

Сергій Іванович Гриценко,
доктор економічних наук, професор,
академік АЕН України,
ORCID 0000-0002-3322-3986,
e-mail: sergiy.gritsenko@gmail.com,

Катерина Кирилівна Соловйова,
здобувач освітнього ступеня «Магістр»,
ORCID 0009-0008-6426-102X,
e-mail: 6860593@stud.kai.edu.ua,
Державний університет «Київський
авіаційний інститут», м. Київ

ЕКОЛОГІЗАЦІЯ ЛОГІСТИЧНОЇ СТРАТЕГІЇ ЛАНЦЮГА ПОСТАЧАНЬ АВІАЦІЙНИХ ПІДПРИЄМСТВ

Постановка проблеми. В умовах зростаючої глобальної екологічної стурбованості та усвідомлення обмеженості природних ресурсів, питання екологічної відповідальності бізнесу набуває особливої актуальності. Логістика, як невід'ємна частина підприємництва, що охоплює управління матеріальними, інформаційними та фінансовими потоками від етапу виробництва до точки споживання, відіграє значну роль у формуванні екологічного впливу підприємств. Кожен аспект логістичної діяльності суттєво позначається на стані навколишнього середовища.

Авіаційна галузь, яка відіграє ключову роль у забезпеченні глобальної економіки та мобільності, водночас є джерелом забруднення атмосфери та спричиняє суттєвий негативний вплив на якість повітря, кліматичні зміни та екосистеми планети [1]. Прямі викиди вуглекислого газу від літаків складають приблизно 2,5% від загальних світових емісій, однак якщо врахувати додаткові фактори, такі як викиди оксидів азоту та водяної пари на великих висотах, загальний вплив авіації на глобальне потепління складає близько 4%. У 2023 році обсяг авіаційних викидів майже досягнув 800 мільйонів тонн CO₂, що становить приблизно 80% від рівня, зафіксованого до початку пандемії COVID-19. Такі дані свідчать про нагальну потребу в переосмисленні логістичних стратегій авіаційних підприємств з метою їх екологізації.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дослідженню проблем екологізації ланцюгів постачання в умовах циркулярної економіки, інвестиційного розвитку авіаційних підприємств присвячено наукові праці таких вчених, як О. Соколова, М. Григорак [2], І. Новаковська, Л. Скрипник [3], С. Гриценко [4-6], Л. Савченко, С. Гриценко [7-9], Н. Трушкіна [10], М. Петрушенко [11], О. Латишева [12],

Б. Алі [13], Х. Ченг [14], Х. Ян [15], Д. Бугайко, Ю. Харазішвілі [16]. Одночасно недостатній ступінь розробки теоретико-методологічних підходів щодо екологізації ланцюгів постачання в умовах сталого розвитку свідчить про об'єктивну необхідність подальшого дослідження зазначеної наукової проблеми.

Метою дослідження є розробка теоретико-методологічних засад та практичних рекомендацій щодо екологізації логістичної стратегії ланцюга постачання авіаційних підприємств.

Виклад основного матеріалу. Фактори, що зумовлюють викиди, утворюються на кожному етапі ланцюга постачання. Розглянемо роль кожного процесу та доступні рішення для мінімізації негативних наслідків:

1. Проектування та виробництво літаків. Велика частина екологічного навантаження формується ще на етапі видобутку та переробки сировини, необхідної для виготовлення авіаційних компонентів. Видобуток металів, таких як титан та алюміній, супроводжується високим споживанням енергії, інтенсивним використанням водних ресурсів і зростанням дефіциту металів, а також значними обсягами відходів та забрудненням довкілля. Зокрема, виробництво крил і двигунів має найбільший вплив на утворення парникових газів у розрахунку на масу виробу.

Сучасне авіабудування характеризується використанням матеріалів високої чистоти та точності, що зумовлено жорсткими вимогами до експлуатації літаків в екстремальних умовах. Це також збільшує екологічний слід виробництва.

Необхідно зазначити важливість витратних матеріалів у авіаційній галузі, які включають широкий спектр продуктів для технічного обслуговування та ремонту повітряних суден. До них відносяться



мастильні та клейові матеріали, герметики, фарби та захисні покриття. Враховуючи велику кількість літаків, що експлуатуються у світі, сукупний вплив витратних матеріалів на довкілля є суттєвим.

Задля послаблення екологічних ризиків, застосовуються інноваційні методи, зокрема оптимізація конструктивної топології деталей, використання адитивних технологій (3D-друку), а також перехід до циркулярної моделі виробництва, що базується на повторному використанні матеріалів.

Вибір матеріалів для авіаційних конструкцій відіграє ключову роль у зменшенні екологічного сліду. Застосування композитних матеріалів, зокрема полімерів з вуглецевим волокном (CFRP), дозволяє значно знизити масу літаків, що, у свою чергу, зменшує витрати пального та викиди під час експлуатації. Хоча виробництво таких матеріалів є більш енергоємним у порівнянні з традиційними металами, аналіз життєвого циклу показує, що загальний екологічний вплив літаків із композитних матеріалів знижується вже після кількох десятків годин польоту. За оцінками експертів галузі, впровадження композитних конструкцій може забезпечити скорочення викидів CO₂ до 20% для окремого літака та до 15% для всього авіаційного флоту [17].

