

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ В. Н. КАРАЗІНА**

Факультет геології, географії, рекреації і туризму

***Кафедра соціально-економічної географії і регіоналістики
імені Костянтина Нємця***

До захисту допустити

В. о. завідувача кафедри _____ Людмила КЛЮЧКО

« _____ » _____ 2025 р.

**ТРАНСПОРТНА СИСТЕМА ЯК СКЛАДОВА СВІТОВОЇ ЕКОНОМІКИ
КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА МАГІСТРА**

Виконав: студент II курсу, групи ГЧ-21
спеціальності 106. Географія
ОПП «Економічна, соціальна
географія та регіональний розвиток»
Деменко Олександр Максимович

Науковий керівник:
к. геогр. н., доцент Кандиба Юрій Іванович

Кваліфікаційна робота захищена з оцінкою

Голова ЕК Тарас ПОГРЕБСЬКИЙ

Секретар ЕК Олена ПЕДЬ

« _____ » _____ 2025 р.

Харків – 2025

ЗМІСТ

ВСТУП.....	3
РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИКО-МЕТОДИЧНІ ОСНОВИ ДОСЛІДЖЕННЯ ТРАНСПОРТНОЇ СИСТЕМИ ЯК СКЛАДОВОЇ СВІТОВОЇ ЕКОНОМІКИ	5
1.1. Визначення та класифікація транспортної системи	5
1.2. Роль та функції транспортної системи	9
1.3. Фактори розвитку та підходи до дослідження транспортної системи	12
1.4. Методика і методи дослідження транспортної системи	16
1.5. Історичні етапи розвитку транспортної системи	18
РОЗДІЛ 2. ВПЛИВ ТРАНСПОРТНОЇ СИСТЕМИ.....	25
НА СВІТОВУ ЕКОНОМІКУ	25
2.1. Водна транспортна система	25
2.2. Повітряна транспортна система	35
2.3. Наземна транспортна система	38
2.4. Спеціалізовані транспортні системи	46
РОЗДІЛ 3. ВИКЛИКИ ФУНКЦІОНУВАННЯ СВІТОВОЇ ТРАНСПОРТНОЇ СИСТЕМИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ЇЇ РОЗВИТКУ	54
3.1. Виклики функціонування транспортної системи	54
3.2. Перспективи розвитку транспортної системи	62
ВИСНОВКИ.....	76
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	79

ВСТУП

Актуальність дослідження. Транспортна система є невід’ємною складовою міжнародної торгівлі, особливо в контексті сучасної глобалізації, завдяки якій відбувається посилена інтеграція країн та регіонів та яка неможлива без ефективного функціонування транспортних ланцюгів. Від транспортних можливостей залежить своєчасність і вартість доставки товарів, а отже, і конкурентоспроможність на світовому ринку окремих виробників та держав. Таким чином аналіз сучасної транспортної системи є надзвичайно важливим для розуміння механізмів функціонування сучасної економіки на всіх рівнях, від регіональної до світової. Постійне зростання світового товарообігу потребує вдосконалення логістичних процесів, модернізації інфраструктури та впровадження інноваційних технологій у транспортній сфері, яка постійно стикається з географічними, економічними, політичними, безпековими й екологічними викликами.

Дослідження сприятиме розробці ефективних транспортних стратегій, прийняттю обґрунтованих рішень щодо розвитку транспортних проєктів та впровадженню інноваційних технологій.

Мета дослідження – провести комплексний аналіз транспортної системи як складової світової економіки в контексті сучасної глобалізації, технологічних інновацій, географічних, соціальних, політичних та екологічних викликів.

Завдання дослідження:

- розкрити зміст поняття “транспортна система”;
- дослідити та систематизувати теоретичні концепції, підходи та класифікації транспортної системи, виділити історичні етапи її розвитку;
- оцінити вплив транспортної системи та всіх її складових на світову економіку;
- виявити та проаналізувати виклики функціонування, з якими вимушена стикатися світова транспортна система;
- розглянути перспективи розвитку світової транспортної системи в найближчому майбутньому;

- сформувати науково обґрунтоване розуміння ролі та впливу транспортної системи на розвиток міжнародних торговельно-логістичних ланцюгів, визначити ключові особливостей її функціонування та розробити рекомендації для підвищення її ефективності та стійкості.

