

ВІДХОДИ СТАЮТЬ РЕСУРСАМИ: ПЕРЕРОБКА МАТЕРІАЛІВ ДЛЯ СТАЛОГО РОЗВИТКУ АВІАЦІЙНО-КОСМІЧНОЇ ГАЛУЗІ

Алла Володимирівна Акастелова

ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-5366-6303>

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпро

Вступ

Повторна переробка матеріалів у галузі авіації та космічних технологій є важливою проблемою, яка вимагає серйозного дослідження та розвитку. Ця проблема виникає внаслідок зростаючої кількості відпрацьованих матеріалів, відходів та використаних компонентів. Забезпечення сталого розвитку авіаційної та космічної індустрії вимагає ефективних стратегій повторної переробки матеріалів, які забезпечать економічну ефективність, зменшення негативного впливу на довкілля та збереження природних ресурсів.

Авіаційна та космічна галузі мають значний вплив на довкілля через емісію парникових газів та використання обмежених ресурсів. Повторна переробка матеріалів дозволяє зменшити використання природних ресурсів, знизити енергозатрати та викиди шкідливих речовин. Переробка та використання відпрацьованих матеріалів може значно знизити витрати на нові матеріали, що є особливо важливим у високотехнологічних галузях зі складними та дорогою продукцією.

Використання нових матеріалів без ефективної системи переробки та вторинного використання може призвести до великого накопичення відходів та використаних компонентів, що вимагатиме великих затрат на їх збирання, утилізацію та управління.

Брак системи переробки матеріалів також може призвести до зростання сміттєвих полігонів, забруднення довкілля та загрози здоров'ю людей. Крім того, велика залежність від нових матеріалів може створити проблему забезпечення потреб авіаційної та космічної галузей у високоякісних матеріалах, особливо у разі вичерпання природних ресурсів або збільшення їх вартості.

Мета. Метою цієї статті є висвітлення проблеми повторної переробки матеріалів а також оцінка її значення та впливу на сталість розвитку галузі. Стаття спрямована на висвітлення способів ефективної переробки матеріалів, використання вторинних ресурсів та вдосконалення систем управління відходами для забезпечення економічної ефективності, зменшення негативного впливу на довкілля та збереження природних ресурсів. Крім того, стаття має на меті акцентувати увагу на потребі проведення досліджень у цьому напрямку. Через ці

дослідження можна досягти зменшення витрат на нові матеріали, зниження енергозатрат, мінімізацію впливу на довкілля. Стаття пропонує огляд різних методів та підходів до повторної переробки матеріалів у цих галузях, а також робить висновки та рекомендації щодо подальших досліджень та розвитку у цьому напрямку.

Задачі. У рамках даної статті передбачається досягнення таких основних задач:

1. Проведемо огляд і аналіз проблеми повторної переробки матеріалів у авіаційній та космічній галузях, з'ясовуючи їх складність та можливі наслідки.

2. Розглянемо значення цієї проблеми і визначимо, як вона впливає на розвиток цих галузей і загальний стан довкілля.

3. Дослідимо різні технології та методи повторної переробки матеріалів, зокрема композитних матеріалів, металів та полімерів, що використовуються в авіаційній та космічній галузях.

4. Проведемо аналіз економічного впливу повторної переробки матеріалів, з'ясовуючи її вплив на витрати та сталість розвитку галузей.

5. Дослідимо аспекти екологічної стійкості повторної переробки матеріалів, визначаючи позитивні впливи на довкілля, зменшення використання природних ресурсів та зниження викидів шкідливих речовин.

6. Надамо рекомендації та перспективи для подальших досліджень та впровадження повторної переробки матеріалів у практику авіаційної та космічної галузей.

7. В заключних висновках ми підіб'ємо підсумки проведених досліджень та огляду методів повторної переробки матеріалів та підкреслимо їх важливість для сталого розвитку цих галузей.

ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ МЕТОДІВ ПОВТОРНОЇ ПЕРЕРОБКИ МАТЕРІАЛІВ У АвіАЦІЙНІЙ ТА КОСМІЧНІЙ ГАЛУЗЯХ

Декілька існуючих методів повторної переробки матеріалів, спрямованих на ефективне використання ресурсів і зниження негативного впливу на довкілля [9].

Рециклінг. Цей метод передбачає збір та подальшу переробку відходів, таких як металеві складові, полімери, скла та інші матеріали. Метод рециклінгу використовується для отримання вторинних сировинних матеріалів, які можуть бути використані в нових конструкціях та виробничих процесах.

Вторинне використання. Цей метод передбачає використання вже використаних матеріалів у нових продуктах або системах. Наприклад, використання вторинних композитних матеріалів у

виготовленні внутрішніх деталей літаків або використання вторинної металевої стрічки у виготовленні кріпильних елементів.

Відновлення. Цей метод включає відновлення або ремонт вживаних компонентів, що дозволяє продовжити їх експлуатаційний термін. Наприклад, відновлення космічних супутників або повторне використання запасних частин літаків після ремонту.

Утилізація. Цей метод використовується для безпечного видалення та обробки матеріалів, які не підлягають повторній переробці. Наприклад, спалювання відходів з наступним очищенням та знешкодженням викидів.

Інноваційні технології. В галузі авіації та космічних технологій постійно розробляються нові технології повторної переробки матеріалів. Наприклад, використання 3D-друку для виготовлення запасних частин, розробка нових методів відновлення складних конструкцій або застосування біорозкладних матеріалів.

Основні підходи, технології та процеси, які використовуються для рециклінгу матеріалів, зокрема композитних матеріалів, металів та полімерів, включають наступне.

РЕЦИКЛІНГ КОМПОЗИТНИХ МАТЕРІАЛІВ

Механічний рециклінг. Цей процес передбачає механічне роздроблення композитних матеріалів на більш дрібні фрагменти, які потім можуть бути використані як наповнювачі у нових композитних матеріалах або як добавки до інших продуктів.

Термічний рециклінг. Він включає термохімічні процеси, такі як піроліз (розкладання під впливом тепла без доступу до кисню) або газифікація, для розщеплення композитів на складові частини, такі як полімерні матриці і волокна, які можуть бути використані окремо.

Хімічний рециклінг. Цей підхід включає застосування хімічних реагентів або розчинників для розпаду композитів на компоненти, які можуть бути подальше використані.

РЕЦИКЛІНГ МЕТАЛІВ

Вторинне плавлення: Цей процес передбачає плавлення використаних металевих виробів і відходів, після чого отримана розплавлена маса може бути використана для виготовлення нових металевих виробів.

Магнітний рециклінг: Цей метод застосовується для відокремлення магнітних металів, таких як залізо або сталь, від інших матеріалів шляхом використання магнітних сепараторів.

РЕЦИКЛІНГ ПОЛІМЕРІВ

Механічний рециклінг. Цей процес включає механічне подрібнення та подальше плавлення полімерних виробів для отримання пластмасових гранул, які можуть бути використані у виробництві нових виробів.

Хімічний рециклінг. Цей підхід використовує хімічні реагенти або розчинники для розпаду полімерів на молекулярному рівні, після чого отримані хімічні сполуки можуть бути використані для синтезу нових полімерних матеріалів.

ВИКЛИКИ ПОВТОРНОЇ ПЕРЕРОБКИ МАТЕРІАЛІВ У АВІАЦІЙНІЙ ТА КОСМІЧНІЙ ГАЛУЗЯХ

Проблеми, пов'язані з сортуванням матеріалів, забрудненням, контролем якості та процесами розмежування матеріалів, є важливими аспектами повторної переробки матеріалів у галузі авіації та космосу. Ось кілька проблем, які можуть виникати через наступне.

Сортування матеріалів. У цих галузях використовуються різні типи матеріалів, включаючи метали, композити, полімери тощо. Сортування цих матеріалів перед переробкою може бути складним завданням через їхню різноманітність та складну структуру. Важливо розробляти ефективні методи сортування, які дозволяють відокремити різні типи матеріалів для їхнього оптимального використання та переробки.