2. Експлуатація повітряних суден. Під час польотних операцій літаки спалюють авіаційне паливо, що призводить до утворення значних обсягів викидів шкідливих речовин. Основними забруднювачами є вуглекислий газ, оксиди азоту, оксиди сірки, вуглеводні, оксид вуглецю, сажа та водяна пара. Близько 90% усіх викидів припадає на крейсерську фазу польоту на висоті кількох кілометрів, де утворюються не лише прямі викиди, а й непрямі ефекти, такі як підвищена хмарність, що значно впливає на радіаційний баланс атмосфери та кліматичні умови [18]. Дослідження свідчать, що CO₂ ефекти, зокрема утворення конденсаційних слідів і зміни хмарності, можуть становити понад половину загального кліматичного впливу авіації, тоді як внесок CO₂ оцінюється приблизно у 30–35%.

Окрім викидів у повітря під час польоту, значний вплив мають наземні операції – зліт, посадка, руління та обслуговування літаків. Ці процеси супроводжуються викидами шкідливих речовин, які накопичуються в атмосфері поблизу аеропортів, що негативно впливає на якість повітря в прилеглих населених пунктах. Моніторинг атмосферного повітря у зонах впливу аеропортів показує підвищений рівень концентрації пилу та інших забруднювачів, що створює ризики для здоров'я населення.

Крім того, авіаційний шум є однією з основних локальних проблем, що викликає дискомфорт, порушення сну, стресові стани та інші негативні наслідки для мешканців прилеглих територій.

Викиди дрібнодисперсного пилу, оксидів азоту та інших токсичних речовин, що утворюються внаслідок авіаційних операцій, мають доведений не-

гативний вплив на здоров'я людини, сприяючи розвитку респіраторних, серцево-судинних захворювань та зниженню імунітету. Рівень чутливості до цих забруднювачів варіюється залежно від регіону, що пов'язано з особливостями клімату, густотою населення та іншими факторами.

Вплив авіації на біорізноманіття також є значним, оскільки забруднення повітря, шум та вібрації можуть порушувати природні екосистеми, змінювати умови проживання тварин і рослин.

До основних заходів, спрямованих на зменшення екологічного навантаження, пов'язаного з польотами та експлуатацією повітряних суден, можна віднести оптимізацію маршрутів і висоти польотів. Вибір прямих маршрутів скорочує тривалість польоту та зменшує споживання пального, тоді як польоти на більших висотах знижують опір повітря, що додатково сприяє зменшенню викидів парникових газів. Водночас зростання пасажиропотоку і розширення авіаційних вантажних перевезень викликають збільшення кількості рейсів, що ускладнює екологічну ситуацію, незважаючи на прагнення авіакомпаній максимально ефективно використовувати наявні ресурси шляхом підвищення завантаженості літаків.

Важливим кроком у напрямку декарбонізації авіації є впровадження сталого авіаційного пального (SAF) та біопалива [19; 20]. Ці альтернативні види пального здатні знизити викиди вуглецю до 80% порівняно з традиційною гасою, що робить їх перспективним інструментом у боротьбі зі зміною клімату. Паралельно з цим авіаційна індустрія активно розвиває цифрові технології, зокрема системи прогнозування погодних умов і оптимізації польотних маршрутів, що дозволяє підвищити ефективність використання пального та знизити екологічний слід.

Одним із додаткових інструментів зменшення впливу на довкілля є програми компенсації викидів, які пропонують багато авіакомпаній. Ці програми дозволяють пасажирам фінансово підтримувати проекти зі зниження вуглецевого сліду в інших секторах економіки [21].

3. Утилізація літаків, що відпрацювали свій ресурс, є важливим етапом життєвого циклу авіаційної техніки і також має значний вплив на довкілля. На сьогодні існують такі основні варіанти утилізації:

1) повторне використання деталей та компонентів – цей метод передбачає вилучення з відпрацьованих літаків окремих вузлів і агрегатів для їх подальшого застосування. Це дозволяє зменшити потребу у виробництві нових деталей і, відповідно, знизити екологічне навантаження, пов'язане з видобутком сировини та енергоспоживанням;

2) даунсайклінг – переробка матеріалів із отриманням продуктів нижчої якості, наприклад, металевого брухту, який використовується у виробництві менш відповідальних конструкцій. Хоча цей метод не зберігає первинних властивостей матеріалів, він

сприяє зменшенню обсягів відходів і знижує потребу у видобутку нової сировини;

3) спалювання певних матеріалів – використовується для утилізації органічних і деяких композитних матеріалів. Даний підхід супроводжується викидами парникових газів і токсичних речовин, що негативно впливає на атмосферу;

4) захоронення/складування – відпрацьовані літаки або їхні частини можуть зберігатися у спеціальних зонах із низькою вологістю, наприклад у пустелях, або на полігонах поблизу аеропортів. Такий підхід часто застосовується для композитних матеріалів, які важко переробити [22].

Проект Airbus PAMELA (Process for Advanced Management of End-of-Life Aircraft) показав, що понад 85% маси літака можна повторно використати або переробити. Проте реальна практика значно відстає: дослідження в США демонструють, що фактично переробляється лише близько 20% матеріалів відпрацьованих літаків [18].

Важливим екологічним аспектом є те, що викиди парникових газів при переробці металів складають лише 0,4–3,2% від викидів при виробництві первинних матеріалів, а для вуглецевого волокна – близько 10%. Це свідчить про значні переваги рециклінгу для зменшення екологічного сліду авіаційної галузі.

Наприклад, переробка титанових сплавів може знизити вплив на зміну клімату до 52% порівняно з традиційною обробкою відходів.