Об'єкт дослідження – глобальна транспортна система як сукупність міжнародних та національних транспортних мереж, об'єктів інфраструктури, транспортних засобів, законодавчих механізмів, що забезпечує переміщення вантажів та пасажирів і функціонування світової економіки.

Предмет дослідження – особливості функціонування транспортної системи як складової світової економіки в умовах сучасної глобалізації, зокрема: взаємодія різних видів транспорту, організація внутрішніх та міжнародних перевезень, вплив транспорту на економічне зростання, адаптація до викликів та перспективи розвитку.

Методи дослідження – аналогія, класифікація, узагальнення, моделювання, порівняльний та системний аналіз, ГІС-аналіз.

Використані інформаційні джерела з мережі інтернет, написані як українськими так й іноземними мовами та авторами.

Дана кваліфікаційна робота магістра складається з: титульного аркушу, змісту, вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел. Загальний обсяг роботи становить 76 сторінок. Робота містить 21 рисунок та 1 таблицю. Список використаних джерел включає 112 позицій.

РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИКО-МЕТОДИЧНІ ОСНОВИ ДОСЛІДЖЕННЯ ТРАНСПОРТНОЇ СИСТЕМИ ЯК СКЛАДОВОЇ СВІТОВОЇ ЕКОНОМІКИ

1.1. Визначення та класифікація транспортної системи

Транспортна система – це сукупність усіх матеріальних, технічних, організаційних та управлінських засобів, необхідних для забезпечення транспортних потреб, з метою ефективного й безпечного переміщення людей та вантажів. Вона включає як самі транспортні засоби, так і супутні фізичні об'єкти для їх пересування. Також до неї входять: інформаційні системи, організаційні структури та правові норми, що забезпечують діяльність транспортної галузі. [4]

Транспортна система має визначальну роль в підтримці функціонування та розвитку світової економіки, особливо в час глобалізації, впливаючи на економічну продуктивність, інтеграцію ринків та конкурентоспроможність країн.

Транспортна система виконує ключові функції, сприяючи економічному зростанню, міжнародній торгівлі, розвитку регіонів і поліпшенню якості життя. Її ефективність безпосередньо впливає на економічні процеси, інтеграцію країн у глобальні ринки, сталий розвиток, стійкість економік до глобальних викликів та криз.

Транспортна система складається з багатьох елементів, які взаємодіючи між собою формують транспортні мережі. Тому для кращого розуміння цієї галузі її треба систематизувати.

Класифікувати транспортну систему можна за такими критеріями [3, 12]:

За видом транспорту:

- Автомобільний – перевезення людей і вантажів автомобільними дорогами за допомогою колісних транспортних засобів. Об'єктами є: дороги, мости, тунелі, паркінги, станції заправки та технічного обслуговування, дорожні знаки, розмітка та світлофори, правила дорожнього руху. Особливостями є: гнучкість, доступність, відносно низька вартість. Часто використовується як спосіб доставки “останньої милі”.

- Залізничний – перевезення пасажирів та вантажів рейковим транспортом по залізничних коліях. Застосовується для перевезення великих обсягів вантажів і пасажирів на середні та великі відстані по суші. Об'єкти: залізничні колії, вокзали, станції, депо, мости, тунелі, системи сигналізації та диспетчеризації. Особливості: висока вантажопідйомність, енергоефективність, особливо на великих відстанях.

- Водний – перевезення на морських і внутрішніх водних шляхах (річками, морями, океанами, озерами, каналами) за допомогою плавзасобів. Цей тип транспорту є ключовим для міжнародної торгівлі. Об'єкти: морські та річкові порти, канали й шлюзи, вантажні термінали, навігаційні системи і маяки, портові крани та контейнерні майданчики. Особливості: висока вантажопідйомність, низькі витрати, але при цьому низька швидкість.

