

Практична робота №1

Тема: «Розрахунок та аналіз Екологічного сліду (Ecological Footprint) і Вуглецевого сліду (Carbon Footprint) пасажирських перевезень різними видами транспорту»

Мета роботи: Ознайомити майбутніх менеджерів транспортної галузі з методикою кількісної оцінки екологічного та вуглецевого слідів пасажирських перевезень; навчити аналізувати дані та приймати обґрунтовані управлінські рішення щодо зниження антропогенного навантаження на довкілля.

МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ

Для ефективного управління транспортними системами в умовах сучасних екологічних викликів і глобального переходу до сталого розвитку майбутні менеджери повинні чітко розуміти базові категорії екологічної бухгалтерії. Транспортний сектор є одним із найбільших джерел антропогенного тиску на біосферу, тому кількісна оцінка його наслідків базується на двох ключових концепціях: **Вуглецевому сліді (Carbon Footprint)** та **Екологічному сліді (Ecological Footprint)**.

Вуглецевий слід (Carbon Footprint) пасажирських перевезень

Вуглецевий слід — це сукупність усіх викидів парникових газів (передусім вуглекислого газу CO₂, метану CH₄ та оксиду азоту N₂O, які прямо чи опосередковано утворюються в результаті життєдіяльності людини, виробничого процесу або функціонування транспортного засобу, виражена в одиницях CO₂ - еквіваленту CO_{2eq}*.

CO_{2eq} (або **еквівалент вуглекислого газу** від англ. Carbon Dioxide Equivalent) — це уніфікована одиниця вимірювання, яка використовується для порівняння та підсумовування впливу різних парникових газів на глобальне потепління.

У транспортній логістиці для порівняння ефективності різних видів сполучення використовують показник **питомих викидів (Emission Factor — EF)** на один пасажиро-кілометр (пас* км). Формула розрахунку вуглецевого сліду виглядає так:

$$CF = L * EF$$

де:

CF — загальний обсяг викидів парникових газів (у грамах або кілограмах CO₂);

L — довжина маршруту або пройдена відстань (у кілометрах);

EF — коефіцієнт інтенсивності викидів для конкретного виду транспорту з урахуванням середньої заповнюваності салону.

Фактори, що формують вуглецевий слід транспорту:

- **Тип двигуна та енергоносія:** Найвищі показники у двигунів внутрішнього згоряння (особливо бензинових і старих дизельних). Електричний транспорт (потяги, трамваї, електромобілі) має нульові викиди безпосередньо під час руху, проте його реальний слід залежить від способу генерації електроенергії в регіоні (теплові електростанції на вугіллі чи газі суттєво збільшують цей показник порівняно з атомною чи відновлюваною енергетикою).

- **Коефіцієнт заповнюваності:** Це ключовий управлінський параметр. Якщо автобус розрахований на 50 пасажирів, але їде лише з двома, вуглецевий слід у розрахунку на одного пасажирів зростає в десятки разів, наближаючись до показників неефективного особистого авто.

- **Аеродинамічний опір та швидкість:** У повітряному та швидкісному автомобільному транспорті витрата палива нелінійно зростає зі збільшенням швидкості через зростання опору повітря.

Екологічний слід (Ecological Footprint)

Якщо вуглецевий слід вимірює лише масу викинутих парникових газів, то **екологічний слід** (розроблений у концепції Вільяма Реа та Матіаса Вакарнагеля) є ширшим комплексним показником. Він переводить усі форми антропогенного впливу (споживання палива, викиди, відчуження земель під інфраструктуру — дороги, аеропорти, залізничні колії) у площу продуктивної земної та водної поверхні, яка необхідна для:

- Поглинання та нейтралізації утворених викидів CO₂ (насамперед за рахунок лісових масивів та біоценозів);
- Забезпечення ресурсів для виробництва транспортної інфраструктури та енергоносіїв.

У практичній екології та менеджменті прийнято вважати глобальну здатність екосистем до асиміляції: в середньому 1 гектар глобального лісу здатний поглинути близько 1.4 тони CO₂ на рік. Таким чином, перевезення пасажирів літаком або важким автотранспортом створює настільки масивний викид парникових газів, що для його нейтралізації потрібні площі біосфери, які у сотні разів перевищують площу самих транспортних коридорів.