Забруднення матеріалів. Матеріали, що підлягають переробці, можуть бути забрудненими різними речовинами, такими як палива, мастила, хімічні речовини та інші забруднюючі речовини. Це може ускладнювати процес переробки та впливати на якість вторинних матеріалів. Розробка ефективних методів очищення та очищення матеріалів є важливим кроком для забезпечення якості та надійності вторинних матеріалів.

Контроль якості. У галузях авіації та космосу висуваються високі вимоги до якості матеріалів, оскільки вони використовуються у важливих структурах та пристроях. Контроль якості в процесі переробки є важливим етапом для забезпечення відповідності вторинних матеріалів необхідним стандартам та властивостям. Розробка та впровадження ефективних методів контролю якості допомагає підтримувати високу якість перероблених матеріалів.

Процеси розмежування матеріалів. У багатьох випадках матеріали в авіаційній та космічній галузях можуть бути складними композитними структурами, які складаються з різних компонентів.

Розмежування та розкладання таких складних структур на компоненти для подальшої переробки може бути ускладненою. Розробка ефективних процесів розмежування та розбирання матеріалів є важливим завданням для досягнення ефективного рециклінгу та використання вторинних матеріалів.

ПРАКТИЧНІ ПРИКЛАДИ РЕАЛІЗАЦІЇ РЕЦИКЛІНГУ

Успішна повторна переробка матеріалів у галузі авіації та космосу вже знаходиться на стадії реалізації і виявляється в ряді прикладів. Ось кілька з них.

Повторна переробка композитних матеріалів. Компанія Boeing розробила процес під назвою "Boeing's EcoDemonstrator Program", який дозволяє переробляти композитні матеріали з вилучених з експлуатації літаків. Цей процес включає розмелювання композитів на волокна та їх подальшу переробку у виробництві нових композитних матеріалів для використання у виробництві літаків. У червні 2022 року компанія Boeing представила свій літак ecoDemonstrator [2], літак 777-200 Extended Range, що належить Boeing, став випробувальним стендом для 30 нових технологій, включаючи систему збереження води та ваги, а також використання нових деталей для виробництва добавок (або 3D-друку), які допомагають зменшити споживання палива та вагу. Команда також випробовує нові методи використання ультрафіолетового світла для дезінфекції, екологічно чистий холодоагент і нові інструменти для підвищення ефективності роботи. 27 квітня 2023 р.[2] Boeing розширює свою програму льотних випробувань ecoDemonstrator, щоб ще більше прискорити інновації для сталого розвитку та безпеки. Сьогодні компанія оголосила про свій план на 2023 рік щодо оцінки 19 технологій на Boeing 777 ecoDemonstrator, а також додавання літаків «Explorer», які зосереджуюватимуть тести на конкретних технологіях.

Переробка металевих матеріалів. NASA розробила технологію під назвою "Refabricator" [13], яка дозволяє повторно використовувати та переробляти металеві матеріали у космічних місіях. Ця технологія використовує аддитивне виробництво (3D-друк) для створення нових об'єктів з відходів, таких як старі друківані плати та металеві деталі. Особливість цієї технології полягає в можливості переробки вже існуючих об'єктів, розплавляючи їх та перетворюючи у сировину для нових друківаних виробів. Refabricator навіть може переробляти пластикові вироби, які зазвичай не пов'язані з 3D-принтерами на Землі. Наприклад, майже всі матеріали, які доставляють на Міжнародну космічну станцію, упаковуються в пінопластові або пластикові

пакети. Обидва типи можна завантажити в Refabricator для виготовлення предметів, таких як пластиковий шприц-дозатор, столові прибори або індивідуальний ключ. Ця технологія має великий потенціал у космічних місіях, оскільки астронавти можуть самостійно виробляти запасні частини, інструменти або навіть медичні вироби в разі необхідності. Вона також сприяє зменшенню ваги та обсягу покладених на ракети запасних частин, що робить космічні місії більш ефективними та економічними.