Цікаво, що для вуглецевих композитів захоронення на полігонах іноді є екологічно більш прийнятним варіантом, ніж переробка або спалювання. Це пояснюється повільним розкладом композитних матеріалів – лише близько 1% розкладається за перші 100 років, і приблизно 26% – за більш тривалі періоди.

Проте захоронення не позбавлене ризиків: можливе повільне вилугування важких металів і токсичних компонентів у довгостроковій перспективі, що може призвести до забруднення ґрунтів і водних ресурсів.

Основою подолання негативних наслідків транспортно-логістичної складової бізнесу є організація екологоорієнтованої стратегії ланцюга постачань.

Екологоорієнтованість визначається як стратегічна спрямованість на оптимізацію взаємодії внутрішніх компонентів системи з елементами зовнішнього екологічного середовища. Ключовою метою при цьому є досягнення стабільної рівноваги функціонування досліджуваної системи через мінімізацію небажаного екологічного сліду.

Процес формування екологоорієнтованої логістичної стратегії ланцюга постачань можна поділити на такі основні етапи:

1. Моніторинг внутрішнього та зовнішнього середовища підприємства та ланцюга постачань, виявлення екологічних тенденцій та вимог.

– Аналіз екологічних ризиків та можливостей у всьому ланцюзі постачань (від постачальників сировини до кінцевих споживачів).

– Вивчення законодавчих та нормативних екологічних вимог на національному та міжнародному рівнях.

– Оцінка екологічної діяльності конкурентів та передового досвіду в галузі екологічної логістики.

– Виявлення екологічно значущих аспектів діяльності підприємства та ланцюга постачань (викиди, відходи, споживання ресурсів тощо).

– Аналіз очікувань зацікавлених сторін (споживачів, інвесторів, громадськості) щодо екологічної відповідальності.

2. Визначення мети, завдань та принципів екологоорієнтованої логістичної стратегії ланцюга постачань.

– Формулювання стратегічної мети, спрямованої на мінімізацію негативного екологічного впливу логістичної діяльності.

– Визначення конкретних екологічних цілей (наприклад, скорочення викидів CO₂, зменшення утворення відходів, оптимізація використання ресурсів, перехід на екологічно чистий транспорт).

– Встановлення ключових принципів екологічної логістики (наприклад, сталий вибір постачальників, екологічно ефективне транспортування, зелене складування, екологічна упаковка, управління відходами).

3. Розробка альтернативних варіантів екологоорієнтованих логістичних стратегій для ланцюга постачань.

– Визначення різних підходів до інтеграції екологічних аспектів у логістичні процеси (наприклад, оптимізація маршрутів з урахуванням екологічних норм, впровадження систем зворотньої логістики, вибір екологічно чистих технологій).

– Розгляд можливостей співпраці з партнерами по ланцюгу постачань для реалізації спільних екологічних ініціатив.

4. Оцінка альтернативних варіантів екологоорієнтованих логістичних стратегій на предмет відповідності можливостям підприємства та критеріям сталого розвитку.

– Оцінка економічної доцільності та фінансової життєздатності кожного варіанту.

– Аналіз потенційного впливу на екологічні показники (скорочення викидів, зменшення відходів тощо).

– Оцінка соціальних наслідків реалізації стратегії (вплив на працівників, місцеві громади).

– Визначення рівня ризиків та можливостей, пов'язаних з кожним варіантом.

– Оцінка відповідності стратегій принципам сталого розвитку (економічна ефективність, екологічна стійкість, соціальна справедливість).

Компаніям необхідно проводити ретельний аналіз та визначення відповідних аспектів і впливів для оцінки та пріоритизації ризиків, пов'язаних з не-

гативним впливом на навколишнє середовище та людський капітал. Важливим елементом цього процесу є врахування поглядів зацікавлених сторін, які забезпечують цінну інформацію для збору даних про потенційні негативні наслідки та ідентифікації відповідних ризиків.

При застосуванні підходу, що базується на оцінці ризиків, в управлінні сталим ланцюгом постачань, слід керуватися принципом запобіжних заходів. Це передбачає, що компанії повинні прагнути до проактивних дій, спрямованих на запобігання можливим негативним впливам, а не реагувати на них постфактум.

Практична реалізація оцінки ризиків передбачає аналіз двох ключових вимірів: масштабу та ймовірності негативних впливів. При цьому, особлива увага повинна приділятися визначенню масштабу, оскільки він відображає потенційну серйозність наслідків.

Масштаб визначається на основі аналізу наступних факторів:

- Кількість осіб, які можуть зазнати негативного впливу.

- Ступінь серйозності потенційних наслідків (наприклад, загроза життю, масштабне забруднення навколишнього середовища).

- Можливість відновлення або усунення негативних наслідків (тобто, чи є вплив незворотнім).

- Ймовірність виникнення негативних впливів визначається на основі аналізу факторів, що підвищують їх вірогідність. До найбільш значущих факторів відносяться:

- Географічне розташування постачальника (країна).

- Рівень сталого розвитку постачальника.

При первинній оцінці, компаніям слід зосереджувати увагу на потенційних негативних впливах на навколишнє середовище та осіб, які можуть постраждати. Негативні впливи на навколишнє середовище можуть включати, наприклад, порушення місцевих екосистем в регіонах розташування постачальників. До категорій осіб, які можуть бути зачеплені, належать: працівники компаній-постачальників, тимчасові або трудові мігранти, залучені компанією або її постачальниками, а також місцеві громади, що знаходяться поблизу виробничих об'єктів (як власних, так і об'єктів постачальників).