Для переведення вуглецевого сліду в площу екосистем, що поглинають викиди (EF_{eco}), використовується глобальний коефіцієнт асиміляції (в середньому 1 гектар (10000м²) лісу здатний поглинути приблизно 1.4 тони CO₂ на рік, або 1400000г CO₂):
(Для спрощення розрахунків у практичній роботі студенти переводять кілограми CO₂ у квадратні метри екосистем).

$$EF_{eco} = \frac{CF \text{ (у грамах)}}{\text{Поглинаюча здатність 1 га}}$$

Управлінське значення для транспортного менеджера

Для фахівців із менеджменту транспорту розуміння цих двох концепцій дозволяє вирішувати такі завдання:

- **Екологічний аудит:** Обґрунтування переваг масових видів транспорту (залізничного, міського електричного, автобусних пасажирських хабів) перед приватним автотранспортом і малою авіацією.

- **Зелена логістика (Green Logistics):** Впровадження управлінських інструментів оптимізації маршрутів, підвищення коефіцієнта заповнюваності транспортних засобів, стимулювання переходу на альтернативні види палива (біопаливо, водневі технології, електротранспорт) задля мінімізації кліматичного й екологічного наслідків.

ВИКОНАННЯ РОБОТИ

Розрахунок вуглецевого сліду (Carbon Footprint) для кожного виду транспорту

Використовується формула: $CF = L \cdot EF$

Приклад розрахунку для залізничного транспорту:

$$CF_{\text{залізниця}} = 500 \text{ км} \cdot 35 \text{ г CO}_2 / \text{пас} \cdot \text{км} = 17500 \text{ г CO}_2 = 17,5 \text{ кг CO}_2$$

Розрахунок екологічного сліду (Ecological Footprint)

Використовується формула :

$$EF_{\text{есо}} = \frac{CF \text{ (у грамах)}}{\text{Поглинаюча здатність 1 га}}$$

Вид транспорту	Довжина маршруту (L, км)	Питомі викиди (EF, г/пас*км)	Вуглецевий слід (CF, кг CO ₂) (розрахувати)	Відносна екологічна ефективність (оцінити)
Особистий автомобіль	500	150		
Міжміський автобус	500	68		
Залізничний транспорт	500	35		
Цивільна авіація	500	280		

КЕЙС №1: «ВИБІР ОПТИМАЛЬНОГО МАРШРУТУ ДЛЯ ДІЛОВОЇ ПОЇЗДКИ ДЕЛЕГАЦІЇ»

- **Управлінська ситуація:**

Компанія-перевізник відправляє делегацію з 1 менеджерки на конференцію до сусіднього міста. Відстань між містами становить **350 км**. Менеджмент розглядає три варіанти транспортування:

1. Особистий бензиновий автомобіль (у салоні їде лише 1 людина).
2. Міжміський рейсовий автобус (питомі викиди — 68 г CO₂/ пас*км).
3. Регулярний потяг (електропоїзд, питомі викиди — 35 г CO₂/ пас*км).

- **Завдання для студента:**

1. Розрахуйте вуглецевий слід (CF) у кілограмах CO₂ для кожного з трьох варіантів на дистанції 350 км.
2. За допомогою табличного коефіцієнта поглинання (7.14 м²/кг) визначте екологічний слід (EF_{есо}) у квадратних метрах для кожного виду транспорту.
3. **Питання для обґрунтування:** Який варіант ви оберете як керівник для мінімізації екологічного збитку, якщо всі види транспорту доїжджають до пункту призначення приблизно за однаковий час?

КЕЙС №2: «ЕКОНОМІКА ЗАПОВНЮВАНOSTІ: АВТОМОБІЛЬ ПРОТИ АВТОБУСА»

- **Управлінська ситуація:**

Група з 4 колег має подорожувати на відстань **600 км**. Вони стоять перед вибором: їхати чотирма окремими особистими автомобілями (по 1 людині в кожному) чи об'єднатися і поїхати в одному автомобілі, або скористатися міжміським автобусом.

*Питомі викиди одного особистого автомобіля становлять 150 г CO₂/ пас*км (коли в салоні 1 водій).* Якщо в авто їде N пасажирів, загальні викиди машини діляться порівну на всіх.