Переробка полімерних матеріалів. Компанія Airbus працює над максимальним використанням переваг термопластичного композиту з вуглецевими волокнами (CFRP) у виробництві літаків [1]. Airbus вважає, що цей матеріал має переваги перед термореактивним CFRP, який більш поширено використовується для виготовлення конструкцій літаків, основна перевага полягає в тому, що термопластичний CFRP є 100% перероблюваним. На відміну від термореактивного CFRP, термопластичні композити не потребують витвердження в автоклаві і можуть зберігатися при амб'єнтній температурі без необхідності використання морозильника та кімнати з контрольованою температурою, що призводить до значного зменшення витрат на енергію.

Компанія D-Orbit розробила проект під назвою RecycleSat, який передбачає використання супутників-відходів для переробки і вилучення супутникового сміття з орбіти. Основною ідеєю Recycle Sat є використання автономного пристрою, який може збирати вже непотрібні супутники, відновлювати їх функціональність та переводити їх у нове корисне використання. Процес повторної переробки включає розбірку супутника на компоненти, оцінку їх стану та можливостей відновлення, а також відновлення несправних або застарілих частин. Компанія D-Orbit також працює над вдосконаленням системи збирання і утилізації відходів, зокрема шматків супутників та фрагментів, що виникають під час процесу розбирання.

Європейське космічне агентство (ESA) запустило проект ClearSpace-1 [3], який передбачає вилучення супутникового сміття з орбіти за допомогою спеціально розробленого робота. 112 кілограм непотрібної частини ракети, запущеної у 2013 році, все ще залишається у космосі поряд з мільйонами інших шматків космічного сміття. Місія ClearSpace-1 забере цей верхній ступінь Vespa, як перша у своєму роді місія з видалення існуючого на орбіті сміття через високоточні, складні операції в безпосередній близькості, все це з метою прибирання космосу. Хоча місію задумала команда ESA Clean Space, Агентство придбало її як послугу у швейцарського стартапу ClearSpace SA для демонстрації технологій, необхідних для видалення сміття, і як перший крок до створення нового і стійкого комерційного сектору

у космосі. Цей проект демонструє використання технологій повторної переробки для забезпечення чистої орбіти та зменшення ризику зіткнень.

Переробка та використання ракетних компонентів. Компанія SpaceX здійснює повторну використання ракетних компонентів у своїх космічних місіях [4]. SpaceX приватно профінансувала розробку орбітальних систем запуску, які можна багаторазово використовувати, подібно до повторного використання літаків. За останнє десятиліття SpaceX розробила технології для повного та швидкого повторного використання космічних ракет-носіїв. Довгострокові цілі проекту включають повернення першого ступеня ракети-носія на стартовий майданчик протягом декількох хвилин і повернення другого ступеня на стартовий майданчик після перебудови орбіти з місцем запуску та повернення в атмосферу протягом 24 годин. Програму було оголошено в 2011 році. SpaceX вперше здійснила успішну посадку та відновлення першого ступеня в грудні 2015 року. Перший повторний політ першого ступеня, що приземлився, відбувся в березні 2017 року, а другий — у червні 2017 року. Лише через п'ять місяців після першого польоту ракети-носія. Третя спроба була зроблена в жовтні 2017 року з місією SES-11 / EchoStar-105. Перельоти відремонтованих перших ступенів тоді стали рутинною. У травні 2021 року B1051 став першим прискорювачем, який запустив десять місій [4].

Місячна програма NASA "Артеміда" передбачає створення наземної станції. Можливо, вдасться побудувати його з вторинної сировини. Але для цього знадобиться складне і дороге транспортування матеріалів із Землі. Альтернативою може бути "In Situ Resource Utilization" (ISRU) - тобто використання матеріалу, який вже знаходиться в космосі або на Місяці [8]. Для того, щоб визначити ідеальні цілі переробки, необхідно створити детальний каталог верхніх ступенів на орбіті геотранферу (GTO), включаючи склад матеріалів і використовувані компоненти. Для обертання і хитання верхніх ступенів вимірювання кривої світла вже проводяться обсерваторією Кастельгаусс і інструментом Фраунгофера FHR TIRA.