- Повітряний – використання повітряних суден для транспортування пасажирів і вантажу повітряним простором. Особливістю є висока швидкість перевезення пасажирів і вантажів на великі відстані. Об'єкти: Аеропорти, злітно-посадкові смуги, пасажирські/вантажні термінали, ангари, диспетчерські системи управління повітряним рухом. Особливості: Швидкість і мобільність, але високі економічні витрати.

- Трубопровідний – транспортування рідких та газоподібних матеріалів на відстань за допомогою трубопроводів. Об'єкти: нафто/газопроводи, нафтобази, газові сховища, перекачувальні станції, контрольно-вимірювальні системи. Особливості: Низькі витрати на експлуатацію та безперервний потік, але високі початкові інвестиції.

- За призначенням:

- Пасажирська – орієнтована на перевезення людей.
- Вантажна – спрямована на транспортування товарів і сировини.

- За територіальним охопленням:

- Локальна – обслуговує міста, райони чи невеликі території, забезпечуючи мобільність на місцевому рівні.
- Регіональна – поєднує локальні транспортні системи всередині регіону.

- Національна – зв'язує великі міста та регіони в межах країни (визначається державними програмами розвитку транспорту).

- Міжнародна – забезпечує з'єднання між різними країнами та інтегрує транспортні системи у глобальні економічні процеси.

- За видом власності:

- Державна – контролюється та фінансується урядом.

- Приватна – належить приватним компаніям.

- Публічно-приватне партнерство (ППП) – управління здійснюється спільно державними та приватними структурами.

- За тривалістю використання:

- Постійна – функціонують на постійній основі.

- Тимчасова – використовується лише на період проведення окремих заходів чи проектів.

- За типом перевезень: [5, 49]

- Інтермодальний – процес транспортування вантажу за допомогою кількох видів транспорту (наприклад, залізничного, автомобільного, морського чи повітряного), при цьому вантаж залишається у тій самій транспортній одиниці (контейнері) протягом усього маршруту.

Використання стандартизованих контейнерів, трейлерів чи інших вантажних одиниць, що не потребують перевантаження самого товару під час зміни транспорту. Найпоширеніша схема – морські або залізничні перевезення в комбінації з автотранспортом для доставки «останньої милі». Зменшення ризиків пошкодження вантажу та підвищення безпеки перевезень завдяки мінімальній кількості перевантажень товарів.

- Мультимодальний – це перевезення, яке здійснюється за допомогою декількох видів транспорту, але за єдиним транспортним документом та відповідальністю одного оператора (мультимодального перевізника). Один перевізник (або логістична компанія) відповідає за весь ланцюг доставки. Використовуються різні транспортні засоби (морський, залізничний, автомобільний транспорт тощо). Операції можуть включати перевантаження товару між транспортними одиницями на різних етапах маршруту. Це спрощує

логістику, оскільки клієнт має справу лише з одним оператором та договором, незалежно від кількості видів транспорту.

Таблиця 1.1

***Відмінності між інтермодальними та мультимодальними перевезеннями
(побудовано автором за [5, 49])***

<i>Параметр</i>	<i>Інтермодальні перевезення</i>	<i>Мультимодальні перевезення</i>
Транспортний документ	Кілька документів для кожного виду транспорту	Один документ для всього маршруту
Відповідальність	Кожен перевізник відповідає за свою частину маршруту	Один оператор відповідає за весь маршрут
Вантажна одиниця	Той самий контейнер або трейлер протягом усього маршруту	Можливе перевантаження товару між різними засобами
Приклади транспорту	Переважно контейнери (морський та залізничний транспорт)	Морський, автомобільний, залізничний, повітряний

- Переваги інтермодальних перевезень:

- Зменшення ризику пошкодження товару.
- Зручність у використанні стандартизованих контейнерів.
- Підвищена безпека вантажу.

