

Самостійна робота №6

Тема : «Специфіка впливу залізничного, автомобільного та повітряного транспорту на довкілля»

У сучасній глобалізованій економіці повітряний та міжнародний автомобільний і залізничний транспорт забезпечують найвищу швидкість переміщення вантажів та пасажирів. Проте стрімке зростання обсягів перевезень неминуче супроводжується масштабним антропогенним тиском на атмосферне повітря. Для майбутніх менеджерів транспортної галузі критично важливо розуміти, що вплив транспорту не обмежується лише приземними міськими викидами. Особливу небезпеку становлять емісії, що здійснюються на великих висотах (в авіації), а також забруднення, яке долає державні кордони вздовж ключових транзитних магістралей. Вивчення цих процесів дозволяє приймати обґрунтовані управлінські рішення в рамках міжнародної логістики та екологічного контролю.

Специфіка авіаційних емісій у верхніх шарах атмосфери

Авіаційний транспорт займає унікальну екологічну нішу, оскільки більша частина його викидів потрапляє не в приземний шар (тропосферу), а у верхні шари тропосфери та нижню стратосферу на висотах від 9 до 12 кілометрів. Хімічний склад продуктів згоряння авіаційних реактивних двигунів є надзвичайно складним і включає вуглекислий газ CO_2 , водяну пару H_2O , оксиди азоту NO_x , оксиди сірки SO_x , а також сажу і незгорілі вуглеводні.

Головна специфіка висотних емісій полягає в тому, що атмосфера на таких висотах характеризується низькими температурами, розрідженістю та особливою циркуляцією повітряних мас. Унаслідок цього час життя забруднюючих речовин у верхніх шарах є значно більшим, ніж біля поверхні Землі, де вони швидко розсіюються або змиваються опадами. Викиди оксидів азоту на крейсерських висотах польоту запускають фотохімічні реакції, які активно руйнують стратосферний озон, що виконує захисну функцію від ультрафіолетового випромінювання.

Крейсерська висота польоту (англ. *cruising altitude*) — це стабільна висота, на якій повітряне судно (літак) здійснює основну, найдовшу частину свого польоту між пунктами вильоту та призначення.

Цей термін походить від морського поняття «крейсерський хід» (найбільш економічний і стабільний режим руху судна на маршруті). У цивільній авіації крейсерська висота зазвичай досягається після завершення етапу зльоту та набору висоти, і на ній літак летить більшу частину часу до початку зниження та посадки.

Чому ця висота важлива для авіації та екології?

Максимальна паливна ефективність: На крейсерських висотах (зазвичай від 9 до 12 кілометрів або від 30 000 до 40 000 футів) повітря є значно розрідженим. Це створює набагато менший аеродинамічний опір для літака порівняно з нижніми шарами атмосфери, дозволяючи розвивати високу швидкість за мінімально можливої витрати палива на кілометр шляху.

Екологічний аспект висотних викидів: Саме на крейсерських висотах реактивні двигуни спалюють основну масу палива і здійснюють свої викиди CO_2 , оксиди азоту, водяна пара). Оскільки ці шари атмосфери (верхня тропосфера та нижня стратосфера) мають дуже низькі температури й специфічну циркуляцію, продукти згоряння там не розсіюються так швидко, як біля землі, і формують інверсійні сліди чи активно впливають на озоновий шар.

Внесок авіації у глобальний парниковий ефект та формування інверсійних слідів

Внесок авіації у зміну клімату вимірюється не лише прямим викидом парникового газу — вуглекислого газу CO_2 , але й специфічними висотними ефектами, які разом створюють потужний радіаційний вплив:

Інверсійні сліди: Під час згоряння палива у холодних верхніх шарах атмосфери водяна пара миттєво конденсується навколо часток сажі та замерзає, утворюючи штучні перисті хмари. Ці сліди здатні розростатися в широкі хмарні масиви, які вільно пропускають сонячну радіацію до поверхні Землі, але ефективно затримують і відбивають назад теплове (інфрачервоне) випромінювання планети. Цей ефект затримання тепла уночі та вдень суттєво підсилює глобальне потепління.