Місячний пил (реголіт) також грає особливу роль. «Разом зі своїми партнерами Orbit Recycling розробила перші прототипи ливарного заводу на Місяці, який використовує тільки реголіт і матеріали з космічного сміття», — говорить Кох [14]. «Отриманий композитний матеріал називається ALReCo». ALReCo має високу теплоємність і провідність. Тому його можна використовувати і як будівельний елемент, і як накопичувач енергії. За рахунок включення алюмінієвих конструкцій і фланців з деталей реголіту вдалося створити модульні конструкції каркаса для місячної бази.

Стійкість і безпека зовнішньої орбіти Землі і майбутній успіх космічних місій залежать від видалення накопиченого космічного сміття, що накопичувалося більш як шістьдесят років. Популяція космічного сміття в регіоні нижньої навколосемної орбіти (LEO) досягла точки, коли навколишнє середовище вважається нестабільним. Понад 8 метричних тон мертвих, виведених з експлуатації людиною об'єктів обертаються навколо планети, включаючи понад 13000 непрацюючих супутників. Наявність плаваючого сміття в низькій орбіті Землі (LEO) створює пряму фізичну перешкоду для комерційної космічної діяльності. Перед запусками ракет та доставкою корисного навантаження необхідно встановити безпечний маршрут, щоб уникнути зіткнення з об'єктами, які перебувають на орбіті. З огляду на зростаючі загори в LEO, ця задача у майбутньому стане ще більш складною. Програма роботизованого обслуговування геосинхронних супутників [13], розроблена Агентством передових оборонних дослідницьких проєктів США, спрямована на економічну переробку функціонуючих компонентів неактивних супутників та їх використання в нових космічних системах. Компанія Northrop Grumman, провідний гравець у галузі аерокосмічних і оборонних технологій, а також кілька інших малих і середніх підприємств, займаються проєктами з розробки систем переробки об'єктів на орбіті, з метою зниження витрат і ризиків, пов'язаних з запуском нових супутників.

Один з найпоширеніших способів вторинного використання літаків - це переробка матеріалів і їх перенесення в іншу галузь. [6]. Зазвичай компоненти літаків переробляються разом. Останнім часом став популярним тренд апсайклінгу, коли художники використовують деталі літаків для створення унікальних меблів. Традиційно переробляються самі матеріали, такі як алюміній і композити, які розбираються на частини і продаватимуться як сировинний матеріал. Цей матеріал може бути придбаний іншими компаніями й повторно перероблений для подальшого продажу як сировина. Електронні компоненти, такі як плати, навіть можуть бути перенесені на нові вироби, наприклад, телевізори. Використання компонентів літаків в інших цілях є ефективним способом переробки матеріалу і одночасного повернення частини витрат на літак. Однак, це все ще може бути витратним. Оскільки при колективній переробці, особливо композитних матеріалів, різні матеріали не розподіляються ідеально [9].

ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ

На основі проведених досліджень і огляду методів повторної переробки матеріалів у авіаційній та космічній галузях, можна запро-

понувати наступні рекомендації для подальших досліджень та впровадження повторної переробки матеріалів у практиці: розробка нових технологій; вдосконалення контролю якості; удосконалення процесів сортування та розмежування; розвиток стандартів та нормативів; співпраця та обмін знаннями; економічна підтримка.

Додатково, можна зазначити, що підходи, що описані у статті, мають потенціал для застосування у інших галузях промисловості. Наприклад, методи сортування матеріалів за їхніми фізичними та хімічними властивостями можуть бути використані для ефективного управління відходами в сфері виробництва, будівництва та рециклінгу. Контроль якості та процеси розмежування матеріалів можуть бути застосовані для покращення якості та ефективності виробництва в різних галузях, включаючи автомобільну промисловість, електроніку, меблеве виробництво та інші.