- Переваги мультимодальних перевезень:

- Спрощення управління та документообігу.
- Один відповідальний оператор за весь ланцюг перевезень.
- Оптимізація витрат і часу завдяки ефективній організації маршруту.

- Виклики:

- Інтермодальні перевезення можуть потребувати розвиненої інфраструктури.
- Мультимодальні перевезення залежать від ефективної координації між різними видами транспорту та операторами.

1.2. Роль та функції транспортної системи

Основні ролі транспортної системи у світовій економіці: [1, 83, 91]

- *Сприяння міжнародній торгівлі та економічній інтеграції:*

Розвинена транспортна мережа спрощує доступ до ринків, знижуючи час і витрати на перевезення товарів. Ефективна транспортна система сприяє зростанню обсягів експорту та імпорту, а також залученню іноземних інвестицій.

- *Забезпечення ефективності ланцюгів постачання:*

Логістичні хаби та вузли допомагають оптимізувати ланцюги постачання. Транспортна система впливає на швидкість і надійність доставки, що важливо для бізнесів, що працюють за моделлю just-in-time (вчасна доставка).

- *Зниження транспортних витрат та підвищення продуктивності:*

Якісна транспортна система скорочує витрати на логістику, що позитивно впливає на собівартість продукції. Дешевші перевезення сприяють зростанню конкурентоспроможності виробників та компаній на глобальному ринку.

- *Розвиток туризму та сфери послуг:*

Транспортна система сприяє розвитку міжнародного туризму, забезпечуючи швидкий та зручний доступ до туристичних об'єктів. Авіасполучення та наземний транспорт забезпечують переміщення туристів, що сприяє розвитку готельного бізнесу та сфери послуг.

- *Забезпечення зайнятості та економічного зростання:*

Розвиток транспортних проектів створює нові робочі місця як у сфері будівництва, так і в обслуговуванні транспортних об'єктів. Зростання продуктивності та економічної активності внаслідок покращення транспортної системи сприяє економічному зростанню.

- *Забезпечення сталого розвитку та екологічних ініціатив:*

Інвестиції в екологічно чистий транспорт сприяють зниженню викидів парникових газів. Перевезення з використанням більш екологічно чистого транспорту зменшують навантаження на довкілля.

- *Вплив транспортної системи на економічну стійкість:*

Розвинена транспортна система робить економіку більш стійкою до криз та перебоїв у ланцюгах постачання. Ефективне транспортне сполучення полегшує доставку необхідних ресурсів під час надзвичайних ситуацій.

Основні функції транспортної системи: [1, 35, 91]

- *Економічна функція:*

- Стимулювання економічного зростання: Забезпечує зменшення витрат на транспортування товарів і послуг, що підвищує конкурентоспроможність економіки.
- Підтримка міжнародної торгівлі: Транспортні мережі сприяють швидкому та ефективному переміщенню товарів між країнами, що підсилює показники експорту та імпорту.
- Формування ринків праці та капіталу: Транспортна система створює нові робочі місця та сприяє залученню інвестицій у виробництво та логістику.

- *Логістична функція:*

- Оптимізація логістичних ланцюгів: Полегшує транспортування сировини, комплектуючих і готової продукції до виробничих потужностей та споживачів.
- Інтеграція транспортних систем: Забезпечує координацію між різними видами транспорту для безперервності перевезень.
- Скорочення часу та витрат: Ефективна транспортна система дозволяє мінімізувати затримки на маршрутах і знижувати вартість логістичних операцій.

- *Соціальна функція:*

- Забезпечення мобільності населення: Транспорт надає доступ до робочих місць, освіти, медичних та соціальних послуг.
- Поліпшення якості життя: Розвиток громадського транспорту сприяє зниженню соціальної нерівності та підвищенню комфорту пересування.
- Забезпечення рівномірного регіонального розвитку: Транспортна система сприяє інтеграції віддалених регіонів у національну та світову економіку.