5. Прийняття рішення щодо найбільш прийняттого варіанту стратегії на основі результатів оцінки, розробка детального плану її впровадження.

6. Узгодження екологоорієнтованої логістичної стратегії з іншими стратегіями підприємства (виробничою, фінансовою, маркетинговою, стратегією сталого розвитку тощо) та стратегіями партнерів по ланцюгу постачань.

- Забезпечення інтеграції екологічних цілей у загальну стратегію підприємства.

- Координація дій з іншими функціональними підрозділами для досягнення синергії.

- Встановлення партнерських відносин з постачальниками, перевізниками та іншими учасниками ланцюга постачань для спільної реалізації екологічних ініціатив.

7. Контроль за реалізацією екологоорієнтованої логістичної стратегії ланцюга постачань та оцінка її ефективності.

Для розвитку ефективної стратегії, логістичним менеджерам під час реалізації кожного з вищезазначених етапів необхідно дотримуватись таких принципів (табл. 1):

Таблиця 1

Принципи формування екологоорієнтованої логістичної стратегії

Принцип	Сутність	Інструменти реалізації
Цілісна інтеграція екологічної стійкості	Включення екологічних, соціальних та економічних факторів у всі логістичні операції	- Концепція потрійного критерію (збереження трьох видів капіталу – економічного, екологічного та соціального з метою забезпечення довгострокового економічного розвитку суспільства. - Оцінка життєвого циклу. - Принципи циркулярної економіки
Стратегічне планування та постановка цілей	Визначення чітких цілей екологічної стійкості та розробка довгострокової стратегії	- Розробка цілей за SMART-методологією, довгострокове бачення, моніторинг та оцінка (KPI)
Оптимізація та автоматизація	Оптимізація логістичних операцій з метою зменшення негативного впливу на навколишнє середовище	- Оптимізація маршрутів, оптимізація завантаження, автоматизація складів, використання різних видів транспорту
Співпраця та залучення зацікавлених сторін	Співпраця з партнерами та зацікавленими сторонами для просування екологічно орієнтованих підходів та інвестування в ініціативи сталого розвитку	- Внутрішнє залучення співробітників до використання «зелених» практик. - Партнерства, альянси
Інноваційність і технологічність	Використання технологій для підвищення екологічної стійкості логістичних операцій	- Впровадження WMS, TMS, Blockchain, AI, IoT. - Ресурсо- та енергоефективні технології, відновлювальні джерела енергії
Прозорість та звітність	Вимірювання та надання інформації про вплив логістичної діяльності на навколишнє середовище	- Вимірювання вуглецевого сліду, звітування про сталий розвиток

* Авторська розробка на основі [23].

Для досягнення максимальної ефективності та мінімізації шкоди для довкілля, важливо інтегрувати організаційно-технічні рішення, раціональне природокористування, новітні технології, маловідходні та безвідходні виробництва, а також постійно

вдосконалювати виробничі потужності. У табл. 2 представлено конкретні заходи, які можуть бути впроваджені в авіаційній галузі для забезпечення екологічної безпеки та зниження екологічного навантаження на кожному етапі ланцюга постачань.

Таблиця 2

Заходи екологізації для різних сфер авіації та етапів авіаційного ланцюга постачань

Сфера	Заходи з екологізації стратегії ланцюга постачань	Учасники заходів
Виробництво повітряних суден	- Впровадження принципів циркулярної економіки. - Використання еко-матеріалів. - Зниження вуглецевого сліду виробництва	- Виробники літаків (Airbus, Boeing, Embraer). - Постачальники компонентів (Safran, GE Aviation). - Науково-дослідні інститути. - Екологічні сертифікаційні органи
Паливно-енергетичне забезпечення	- Перехід на SAF (екологічне авіаційне паливо). - Розвиток водневих технологій. - Електрифікація коротких маршрутів	- Паливні компанії (Shell Aviation, Air BP). - Виробники двигунів (Rolls-Royce, GE). - Стартапи інноваційних палив. - Авіаперевізники. - Енергетичні компанії
Управління повітряним рухом	- Впровадження Free Route Airspace. - Оптимізація траєкторій зниження. - Технології зменшення часу очікування	- Провайдери аеронавігаційних послуг. - Органи управління повітряним рухом. - Міжнародні авіаційні організації (ICAO). - Авіаперевізники. - Розробники авіаційного ПЗ
Наземні операції та аеропортова інфраструктура	- Енергоефективні термінали. - Електрифікація наземної техніки. - Замкнуті системи водоспоживання. - Сортування та переробка відходів	- Аеропорти. - Служби аеропортового обслуговування. - Постачальники наземної техніки. - Комунальні служби
Складські та розподільчі центри	- Автоматизовані стелажні системи. - Оптимізація зберігання. - Зелені будівельні технології	- Логістичні оператори. - Постачальники складських рішень. - Розробники ПЗ для управління складами. - Аудитори
Вантажні перевезення	- Системи об'єднання вантажів. - Оптимізація процесу завантаження. - Багаторазова та легка упаковка	- Вантажні авіаперевізники. - Експедиторські компанії. - Вантажні агенти. - Виробники контейнерного обладнання. - Митні органи
Доставка «останньої милі»	- Електричний транспорт. - БПЛА. - Логістичні хаби біля аеропортів. - Консолідація поставок	- Кур'єрські служби. - Міська влада. - Транспортні компанії. - Розробники технологій доставки
Реверсивна логістика та утилізація	- Програми повторного використання деталей. - Екологічна утилізація літаків. - Рециклінг матеріалів	- Спеціалізовані компанії з утилізації. - Виробники повітряних суден. - Постачальники запчастин. - Екологічні організації та регуляторні органи
Інформаційні технології та цифровізація	- Зелені центри даних. - Оптимізація IT-інфраструктури. - Відповідальна утилізація IT-обладнання	- IT-департаменти авіакомпаній. - Постачальники IT-рішень. - Служби екологічного менеджменту. - Спеціалісти з обробки даних
Тренінги та управління персоналом	- Програми екологічного навчання. - Заохочення до імплементації зелених ініціатив. - Розвиток екологічної культури	- HR-департаменти. - Навчальні центри - Консалтингові агенції з екоменеджменту. - Галузеві асоціації
Взаємодія з партнерами та клієнтами	- Програми екологічної сертифікації постачальників. - Інтеграція екологоорієнтованих KPI в контракти та угоди. - Спільні екологічні ініціативи	- Відділи закупівель та маркетингу. - Корпоративні клієнти. - Громадські організації. - Міжнародні асоціації та альянси