- **Завдання для студента:**

1. Розрахуйте загальний та індивідуальний вуглецевий слід (CF) на одного пасажирів для ситуації, коли **4 особи їдуть у 4 різних авто**.
2. Розрахуйте індивідуальний вуглецевий слід на одну особу, якщо **ці ж 4 особи їдуть разом в одному автомобілі**. Переведіть отримане значення у площу екологічного сліду (м²).
3. **Питання для обґрунтування:** Як коефіцієнт заповнюваності (Load Factor*) впливає на екологічну ефективність автотранспорту? Сформулюйте управлінську рекомендацію для транспортної компанії щодо стимулювання спільного використання автомобілів (карпулінгу) серед співробітників.

Load Factor (коефіцієнт заповнюваності або коефіцієнт завантаження) — це ключовий показник у транспортному менеджменті та логістиці, який відображає ступінь використання місткості транспортного засобу (пасажирських місць або вантажопідйомності).

Він вимірюється у відсотках і показує, яка частина доступної ємності фактично зайведена під час перевезення.

Як це працює на практиці:

- **У пасажирському транспорті:** Якщо в автобусі на 50 місць зайнято 40 білетів, то коефіцієнт заповнюваності (Load Factor) становить **80%**.
- **Екологічне значення:** Load Factor є критично важливим для розрахунку реального вуглецевого сліду на одного пасажирів. Чим вищий коефіцієнт заповнюваності транспортного засобу (наприклад, повністю заповнений потяг чи автобус), тим менша кількість викидів CO_2 припадає на кожного окремого пасажирів. І навпаки: якщо автомобіль їде на 500 км лише з одним водієм із п'яти можливих місць, його екологічна ефективність різко падає, а вуглецевий слід на людину стає максимальним.

КЕЙС №3: «ДИЛЕМА ЛОГІСТА: НАЗЕМНИЙ КОРИДОР ЧИ ВНУТРІШНЬОКОНТИНЕНТАЛЬНА АВІАЦІЯ»

- **Управлінська ситуація:**

Для термінової доставки керівника на міжнародну зустріч на відстань **800 км** розглядаються два альтернативні транспортні рішення:

1. Швидкісний залізничний транспорт (електропоїзд із питомими викидами $35 \text{ г CO}_2 / \text{пас} \cdot \text{км}$).
2. Реактивний літак цивільної авіації (на коротких відстанях із урахуванням висотних ефектів питомі викиди становлять $280 \text{ г CO}_2 / \text{пас} \cdot \text{км}$)

- **Завдання для студента:**

1. Виконайте розрахунок вуглецевого сліду (CF у кг CO_2) для поїздки залізницею та літаком на відстань 800 км.
2. Визначте площу екологічного сліду (EFeco в м^2) для обох варіантів.
3. Визначте у скільки разів екологічний слід авіаперевезення перевищує залізничний варіант.
4. **Питання для обґрунтування:** Уявіть себе транспортним менеджером корпорації. Час у дорозі потягом становить 8 годин, літаком — 1.5 години (з урахуванням реєстрації). Яке управлінське рішення ви приймете, якщо політика компанії базується на концепції сталого розвитку (Green Logistics*), але терміновість переговорів є критичною? Які компромісні варіанти можна запропонувати?

Green Logistics (зелена логістика) — це концепція та комплекс управлінських і технічних заходів, спрямованих на мінімізацію негативного впливу транспортної та логістичної діяльності на довкілля і клімат.

Цей підхід охоплює всю ланку постачання (перевезення, складування, пакування, управління запасами) та прагне досягти балансу між економічною ефективністю бізнесу та екологічною стійкістю.

Головні цілі та завдання Green Logistics:

1. **Зниження викидів парникових газів (CO_2ed):** Перехід на екологічні види палива, електротранспорт, оптимізація маршрутів для зменшення спалювання пального.
2. **Максимізація ефективності (Load Factor):** Підвищення коефіцієнта заповнюваності транспортних засобів, щоб одна поїздка перевозила більшу кількість пасажирів чи вантажів, знижуючи слід на одиницю (наприклад, розвиток громадського транспорту, залізниці чи мультимодальних/контрейлерних перевезень).
3. **Мінімізація відходів та забруднення:** Використання екологічної упаковки, скорочення рівня шуму, боротьба з викидами мікрочастинок сажі й токсичних сполук вздовж транспортних коридорів.
4. **Управлінське планування:** Впровадження міжнародних стандартів (таких як стандарти вихлопів Euro, екологічний аудит, системи компенсації викидів на кшталт CORSIA в авіації).