- Інтеграційна функція:

- Поглиблення міжнародної співпраці: Транспортні коридори сприяють інтеграції економік різних країн та регіонів.
- Формування глобальних ланцюгів постачання: Транспортна система забезпечує ефективне функціонування глобальних виробничих і торгових мереж.

- Екологічна функція:

- Переорієнтація на сталий розвиток: Ефективна система сприяє використанню екологічно чистих видів транспорту.
- Зниження шкідливих викидів: Розвиток систем більш екологічного транспорту допомагає мінімізувати негативний вплив на довкілля.
- Оптимізація енергоспоживання: Сучасні транспортні системи дозволяють раціональніше використовувати ресурси та скорочувати витрати.

- Політична функція:

- Підвищення геополітичного впливу: Країни з розвинутою транспортною системою стають важливими гравцями на міжнародній арені завдяки стратегічному розташуванню транспортних вузлів.
- Зміцнення національної безпеки: Розгалужена транспортна система забезпечує швидке переміщення ресурсів і військових сил у разі потреби.
- Регуляція транзиту та торгівлі: Країни можуть використовувати систему для контролю над транспортними потоками та впливати таким чином на глобальний ринок.

1.3. Фактори розвитку та підходи до дослідження транспортної системи

Розвиток транспортної системи залежить від комплексу чинників. Вони визначають потребу в модернізації та розширенні, впливають на її ефективність і впровадження інновацій [7, 38].

Економічні чинники відіграють ключову роль у розвитку транспортної системи, оскільки вона має безпосередній вплив на економічне становище:

- Рівень економічного розвитку країни: Чим вищий ВВП та інвестиційний потенціал, тим більше ресурсів виділяється на транспортні проекти.

- Попит на логістичні послуги та перевезення: Збільшення обсягу торгівлі та промислового виробництва стимулює розширення транспортної системи.

- Інвестиції та фінансування: Державні та приватні інвестиції сприяють розбудові транспортних шляхів.

- Глобалізація: Інтеграція у світову економіку потребує розбудови транспортних коридорів і хабів для покращення логістики.

Соціальні потреби та демографічні тенденції безпосередньо впливають на попит на транспортні послуги та розвиток системи.

- Міграція та урбанізація: Зростання населення у великих містах вимагає розвитку міського та приміського транспорту.

- Якість життя: Розвиток доступного громадського транспорту та велоінфраструктури сприяє покращенню мобільності та зниженню соціальної нерівності.

- Попит на туристичні послуги: Активний туризм вимагає розвитку аеропортів, вокзалів і транспортних мереж.

Політика держави та законодавство визначають пріоритети розвитку транспортної системи та залучення інвестицій.

- Державні програми розвитку: Прийняття довгострокових стратегій з модернізації транспортної системи.

- Регулювання та нормативна база: Впровадження стандартів безпеки та екологічних норм впливає на будівництво та експлуатацію об'єктів транспортної системи.

- Міжнародні угоди та співпраця: Транспортні проекти часто реалізуються в межах міжнародних ініціатив.

Технологічні інновації підвищують ефективність та екологічність транспортної системи.

- Розвиток нових технологій: Використання електромобілів, безпілотних транспортних засобів, інтелектуальних транспортних систем.

- Інформаційні технології: Автоматизовані системи управління транспортними потоками та логістичні платформи покращують ефективність транспортної системи.

- Інновації в будівництві: Використання нових матеріалів і технологій будівництва знижує витрати та підвищує безпеку.

Географічне розташування та природні умови визначають потребу в розвитку певних видів транспорту та особливості системи.

- Рельєф та кліматичні умови: Будівництво транспортної системи у гірських чи прибережних районах потребує спеціальних технічних рішень (мости, тунелі).

- Наявність природних ресурсів: Транспортні шляхи розвиваються у районах з видобутком корисних копалин або сільськогосподарським виробництвом.