Кумулятивний кліматичний слід: Згідно з дослідженнями Міжнародної організації цивільної авіації (ICAO) та наукових екологічних інститутів, не- CO_2 ефекти авіації (зокрема утворення перильних хмар та хімічні зміни рівня озону й метану) у кілька разів перевищують вплив від самого лише виділеного авіапалива CO_2 . Це робить авіацію одним із найагресивніших факторів антропогенного впливу на кліматичну систему в розрахунку на одного пасажиро-кілометр.

Особливості транскордонного забруднення вздовж міжнародних транспортних коридорів

Міжнародні транспортні коридори (МТК) — це сукупність магістральних транспортних комунікацій (автомобільних, залізничних, водних), які з'єднують національні транспортні системи з європейською та світовою мережами. Специфіка таких коридорів полягає в концентрації величезних потоків транзитних вантажних і пасажирських перевезень на обмежених географічних напрямках.

Оскільки шкідливі речовини, що викидаються двигунами транспортних засобів, не визнають адміністративних чи державних кордонів, виникає феномен **транскордонного перенесення забруднення**. Викиди оксидів азоту NO_x , сірки SO_x та мікрочастинок сажі підхоплюються повітряними потоками та переносяться на сотні й тисячі кілометрів від джерела.

Особливо гостро ця проблема проявляється у прикордонних регіонах та вздовж інтенсивних автошляхів європейського напрямку. Наприклад, вихлопні гази тисяч важких вантажівок, що рухаються транзитними коридорами, формують хронічне забруднення повітря не лише в зоні самої дороги, а й спричиняють утворення вторинних загроз — кислотних дощів та фотохімічного смогу, які випадають на території сусідніх держав, руйнуючи трансграничні лісові екосистеми, водойми та сільськогосподарські угіддя.

Нижче наведено детальний розбір механізмів, чинників та наслідків цього явища.

1. Фізико-хімічні механізми транскордонного перенесення забруднень

Вихлопні гази двигунів внутрішнього згоряння (особливо дизельних двигунів вантажівок), а також знос дорожнього покриття і гальмівних колодок генерують мільйони тонн токсичних сполук. До ключових компонентів належать:

- **Оксиди азоту NO_x :** Речовини, що утворюються при високих температурах у камерах згоряння двигунів.
- **Діоксид сірки SO_x :** Потрапляє в повітря в результаті спалювання моторного палива, що містить сірчисті сполуки.
- **Тверді частки (PM_{2.5} та PM₁₀) і сажа:** Мікроскопічні фрагменти, здатні утримуватися в повітрі тривалий час.

Тверді частки (PM2.5 та PM10) — це суміш мікроскопічних твердих і рідких крапельин, що перебувають у завислому стані в повітрі. Абревіатура **PM** походить від англійського терміна *Particulate Matter* (тверді частинки), а цифри вказують на максимальний діаметр цих часток у мікронах.

Детальна розшифровка та характеристика кожного типу:

PM10 (Грубодисперсні частки)

- **Розмір:** Частинки з діаметром **менше 10 мікронів** (для порівняння: товщина людської волосини становить від 50 до 70 мікронів).
- **Що входить:** Пил, пилок рослин, спори цвілі, частки ґрунту, асфальту та гуми, що стираються під час руху транспорту.
- **Вплив на організм:** Через свій розмір частки PM10 осідають переважно у верхніх дихальних шляхах (носоглотці, трахеї) і великих бронхах. Вони можуть викликати подразнення слизових оболонок, кашель, чхання, а також загострення бронхіальної астми та алергічних реакцій.

PM2.5 (Дрібnodисперсні / ультрадисперсні частки)

- **Розмір:** Частинки з діаметром **менше 2.5 мікронів**. Вони настільки крихітні, що їх неможливо побачити без спеціального мікроскопа.
- **Що входить:** Сажка, продукти горіння палива (особливо дизельних двигунів), мікрочастки важких металів, сульфати, нітрати та органічні сполуки.
- **Вплив на організм:** Це найбільш небезпечна фракція для здоров'я. Через мікроскопічний розмір частки PM2.5 безперешкодно проходять крізь захисні бар'єри дихальної системи, глибоко проникають у легеневі альвеоли і навіть потрапляють крізь стінки капілярів безпосередньо в кровотік. Вони здатні розноситися по всьому організму, викликаючи хронічне запалення судин, погіршення роботи серцево-судинної системи (інфаркти, інсульт), ураження легень та підвищуючи ризик онкологічних захворювань.