* Авторська розробка на основі [2-3; 24].

На основі взаємозв'язку між принципами екологоорієнтованої логістичної стратегії та їх практичним застосуванням у різних сферах авіаційної галузі, пропонуємо комплексну модель екологізації логістичної стратегії авіаційних підприємств.

Модель включає три ключові компоненти:
1. Стратегічний рівень – формування екологічної політики, встановлення цілей та KPI, розробка довгострокового бачення.

2. Тактичний рівень – впровадження екологічних ініціатив у різних сферах авіаційного ланцюга постачань, налагодження співпраці з партнерами, розробка системи екологічного моніторингу.

3. Операційний рівень – реалізація конкретних заходів екологізації, збір та аналіз даних, підготовка звітності.

Важливою особливістю запропонованої моделі є циклічний характер процесу екологізації, який передбачає постійне вдосконалення логістичних операцій на основі аналізу досягнутих результатів та нових технологічних можливостей.

Висновки. Отже, проведене дослідження підкреслює значний вплив авіаційної галузі на довкілля на всіх етапах життєвого циклу літаків, з особливим акцентом на експлуатацію через викиди, авіаційний шум та CO₂ ефекти, що становлять понад половину загального кліматичного впливу. Для подолання цих негативних наслідків ключовим є впровадження екологоорієнтованої стратегії ланцюга постачань, спрямованої на оптимізацію взаємодії внутрішніх систем з зовнішнім екологічним середовищем для мінімізації екологічного сліду. Формування такої стратегії є поетапним процесом, що включає моніторинг, визначення цілей, розробку та оцінку альтернативних варіантів, прийняття рішень, їх узгодження та контроль реалізації. Ефективна екологізація ґрунтується на інтеграції екологічної стійкості, стратегічного планування, оптимізації, автоматизації, співпраці із зацікавленими сторонами,

інноваційності, технологічності, прозорості та звітності. Запропонована модель екологізації є циклічною, охоплюючи стратегічний, тактичний та операційний рівні, що забезпечує постійне вдосконалення логістичних операцій. Для різних сфер авіаційного ланцюга постачань розроблено конкретні заходи, такі як впровадження принципів циркулярної економіки, використання екоматеріалів, перехід на стале авіаційне паливо, оптимізація маршрутів, електрифікація наземної техніки, автоматизація складських систем, оптимізація вантажних перевезень та розвиток екологічних програм утилізації. Успішна реалізація цієї стратегії потребує активного залучення багатьох учасників – від виробників, перевізників, логістичних операторів, компаній з утилізації, до науково-дослідних інститутів та асоціацій.

Наступним етапом дослідження має стати поглиблений аналіз ефективності впроваджених екологічних заходів у реальних авіаційних логістичних процесах через моніторинг показників екологічного сліду, а також розробка рекомендацій щодо адаптації моделей екологізації для різних типів авіакомпаній та логістичних операторів по всій країні в рамках Плану відновлення від наслідків війни та розбудови інфраструктури.

Доцільно дослідити можливості масштабування запропонованих підходів до інших галузей транспорту та логістики для посилення їхнього впливу на загальний стан довкілля.