Для майбутніх фахівців транспортної галузі розуміння Green Logistics означає вміння проектувати такі логістичні системи, які не руйнують прикордонні екосистеми і мінімізують вуглецевий слід (CF).

«МІСІЯ: ЗЕЛЕНИЙ РЕДИЗАЙН КОРПОРАТИВНОГО ТУРНЕ» (ТВОРЧО-УПРАВЛІНСЬКИЙ КЕЙС)

- **Легенда завдання:**

Ви — команда провідних еко-консультантів із логістики. Вашого клієнта, велику міжнародну ІТ-компанію, спіймали на «грінвошингі» (false green marketing): їхнє керівництво гучно заявляє про сталий розвиток, але щомісяця відправляє топ-менеджмент із 5 людей на переговори до сусідньої столиці (відстань **700 км в один бік**) виключно приватними літаками або одиночними бізнес-автомобілями. Завдання компанії — повністю переосмислити цю політику на наступний рік, зберігши ефективність бізнесу, але різко скоротивши показники CF та EFeco.

- **Що потрібно зробити студентам (Алгоритм дій):**

1. **Аудит реальності:** Розрахувати загальний річний вуглецевий слід (CF) і площу екологічного сліду (EFeco) для 12 таких поїздок на рік, якщо делегація з 5 людей літає туди-назад реактивним літаком (280 г CO₂пас*км).
2. **Альтернативне проєктування (Green Logistics):** Розробити «Зелену мандрівну хартію» для компанії. Замінити авіаперельоти на мультимодальний або комбінований маршрут (наприклад, поєднати швидкісний залізничний транспорт у першій частині маршруту з корпоративним електромобілем наповну з 5 пасажирями).
3. **Презентація рішення (Творчий елемент):** Створити коротку пітч-презентацію (або рекламний слоган/постер) для Ради директорів компанії, де обґрунтувати, скільки квадратних метрів лісу вони врятовують на рік завдяки цій зміні, і як це покращить їхній імідж.

«ЕКОЛОГІЧНИЙ ДЕТЕКТИВ: ЧОМУ МІСЬКИЙ КОРИДОР ЗАДИХАЄТЬСЯ?»

(ГРУПОВА РОЛЬОВА ГРА-РОЗСЛІДУВАННЯ)

- **Легенда завдання:**

Уздовж ключового міжнародного транспортного коридору, що проходить повз велике місто, зафіксовано катастрофічне зростання екологічного сліду, масові скарги мешканців на смог та руйнування придорожніх біоценозів. Студенти діляться на три команди-ролі:

- *Команда А (Логістичні оператори вантажних автопарків)*
- *Команда Б (Екологічна інспекція та урбаністи)*
- *Команда В (Місцева влада та транспортні менеджери пасажирських перевезень)*

- **Що потрібно зробити студентам (Алгоритм дій):**

1. **Моделювання ситуації:** Команда А готує аргументи про те, чому перевізники масово використовують старі дизельні вантажівки та чому важко контролювати транскордонний викид оксидів азоту (NO_x) і твердих часток (PM_{2.5}).
2. **Управлінський контр-удар:** Команда Б проводить «розслідування» за допомогою формул екологічного сліду, доводячи, які саме збитки наносяться прикордонним екосистемам і скільки гектарів лісу потрібно для нейтралізації цього шлейфу.
3. **Спільний вихід:** Команда В зобов'язана запропонувати інноваційне управлінське рішення для розв'язання проблеми. Наприклад, запровадити **контрейлерні перевезення** (перевезення фур на залізничних платформах) або жорстко обмежити рух транзитного автотранспорту в години пік, перенаправивши пасажиропотоки на муніципальний електротранспорт.
4. **Фінал:** Проведення міні-дебатів і винесення спільного «регламенту зеленої логістики» для цього коридору.