Механізм перенесення: Оскільки висока інтенсивність руху на транспортних коридорах триває цілодобово, у приземному шарі атмосфери формується постійний шлейф забруднень. Під дією вітру, конвекційних потоків та загальної циркуляції повітряних мас ці газові та аерозольні суміші здатні долати відстані від кількох сотень до тисяч кілометрів. Таким чином, викиди від транспортного потоку в одній країні стають причиною погіршення якості повітря та екологічної деградації в сусідніх державах.

2. Формування вторинних загроз: кислотні дощі та фотохімічний смог

Транскордонне забруднення вздовж коридорів небезпечне не лише первинними викидами, а й хімічними реакціями, які відбуваються під час перенесення забруднювачів у повітрі:

- **Кислотні опади:** Потрапляючи в атмосферу, оксиди азоту NO_x та сірки SO_x взаємодіють з водяною парою. У результаті утворюються азотна та сірчана кислоти. Повітряні потоки переносять їх на значні відстані від транспортних магістралей, де вони випадають у вигляді кислотних дощів, туманів чи снігу. Це призводить до закислення ґрунтів, вимивання поживних речовин та загибелі лісових масивів у прикордонних регіонах.
- **Фотохімічний смог (лондонський або лос-анджелеський тип):** За умов інтенсивної сонячної інсоляції та штилю в придорожніх зонах транзитних коридорів оксиди азоту та вуглеводні вступають у складні реакції, утворюючи приземний озон та токсичні органічні сполуки. Такий смог накриває великі площі, спричиняючи масові респіраторні захворювання у населення, що проживає поблизу магістралей.

3. Вплив на прикордонні екосистеми та природні ландшафти

Транспортні коридори найчастіше прокладаються через рівнинні території, долини річок або лісові масиви, які слугують природними біокоридорами. Постійний потік важкого транспорту створює хронічний токсичний тиск на ці екосистеми:

- **Деградація придорожніх біоценозів:** Рослинність та ґрунти вздовж транзитних трас постійно накопичують важкі метали (цинк, свинець, кадмій) та залишки нафтопродуктів. Це призводить до пригнічення росту дерев, зміни видового складу трав'янистого покриву та накопичення токсинів у харчових ланцюгах (коли рослини поїдають тварини).
- **Порушення міграційних шляхів тварин у поєднанні із хімічним бар'єром:** Живі організми, намагаючись перетнути транспортний коридор, стикаються не лише з фізичною перешкодою та ризиком загибелі під колесами, а й із високим рівнем токсичного забруднення повітря і ґрунту в зоні впливу магістралі.

4. Юридичні, економічні та управлінські складові транскордонного контролю

З погляду транспортного менеджменту та міжнародного права боротьба з таким видом забруднення є надзвичайно складною управлінською задачею з кількох причин:

1. **Розподілена відповідальність:** Джерелом забруднення є тисячі окремих транспортних засобів, які належать різним перевізникам із різних країн, що ускладнює адміністрування та притягнення до відповідальності за локальні перевищення викидів.
2. **Юрисдикційні обмеження:** Національні екологічні інспекції однієї країни не можуть здійснювати контроль за технічним станом і відповідністю екологічним нормам транспортних засобів, що транзитом перетинають її територію, якщо вони зареєстровані за кордоном (окрім загальних митних та прикордонних процедур).
3. **Необхідність міжнародної стандартизації:** Для мінімізації транскордонного впливу держави змушені синхронізувати свої екологічні вимоги. Прикладом є обов'язкове впровадження жорстких європейських екологічних стандартів (Euro-5, Euro-6 тощо), стимулювання переходу на електротранспорт або комбіновані перевезення (наприклад, контейнерні перевезення, коли вантажівки перевозяться на залізничних платформах уздовж міжнародних коридорів, що різко знижує обсяги викидів у атмосферу).