Література

1. Driving Sustainability in Aviation: How Consumables Can Reduce Environmental Impact. *www.linkedin.com*. URL: <https://www.linkedin.com/pulse/driving-sustainability-aviation-how-consumables-can-reduce-codvc>.
2. Соколова О. Є., Григорак М. Ю. Логістичний підхід до формування «зеленого» авіаційного сектору України. *Економічний простір*. 2021. Вип. 167. С. 103-110. DOI: <https://doi.org/10.32782/2224-6282/167-19>.
3. Новаковська І. О., Скрипник Л. Р. Екологічна безпека в авіаційній галузі: сучасні проблеми та шляхи їх вирішення. *Збалансоване природокористування*. 2019. № 1. С. 48-56.
4. Гриценко С. І. Моделювання системи цінностей еколанцюга постачань як домінанта транспортно-логістичних кластерів. *Вісник економічної науки України*. 2019. № 1 (36). С. 31-34. DOI: [https://doi.org/10.37405/1729-7206.2019.1\(36\).31-34](https://doi.org/10.37405/1729-7206.2019.1(36).31-34).
5. Гриценко С. І. Стратегія розвитку екологічно спрямованих транспортно-логістичних кластерів блакитного океану. *Вісник економічної науки України*. 2019. № 2. С. 151-156. DOI: [https://doi.org/10.37405/1729-7206.2019.2\(37\).151-156](https://doi.org/10.37405/1729-7206.2019.2(37).151-156).
6. Гриценко С. І. Формування екологічно спрямованої діяльності транспортно-логістичних кластерів з використанням інноваційних інтелектуальних технологій. *Cluster Policy of Innovative Development of the National Economy: Integration and Infrastructure Aspects* : collective monograph. Poznań: Wydawnictwo naukowe WSPIA, 2020. 382 p. (P 335-351).
7. Савченко Л. В., Гриценко С. І. Аналіз технологій доставки ІТІ вантажів з точки зору економічних, екологічних та соціальних витрат. *Вісник економічної науки України*. 2021. № 1 (40). С. 127-136. DOI: [https://doi.org/10.37405/1729-7206.2021.1\(40\).127-136](https://doi.org/10.37405/1729-7206.2021.1(40).127-136).
8. Гриценко С. І., Савченко Л. В. Екологістика: навч. посібник. Київ: НАУ, 2021. 260 с.
9. Grytsenko S.I., Matvieiev V.V., Savchenko L.V. *Ecologistics: Training manual for the «Bachelor» level applicants EPP «Logistics»*. Kyiv: NAU, 2022. 224 p.
10. Трушкіна Н. В. Циркулярна економіка: становлення концепції, еволюція розвитку, бар'єри, проблеми і перспективи. *Вісник економічної науки України*. 2021. № 1 (40). С. 9-20. DOI: [https://doi.org/10.37405/1729-7206.2021.1\(40\).9-20](https://doi.org/10.37405/1729-7206.2021.1(40).9-20).
11. Петрушенко М. М. Екологічна конфліктність у сфері поводження з відходами: питання управління та оподаткування. *Вісник економічної науки України*. 2019. № 1 (36). С. 101-105. DOI: [https://doi.org/10.37405/1729-7206.2019.1\(36\).101-105](https://doi.org/10.37405/1729-7206.2019.1(36).101-105).
12. Латишева О. В., Підгора Є. О., Касьянюк С. В., Неронова Л. О. Сучасний інструментарій моделювання, планування та регулювання заходів реалізації стратегії екологічно спрямованого інвестиційного розвитку підприємств країни. *Економічний вісник Донбасу*. 2022. № 1 (67). С. 76-84.
13. Ali B. et. al. Sustainable Supply Chain Management Practices for Environmental and Social Integrity. *Journal of Ecohumanism*. 2024. Vol. 3. No. 5. P. 1000-1016. DOI: <https://doi.org/10.62754/joe.v3i5.3951>.
14. Cheng H. et. al. Unlocking greener supply chains: A global innovative perspective on the role of logistics performance in reducing ecological footprints. *Journal of Innovation & Knowledge*. 2024. Vol. 9, No. 4. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jik.2024.100612>.

15. Yang H. Integrating ESG Principles in Green Supply Chain Management: Challenges and Opportunities. *Advances in Economics, Business and Management Research: Proceedings of the 2024 International Conference on Applied Economics, Management Science and Social Development (AEMSS 2024)*. DOI: https://doi.org/10.2991/978-2-38476-257-6_55.
16. Бугайко Д. О., Харазішвілі Ю. М. Теоретичні засади стратегічного управління безпекою авіаційної галузі у контексті забезпечення сталого розвитку національної економіки. *Вісник економічної науки України*. 2020. № 1 (38). С. 166-175. DOI: [https://doi.org/10.37405/1729-7206.2020.1\(38\).166-175](https://doi.org/10.37405/1729-7206.2020.1(38).166-175).
17. What share of global CO₂ emissions come from aviation? URL: <https://ourworldindata.org/global-aviation-emissions>.
18. Rupcic L. et al. Environmental impacts in the civil aviation sector: Current state and guidance. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*. 2023. Vol. 119. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.trd.2023.103717>.
19. Net zero 2050: sustainable aviation fuels. URL: <https://www.iata.org/en/iata-repository/pressroom/fact-sheets/fact-sheet-sustainable-aviation-fuels/>.
20. Sustainable Aviation Fuel is the Key to Decarbonizing Air Cargo. URL: <https://dimerco.com/resources/sustainable-aviation-fuel-is-the-key-to-decarbonizing-air-cargo/>.
21. Ecology and air transport – how to find the golden mean? URL: <https://www.amcaviation.eu/ecology-and-air-transport-how-to-find-the-golden-mean/?lang=en>.
22. Does Air Travel Significantly Impact the Environment? A Comprehensive Analysis. URL: <https://www.greenmatch.co.uk/blog/aviation-environmental-impact>.
23. Биба В. В., Пінчук Н. М., Марченко В. О. Управління розробленням логістичної стратегії як складової загальної стратегії розвитку підприємства. *Ефективна економіка*. 2023. Вип. 10. DOI: <https://doi.org/10.32702/2307-2105.2023.10.36>.
24. Logan J., Tunkel D. Life Cycle Assessment in Aviation: A Comparative Study of CO₂ Emissions and Reduction Strategies. 2024. URL: https://www.researchgate.net/publication/384256863_Life_Cycle_Assessment_in_Aviation_A_Comparative_Study_of_CO2_Emissions_and_Reduction_Strategies.