Сучасні тенденції розвитку транспортних систем орієнтуються на екологічну стійкість.

- Зменшення шкідливих викидів: Перехід на більш екологічно чистий транспорт сприяє зменшенню негативного впливу на довкілля.

- Розвиток сталих транспортних рішень: Використання альтернативних видів палива (електроенергія, біопаливо, водень) та екологічних матеріалів у будівництві.

- Адаптація до змін клімату: Транспортні проекти враховують можливі зміни кліматичних умов (наприклад, підвищення рівня води, частіші повені, підвищення температури).

Розвиток транспортної системи розглядається з різних теоретичних підходів, що враховують економічні, соціальні, екологічні та просторові аспекти [11, 73].

Економічний підхід:

- Роль транспорту в економічному зростанні: розвиток транспортної системи збільшує доступ до ринків, стимулює інвестиції та підвищує ефективність використання ресурсів.

- Концепція мультиплікатора системи: кожна інвестиція в транспорт призводить до зростання ВВП через пов'язані галузі.

- Теорія економії масштабу: збільшення обсягів перевезень знижує вартість транспортних послуг на одиницю продукції.

Соціально-орієнтований підхід:

- Транспорт як фактор підвищення якості життя: забезпечення доступності до послуг охорони здоров'я, освіти, культури та ринку праці.

- Інклюзивність: розвиток транспортної системи має враховувати інтереси всіх соціальних груп.

- Соціальні наслідки: досліджуються ризики соціальної нерівності в доступі до транспорту.

Екологічний підхід:

- Концепція сталого розвитку: транспорт має розвиватися з урахуванням зменшення викидів парникових газів та негативного впливу на довкілля.

- Екомобільність: пріоритет надається громадському транспорту, велосипедній інфраструктурі та пішохідним зонам.

- Кількісна оцінка екологічних витрат: розробка моделей для оцінки викидів та впливу на екосистеми.

Просторово-географічний підхід:

- Теорія центральних місць (Вальтер Крісталлер): транспортна система розвивається навколо центрів, які виконують адміністративні та економічні функції.

- Теорія полюсів зростання (Франсуа Перру): інвестиції в транспортну систему зосереджуються у певних регіонах для створення точок розвитку, які стимулюють економічний підйом.

- Мережевий підхід: досліджується ефективність транспортних мереж та їх взаємозв'язок з урбанізацією та регіональним розвитком.

Інституційний підхід:

- Роль державної політики: визначення пріоритетів та стратегій розвитку транспортних систем на різних рівнях (державному, регіональному, місцевому).

- Публічно-приватне партнерство (ППП): залучення приватного капіталу для розвитку транспортних проєктів.

- Регулювання та стандарти: встановлення норм для безпеки, якості та доступності транспортних послуг.

Технологічний підхід:

- Інтелектуальні транспортні системи: впровадження цифрових технологій для управління транспортними потоками та оптимізації перевезень.

- Автономний транспорт: дослідження перспектив безпілотних автомобілів та дронів для вантажних та пасажирських перевезень.

- Інновації у будівельних матеріалах: використання екологічних матеріалів для будівництва супутньої інфраструктури.

Глобальний підхід:

- Інтеграція у світову транспортну мережу: участь у міжнародних транспортних коридорах.

- Вплив глобалізації: розвиток транспортної системи підвищує конкурентоспроможність регіонів у глобальних ланцюгах постачання.

- Транскордонне співробітництво: координація транспортних стратегій між країнами для підвищення ефективності перевезень.

1.4. Методика і методи дослідження транспортної системи

Методологія дослідження транспортної системи є комплексом підходів, методів та інструментів, що дозволяють аналізувати її стан, ефективність та вплив на економічні, соціальні та екологічні процеси. Правильний вибір методів дослідження забезпечує точність оцінок та прийняття обґрунтованих рішень [2, 14, 66].

- Теоретичні методи дослідження використовуються для систематизації знань, розробки концепцій і створення моделей розвитку транспортної системи.