Крім того, технології повторної переробки, які застосовуються в авіаційній та космічній галузях, можуть бути використані для оптимізації процесів управління відходами в інших секторах промисловості. Наприклад, використання новітніх методів розмежування та очищення матеріалів може сприяти створенню ефективних систем управління відходами у виробництві пластмас, текстилю, харчовій промисловості та інших галузях.

Розповсюдження цих підходів на різні сектори промисловості може сприяти зменшенню екологічного впливу, забезпечити більш стале використання ресурсів та стимулювати розвиток економіки. Для досягнення цих цілей важливо проводити подальші дослідження, розробляти нові технології та впроваджувати ефективні стратегії управління матеріалами і відходами в різних галузях промисловості.

Посилання

1. Airbus turns to new recyclable composites - avionics international. Avionics International. URL: <https://www.aviationtoday.com/2015/01/20/airbus-turns-to-new-recyclable-composites/>
2. Boeing expands ecodemonstrator flight testing with 'explorer' airplanes, announces 2023 plan. PR Newswire: press release distribution, targeting, monitoring and marketing. URL: <https://www.prnewswire.com/news-releases/boeing-expands-ecodemonstrator-flight-testing-with-explorer-airplanes-announces-2023-plan-301809058.html>.
3. ClearSpace-1. European Space Agency. URL: https://www.esa.int/Space_Safety/ClearSpace-1.
4. Contributors to Wikimedia projects. SpaceX reusable launch system development program - Wikipedia. Wikipedia, the free encyclopedia.

URL: https://en.wikipedia.org/wiki/SpaceX_reusable_launch_system_development_program.

5. Geißler O. Recycling von Satellitenschrott und null Kollisionen im Orbit. DataCenter-Insider - das Rechenzentrums-Fachportal zu Software Defined Datacenter, Kühlung, USV, RZ-Netze, Tools, Applikationen, Middleware, OpenStack, Private Cloud, Virtualisierung. URL: <https://www.datacenter-insider.de/recycling-von-satellitenschrott-und-null-kollisionen-im-orbit-a-770206/>.

6. Holistic approaches and advanced technologies in aviation product recycling | Emerald Insight. Discover Journals, Books & Case Studies| Emerald Insight. URL: <https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/AEAT-03-2021-0068/full/html>.

7. Off-Earth manufacturing: using local resources to build a new home. European Space Agency. URL: https://www.esa.int/Enabling_Support/Preparing_for_the_Future/Discovery_and_Preparation/Off-Earth_manufacturing_using_local_resources_to_build_a_new_home

8. Overview: in-situ resource utilization. NASA. URL: <https://www.nasa.gov/isru/overview>.

9. Reusing Materials in the Aerospace Industry An Analysis of Recycling Methods and Solutions. URL: <https://commons.erau.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1291&context=db-srs/>.

10. Space junk: a recycling station could be cleaning up in Earth orbit by 2050. The Conversation. URL: <https://theconversation.com/space-junk-a-recycling-station-could-be-cleaning-up-in-earth-orbit-by-2050-119787>

11. Studie über Recycling von Weltraumschrott - Astrodrom. Astrodrom. URL: <https://astrodrom.com/spacenews/studie-ueber-recycling-von-weltraumschrott/>

12. Taking out the space trash: creating an advanced market commitment for recycling and removing large-scale space debris - federation of american scientists. Federation of American Scientists. URL: <https://fas.org/publication/taking-out-the-space-trash-creating-an-advanced-market-commitment-for-recycling-and-removing-large-scale-space-debris/>.

13. The in-space refabricator | science mission directorate. Science Mission Directorate | Science. URL: <https://science.nasa.gov/science-news/news-articles/the-in-space-refabricator>.

14. Updates from CastelGAUSS Observatory and New Partnership. GAUSS Srl - Group of Astrodynamics for the Use of Space Systems. URL: <https://www.gaussteam.com/castelgauss-orbit-recycling/>

15. Wertstoff aus dem All - InfraLab Berlin. InfraLab Berlin. URL: <https://infralab.berlin/wertstoff-aus-dem-all/>.