References

1. Driving Sustainability in Aviation: How Consumables Can Reduce Environmental Impact. *www.linkedin.com*. Retrieved from <https://www.linkedin.com/pulse/driving-sustainability-aviation-how-consumables-can-reduce-codvc>.
2. Sokolova, O. Ye., Hryhorak, M. Yu. (2021). Lohistychnyi pidkhdid do formuvannya «zelenoho» aviatsiinoho sektoru Ukrainy [Logistics approach to the formation of a "green" aviation sector of Ukraine]. *Ekonomichnyi prostir – Economic Space*, Issue 167, pp. 103-110. DOI: <https://doi.org/10.32782/2224-6282/167-19> [in Ukrainian].
3. Novakovska, I. O., Skrypnyk L. R. Ekolohichna bezpeka v aviatsiinii haluzi: suchasni problemy ta shliakhy yikh vyrishennia [Environmental safety in the aviation industry: current problems and ways to solve them]. *Zbalansovane pryrodokorystuvannia – Balanced nature management*, 1, pp. 48-56 [in Ukrainian].
4. Grytsenko, S. I. (2019). Modeliuvannia systemy tsinnosti ekolantsiua postachan yak dominanta transportno-lohistrychnykh klasteriv [Design of the System of Values of Ecochain Deliveries as Dominant of Transport-Logistic Clusters]. *Visnyk ekonomichnoi nauky Ukrainy*, 1 (36), pp. 31-34. DOI: [https://doi.org/10.37405/1729-7206.2019.1\(36\).31-34](https://doi.org/10.37405/1729-7206.2019.1(36).31-34). [in Ukrainian].
5. Grytsenko, S. I. (2019). Stratehiia rozvytku ekolohichno spriamovanykh transportno-lohistrychnykh klasteriv blakytynoho okeanu [Development Strategy for Environmentally-Oriented Transport and Logistics Clusters of the Blue Ocean]. *Visnyk ekonomichnoi nauky Ukrainy*, 2, pp. 151-156. DOI: [https://doi.org/10.37405/1729-7206.2019.2\(37\).151-156](https://doi.org/10.37405/1729-7206.2019.2(37).151-156) [in Ukrainian].
6. Grytsenko, S. I. (2020). Formuvannia ekolohichno spriamovanoi diialnosti transportno-lohistrychnykh klasteriv z vykorystanniam innovatsiinykh intelektualnykh tekhnolohii [Formation of environmentally oriented activities of transport and logistics clusters using innovative intelligent technologies]. *Cluster Policy of Innovative Development of the National Economy: Integration and Infrastructure Aspects* : collective monograph. Poznań, Wydawnictwo naukowe WSPIA. 382 p. [in Ukrainian].
7. Savchenko, L. V., Grytsenko, S. I. (2021). Analiz tekhnolohii dostavky ltl vantazhiv z tochyky zoru ekonomichnykh, ekolohichnykh ta sotsialnykh vytrat [Analysis of LTL Delivery Technologies in Terms of Economic, Environmental and Social Costs]. *Visnyk ekonomichnoi nauky Ukrainy*, 1 (40), pp. 127-136. DOI: [https://doi.org/10.37405/1729-7206.2021.1\(40\).127-136](https://doi.org/10.37405/1729-7206.2021.1(40).127-136) [in Ukrainian].
8. Grytsenko, S. I., Savchenko, L. V. (2021). Ekolohistyka [Ecology]. Kyiv, NAU. 260 p. [in Ukrainian].
9. Grytsenko, S. I., Matvieiev, V. V., Savchenko, L. V. (2022). Ecologistics: Training manual for the «Bachelor» level applicants EPP «Logistics». Kyiv, NAU. 224 p.
10. Trushkina, N. V. (2021). Tsyrukuliarna ekonomika: stanovlennia kontseptsii, evoliutsiia rozvytku, bariery, problemy i perspektyvy [Circular Economics: Concept Formation, Evolution of Development, Barriers, Problems and Prospects]. *Visnyk ekonomichnoi nauky Ukrainy*, 1 (40), pp. 9-20. DOI: [https://doi.org/10.37405/1729-7206.2021.1\(40\).9-20](https://doi.org/10.37405/1729-7206.2021.1(40).9-20) [in Ukrainian].
11. Petrusenko, M. M. (2019). Ekolohichna konfliktnist u sferi povodzhennia z vidkhodamy: pytannia upravlinnia ta opodatkovannia [Environmental conflicts in the field of waste management: management and taxation]. *Visnyk ekonomichnoi nauky Ukrainy*, 1 (36), pp. 101-105. DOI: [https://doi.org/10.37405/1729-7206.2019.1\(36\).101-105](https://doi.org/10.37405/1729-7206.2019.1(36).101-105) [in Ukrainian].
12. Latysheva, O. V., Pidhora, Ye. O., Kasianiuk, S. V., Neronova, L. O. (2022). Suchasnyi instrumentarii modeliuvannia, planuvannia ta rehuliuвання zakhodiv realizatsii stratehii ekolohichno spriamovanoho investytsiinoho rozvytku pidpriemstv krainy [Modern Tools for Modeling, Planning and Regulation of Measures to Implement the Strategy of Environmentally Friendly investment Development of Enterprises in the Country]. *Ekonomichnyi visnyk Donbasu – Economic Herald of the Donbas*, 1 (67), pp. 76-84 [in Ukrainian].
13. Ali, B. et. al. (2024). Sustainable Supply Chain Management Practices for Environmental and Social Integrity. *Journal of Ecohumanism*, Vol. 3, No. 5, pp. 1000-1016. DOI: <https://doi.org/10.62754/joe.v3i5.3951>.
14. Cheng, H. et. al. (2024). Unlocking greener supply chains: A global innovative perspective on the role of logistics performance in reducing ecological footprints. *Journal of Innovation & Knowledge*, Vol. 9, No. 4. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jik.2024.100612>.
15. Yang, H. (2024). Integrating ESG Principles in Green Supply Chain Management: Challenges and Opportunities. *Advances in Economics, Business and Management Research: Proceedings of the 2024 International Conference on Applied Economics, Management Science and Social Development (AEMSS 2024)*. DOI: https://doi.org/10.2991/978-2-38476-257-6_55.