Аналіз та синтез: аналіз складових системи та їх впливу на транспортні потоки, синтез – об'єднання різних факторів у комплексну картину для визначення тенденцій розвитку.

Моделювання: створення моделей транспортних систем для оцінки сценаріїв розвитку, прогнозування заторів чи визначення оптимальних маршрутів. Використовуються математичні моделі, наприклад, для прогнозування пасажиропотоку та вантажообігу.

Порівняльний аналіз: дослідження ефективності транспортних системи в різних країнах або регіонах для виявлення найкращих практик.

- Емпіричні методи дослідження базуються на зборі, обробці та аналізі фактичних даних з транспортної галузі.

Спостереження: дозволяє вивчати реальний стан об'єктів транспортної системи (наприклад – завантаженість).

Опитування та інтерв'ю використовуються для збору інформації від користувачів транспорту, операторів та регуляторів (наприклад – оцінка задоволеності пасажирів або операторів логістики).

Експерименти проводяться для перевірки нових рішень у транспортній системі (наприклад – тестування інтелектуальних транспортних систем або безпілотного транспорту).

- Статистичні та математичні методи забезпечують кількісну оцінку показників транспортної системи та їх аналіз.

Регресійний аналіз використовується для оцінки залежності між показниками, (наприклад – між станом доріг і швидкістю руху).

Кластерний аналіз допомагає групувати об'єкти системи за схожими характеристиками.

- Просторово-географічні методи: дозволяють аналізувати систему в просторі та виявляти закономірності розподілу транспортних мереж.

Геоінформаційні системи (ГІС): використовуються для візуалізації та аналізу транспортних мереж на карті (приклад: визначення зон заторів у місті).

Картографування: побудова тематичних карт, що показують транспортні коридори, логістичні хаби або райони з обмеженою мобільністю.

- Економічні методи аналізу дозволяють оцінити економічну ефективність транспортної системи.

Користь-витрати (Cost-Benefit Analysis) оцінює доцільність інвестицій у транспортні проекти, порівнюючи очікувані вигоди та витрати.

Аналіз еластичності: визначає, як зміни в системі впливають на транспортний попит (наприклад - вплив нової дороги на обсяг перевезень).

Аналіз зовнішніх ефектів враховує вплив транспорту на екологію, соціальне життя та економіку (наприклад, зменшення заторів або забруднення).

- Екологічні методи оцінки враховують вплив транспортної системи на довкілля.

Оцінка впливу на навколишнє середовище аналізує можливі екологічні наслідки від будівництва та експлуатації інфраструктури (шумове забруднення, викиди CO²).

Життєвий цикл інфраструктури враховує повний цикл від проектування до утилізації, щоб мінімізувати негативний вплив на довкілля.

- Соціологічні методи аналізують, як транспортна інфраструктура впливає на якість життя населення.

Соціальні дослідження та опитування: вивчають потреби користувачів транспорту та їхню задоволеність (наприклад, доступність громадського транспорту); аналіз мобільності населення досліджує, як люди пересуваються містом і які бар'єри виникають у процесі.

- Комплексний підхід. Поєднання різних методів дослідження дозволяє отримати багатогранну картину розвитку транспортної системи. Наприклад, економічний аналіз користі і витрат може бути доповнений екологічною оцінкою та соціальними опитуваннями.

1.5. Історичні етапи розвитку транспортної системи

Розвиток транспортної системи проходив кілька важливих етапів, що відображає соціально-економічний прогрес суспільства в розвитку технологій, торгівлі та державного управління. Кожен етап відповідає новим викликам і потребам людства, від появи найпростіших шляхів сполучення до сучасних глобальних транспортних мереж [18, 99].

