industry waste. *Ukrainian Research Institute of Paper*, 17(89), 18-23.
15. Gomelya, M.D., Ivanenko, O.I., & Shablii, T.O. (2010). Practical manual for the course "Industrial ecology" for students of specialty 6.040106 "Ecology, environmental protection and balanced nature management". Kyiv: NTUU "KPI" [in Ukrainian].
16. Xu, C., & Lancaster, J. (2008). Conversion of secondary pulp/paper sludge powder to liquid oil products for energy recovery by direct liquefaction in hot-compressed water. *Water Research*, 42(6-7), 1571-1582. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2007.11.007>
17. David, P.K. (1995). Converting paper, paper mill sludge and other industrial wastes into pellet fuel. Tappi Press, USA.
18. Cavka, A., Guo, X., Tang, S.J., Wenstrand, S., Jonsson, L.G., & Feng Hong, F. (2013). Production of bacterial cellulose and enzyme from waste fiber sludge. *Biotechnology for Biofuels and Bioproducts*, 6, 1-10. <https://doi.org/10.1186/1754-6834-6-25>
19. Mazepa, Yu.V., Seminskyi, O.O., & Ryabtsev, G.L. (2010). Ecological methods of processing wet sludge from pulp and paper production wastewater. *Chemical engineering, ecology and resource conservation: coll. of science works*, 2(6), 72-75 [in Ukrainian].
20. Ahmad, S., Iqbal Malik, M., Bashir Wani, M., & Ahmad, R. (2013). Study of concrete involving use of waste paper sludge ash as partial replacement of cement. *IOSR Journal of Engineering*, 3(11), 6-15 <http://dx.doi.org/10.9790/3021-031130615>
21. Batalin, B.I., & Kozlov, I. (2004). Building materials based on waste pulp and paper industry. *Building materials: collection of science works*, 1, 42-43 [in Ukrainian].

22. Bat, R. Ya., & Maliovani, M.S. (2006). Technology of creating a biocomposite based on forest and pulp and paper industry waste. *Scientific Bulletin of National Technical University of Ukraine*, 16(2), 86-88 [in Ukrainian].
23. Sobol, K., Solodky, S., Petrovska, N., Belov, S., Hunyak, O., & Hidei, V. (2020). Chemical Composition and Hydraulic Properties of Incinerated Wastepaper Sludge. *Chemistry & Chemical Technology*, 14(4), 538–544. <https://doi.org/10.23939/chcht14.04.538>
24. Romanenko, T.B., & Zinovchuk, N.V. (2021). Prospects of using pulp and paper industry by-products in agriculture. *Balanced nature management*, 3, 96-102 [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.33730/2310-4678.3.2021.247144>
25. Hidei, V., Sidun, Iu., Hunyak, O., Stanchak, S., & Bidos, V. (2020). Application of Thermoactivated Wastepaper Sludge Ash as Mineral Powder for Hot Asphalt Concrete Mix. *Journal Theory and Building Practice*, 2(2), 42-47. <https://doi.org/10.23939/jtbp2020.02.042>

The article was received 10.05.2024 and was accepted after revision 21.08.2024

Петрушка Ігор Михайлович

доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри екологічної безпеки та природоохоронної діяльності Національного університету «Львівська політехніка»

Адреса робоча: 79000 Україна, м. Львів, вулиця Степана Бандери, 12

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-3344-4196> **e-mail:** igor.m.petrushka@lpnu.ua

Мокрий Володимир Іванович

доктор технічних наук, професор, професор кафедри екологічної безпеки та природоохоронної діяльності Національного університету «Львівська політехніка»

Адреса робоча: 79000 Україна, м. Львів, вулиця Степана Бандери, 12

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-5814-5160> **e-mail:** volodymyr.i.mokriy@lpnu.ua

Дмитрів Богдан Андрійович

аспірант кафедри екологічної безпеки та природоохоронної діяльності Національного університету «Львівська політехніка»

Адреса робоча: 79000 Україна, м. Львів, вулиця Степана Бандери, 12

e-mail: bohdan.dmytriv1996@gmail.com