16. Bugayko, D. O., Kharazishvili, Yu. M. (2020). Teoretychni zasady stratehichnoho upravlinnia bezpekoiu aviatsiinoi haluzi u konteksti zabezpechennia staloho rozvytku natsionalnoi ekonomiky [Theoretical foundations of the aviation industry strategic safety management in the context of ensuring sustainable development of the national economy]. *Visnyk ekonomichnoi nauky Ukrainy*, 1 (38), pp. 166-175. DOI: [https://doi.org/10.37405/1729-7206.2020.1\(38\).166-175](https://doi.org/10.37405/1729-7206.2020.1(38).166-175) [in Ukrainian].
17. What share of global CO₂ emissions come from aviation? Retrieved from <https://ourworldindata.org/global-aviation-emissions>.
18. Rupcic, L. et al. (2023). Environmental impacts in the civil aviation sector: Current state and guidance. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*. Vol. 119. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.trd.2023.103717>.
19. Net zero 2050: sustainable aviation fuels. Retrieved from <https://www.iata.org/en/iata-repository/pressroom/fact-sheets/fact-sheet-sustainable-aviation-fuels/>.
20. Sustainable Aviation Fuel is the Key to Decarbonizing Air Cargo. Retrieved from <https://dimerco.com/resources/sustainable-aviation-fuel-is-the-key-to-decarbonizing-air-cargo/>.
21. Ecology and air transport – how to find the golden mean? Retrieved from <https://www.amcaviation.eu/ecology-and-air-transport-how-to-find-the-golden-mean/?lang=en>.
22. Does Air Travel Significantly Impact the Environment? A Comprehensive Analysis. Retrieved from <https://www.greenmatch.co.uk/blog/aviation-environmental-impact>.
23. Byba, V. V., Pinchuk, N. M., Marchenko, V. O. (2023). Upravlinnia rozroblenniam lohistychnoi stratehii yak skladovoi zahalnoi stratehii rozvytku pidpriemstva [Management of the development of a logistics strategy as a component of the general strategy of the development of the enterprise]. *Efektivna ekonomika*, 10. DOI: <https://doi.org/10.32702/2307-2105.2023.10.36> [in Ukrainian].
24. Logan, J., Tunkel, D. (2024). Life Cycle Assessment in Aviation: A Comparative Study of CO₂ Emissions and Reduction Strategies. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/384256863_Life_Cycle_Assessment_in_Aviation_A_Comparative_Study_of_CO2_Emissions_and_Reduction_Strategies.

Гриценко С. І., Соловійова К. К. Екологізація логістичної стратегії ланцюга постачань авіаційних підприємств

У статті розглянуто актуальні питання екологічного впливу авіаційної логістики на довкілля, зокрема викиди парникових газів, забруднення повітря, шумове навантаження та вплив на біорізноманіття. Проаналізовано основні джерела негативного впливу на різних етапах життєвого циклу повітряних суден – від проектування та виробництва до експлуатації та утилізації. Визначено ключові фактори, що зумовлюють екологічний слід авіації, а також інноваційні підходи до зменшення впливу: використання композитних матеріалів, сталого авіаційного пального, оптимізації маршрутів, рециклінгу та програми компенсації викидів. Особливу увагу приділено формуванню екологоорієнтованої стратегії ланцюга постачань, що передбачає моніторинг, оцінку ризиків, інтеграцію екологічних цілей у загальну стратегію підприємства та постійний контроль ефективності.

Ключові слова: ланцюг постачань, стратегія, екологічний вплив, викиди парникових газів, життєвий цикл літака, екологічне авіаційне паливо.

Grytsenko S., Soloviova K. Ecologization of the Logistics Strategy of Aviation Enterprises' Supply Chain

The article examines current issues of the effect of aviation logistics on the environment, particularly greenhouse gas emissions, air pollution, noise pollution, and impacts on biodiversity. The main sources of negative impact at different stages of the aircraft life cycle—from design and production to operation and disposal – were analyzed. Key factors determining aviation's ecological footprint are identified, along with innovative approaches to reducing impact: use of composite materials, sustainable aviation fuel, route optimization, recycling, and emissions compensation programs. Special attention is paid to the formation of an ecologically oriented supply chain strategy, which includes emissions monitoring, risk assessment, integration of environmental goals into the overall enterprise strategy, and continuous performance control.

Keywords: supply chain, strategy, environmental impact, greenhouse gas emissions, aircraft life cycle, sustainable aviation fuel.

Стаття надійшла до редакції 16.01.2025
Рецензовано: 18.02.2025