Екологічне управління та регулювання транскордонних транспортних впливів

Для менеджерів транспортної галузі боротьба з транскордонним забрудненням та висотними емісіями вимагає застосування суворих міжнародних стандартів та правових механізмів:

- **Європейські екологічні стандарти (Euro):** Поступове впровадження жорсткіших норм для автотранспорту (від Euro-5 до Euro-6 та новітніх стандартів) дозволяє суттєво знизити викиди оксидів азоту та твердих часток ще на етапі виходу транспортного засобу на міжнародний коридор.
- **Конвенція ЄЕК ООН про транскордонне забруднення повітря на великій відстані:** Базовий міжнародний документ, який зобов'язує держави обмежувати та поступово скорочувати викиди забруднюючих речовин, що перетинають кордони.
- **Міжнародна авіаційна політика (CORSIA):** Програма компенсації та скорочення викидів вуглецю для міжнародної авіації, яка змушує авіаперевізників купувати вуглецеві кредити або переходити на екологічне авіаційне паливо (Sustainable Aviation Fuel — SAF) задля мінімізації кліматичного сліду.

Тестові завдання

1. Куди припадає більша частина викидів від авіаційного транспорту?

- А) Виключно у приземний шар міста
- Б) У верхні шари тропосфери та нижню стратосферу на висотах від 9 до 12 кілометрів
- В) Тільки на етапі зльоту біля злітно-посадкової смуги
- Г) У водні екосистеми океанів

2. Які компоненти входять до хімічного складу продуктів згоряння авіаційних реактивних двигунів?

- А) Тільки вуглекислий газ та кисень
- Б) Вуглекислий газ, водяна пара, оксиди азоту, оксиди сірки, сажа і незгорілі вуглеводні
- В) Виключно озон та водяна пара
- Г) Азот та аргон без шкідливих домішок

3. Чому час життя забруднюючих речовин у верхніх шарах атмосфери є значно більшим, ніж біля поверхні Землі?

- А) Через високу температуру та підвищений тиск
- Б) Через низькі температури, розрідженість атмосфери та особливу циркуляцію повітряних мас
- В) Через постійні зливи на цих висотах
- Г) Через відсутність сонячного випромінювання

4. До чого призводять викиди оксидів азоту на крейсерських висотах польоту?

- А) До активного руйнування стратосферного озону
- Б) До повного очищення верхніх шарів атмосфери
- В) До утворення кисню та покращення структури повітря
- Г) До зниження ультрафіолетового випромінювання

5. Що таке крейсерська висота польоту (cruising altitude)?

- А) Висота, на якій літак здійснює зліт і посадку
- Б) Стабільна висота, на якій повітряне судно здійснює найдовшу частину свого польоту між пунктами вильоту та призначення
- В) Максимально можлива висота підйому літака перед аварійною ситуацією
- Г) Висота над рівнем моря, де закінчується атмосфера

6. Яка головна екологічна та економічна перевага польоту на крейсерській висоті?

- А) Найбільш розріджене повітря створює менший аеродинамічний опір, що забезпечує мінімально можливу витрату палива на кілометр шляху
- Б) Повне виключення будь-яких шкідливих викидів у атмосферу
- В) Відсутність потреби у використанні реактивного палива
- Г) Збільшення маси літака за рахунок охолодження

7. Як утворюються інверсійні сліди (contrails) від авіації?

- А) Внаслідок зносу коліс шасі об злітно-посадкову смугу
- Б) Під час згоряння палива у холодних верхніх шарах атмосфери, коли водяна пара миттєво конденсується навколо часток сажі та замерзає
- В) Через витік палива з паливних баків на великій висоті
- Г) Через роботу бортових електрогенераторів

8. Який кліматичний ефект створюють штучні перисті хмари (утворені з інверсійних слідів)?

- А) Вони повністю охолоджують планету, відбиваючи всю сонячну радіацію
- Б) Вони вільно пропускають сонячну радіацію до поверхні Землі, але ефективно затримують і відбивають назад теплове випромінювання
- В) Вони не впливають на клімат
- Г) Вони спричиняють випадання кислотних снігів

9. Що охоплює поняття «кумулятивний кліматичний слід» авіації (згідно з дослідженнями ICAO)?

- А) Лише викиди вуглекислого газу CO₂
- Б) Не-CO₂ ефекти (утворення перильних хмар, хімічні зміни рівня озону й метану), які у кілька разів перевищують вплив від самого палива CO₂
- В) Шумове забруднення навколо аеропортів
- Г) Прямую загибель птахів під час зльоту

10. Що таке міжнародні транспортні коридори (МТК)?

- А) Локальні велодоріжки в межах одного міста
- Б) Сукупність магістральних транспортних комунікацій (автомобільних, залізничних, водних), що з'єднують національні системи зі світовою мережею
- В) Пішохідні туристичні маршрути у гірській місцевості
- Г) Трубопроводи для перекачування води

11. Яка головна специфіка транскордонного забруднення вздовж транспортних коридорів?

- А) Забруднюючі речовини підхоплюються повітряними потоками та переносяться на сотні й тисячі кілометрів за межі держави-джерела
- Б) Забруднення повністю розчиняється в межах перших 10 метрів від дороги
- В) Викиди осідають виключно на дорожнє полотно
- Г) Транспортні викиди не потрапляють у приземний шар повітря

12. Які вторинні загрози формуються в результаті взаємодії викидів (NO_x та SO_x) з водяною парою в атмосфері?

- А) Кислотні опади (дощі, тумани, сніг) та фотохімічний смог
- Б) Озонові діри над містами
- В) Збільшення родючості ґрунтів
- Г) Утворення крижаних куполів

13. Як абревіатура РМ розшифровується у контексті твердих часток (PM_{2.5} та PM₁₀)?

- А) Power Motor
- Б) Particulate Matter (тверді частинки)
- В) Passenger Movement
- Г) Primary Mixture

14. Який максимальний діаметр мають грубодисперсні частки РМ₁₀?

- А) Менше 2.5 мікронів
- Б) Менше 10 мікронів
- В) Рівно 50 мікронів
- Г) Більше 100 мікронів

15. Чому дрібнодисперсні частки РМ_{2.5} вважаються найбільш небезпечними для здоров'я людини?

- А) Вони подразнюють лише шкіру обличчя
- Б) Вони блокуються у носовій порожнині і не проходять далі
- В) Вони безперешкодно проходять крізь захисні бар'єри, проникають у легеневі альвеоли та потрапляють у кровотік
- Г) Вони викликають виключно тимчасовий кашель

16. Який вплив справляє постійний транспортний потоків на прикордонні екосистеми та біоценози?

- А) Збагачують ґрунт поживними мікроелементами
- Б) Створюють хронічний токсичний тиск, акумуляцію важких металів та порушують міграційні шляхи тварин
- В) Повністю замінюють дику природу штучними заповідниками
- Г) Не чинять жодного впливу на живу прикордонну природу

17. Чому з погляду транспортного менеджменту боротьба з транскордонним забрудненням є складною управлінською задачею?

- А) Через розподілену відповідальність (тисячі перевізників із різних країн) та юрисдикційні обмеження інспекцій
- Б) Через відсутність будь-яких законів про охорону довкілля у світі
- В) Через надто низьку інтенсивність перевезень
- Г) Через заборону використання автомобільних доріг

18. Які заходи дозволяють суттєво знизити викиди оксидів азоту та твердих часток від автотранспорту ще на етапі виходу на міжнародний коридор?*

- А) Збільшення кількості світлофорів
- Б) Поступове впровадження жорсткіших європейських екологічних стандартів (Euro-5, Euro-6 тощо)
- В) Скасування митного контролю
- Г) Збільшення максимальної швидкості руху вантажівок

19. Для чого призначена міжнародна авіаційна політика CORSIA?

- А) Для зниження вартості авіаквитків
- Б) Для компенсації та скорочення викидів вуглецю міжнародною авіацією (через вуглецеві кредити та перехід на екологічне паливо SAF)
- В) Для регулювання кількості пасажирських місць у літаках
- Г) Для заборони польотів цивільної авіації у нічний час

20. Що передбачає такий метод комбінованих перевезень, як контрейлерні перевезення вздовж міжнародних коридорів?

- А) Перевезення вантажівок на спеціальних залізничних платформах, що різко знижує обсяги викидів у атмосферу порівняно з рухом фур шосе
- Б) Перевезення літаків на автомобільних тралах
- В) Зберігання вантажів у прикордонних складах без транспортування
- Г) Заміну дизельних двигунів на парові котли