Стародавні часи (до 5 ст. н.е.):

- поява перших торговельних шляхів в стародавніх цивілізаціях Месопотамії, Єгипту, Китаю та Індії, у вигляді стежок для караванів, що поєднували між собою міста та порти для обміну товарами;

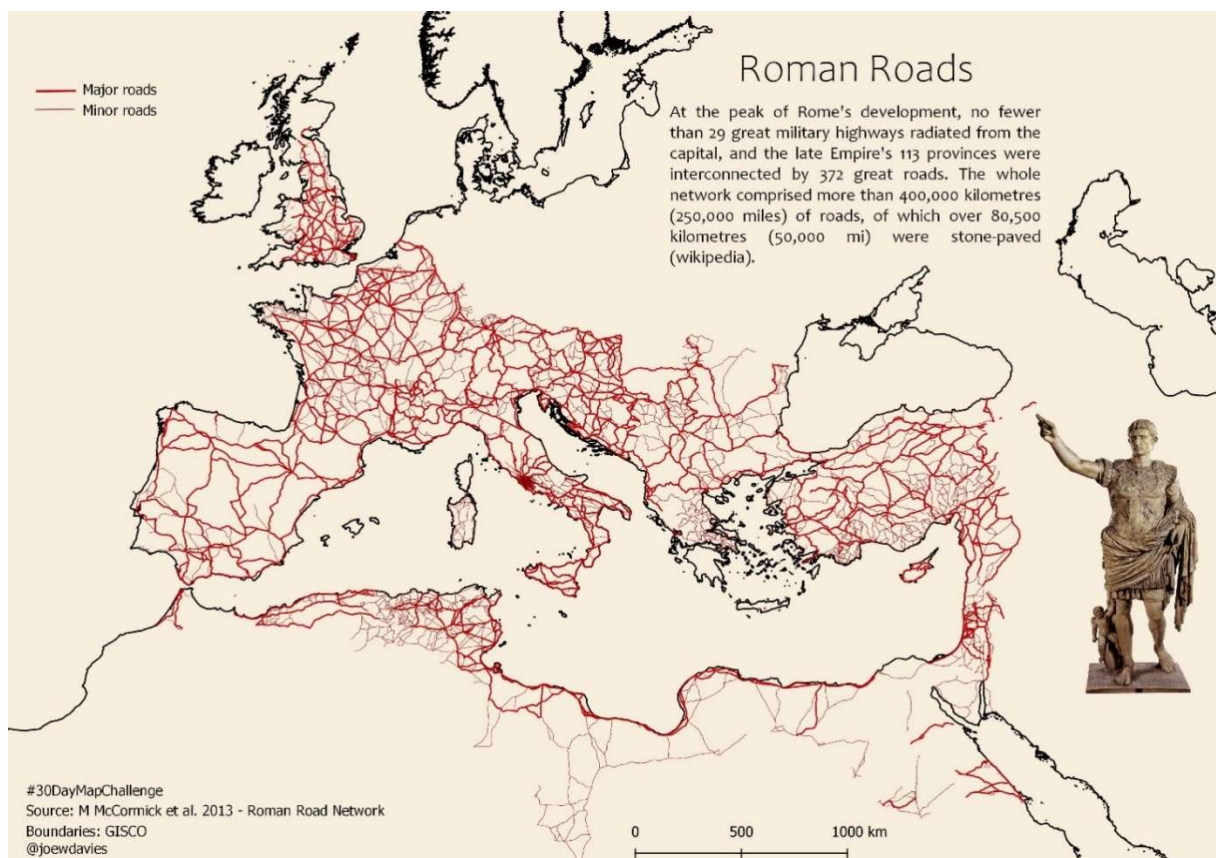


Рис. 1.1. Мережа доріг в Римській імперії [65]

- побудова мережі доріг з в Римській Імперії для забезпечення швидкого переміщення армії та товарів. Загальна її протяжність – 400 тисяч кілометрів, з яких 80 тис. були з кам'яним покриттям;
- активний розвиток портів та морських шляхів в Середземному морі, за допомогою веслових та вітрильних човнів,
- поява Великого Шовкового шляху – міжконтинентального сухопутного маршруту довжиною понад 6 тисяч км., який поєднував Китай з Європою та Африкою.



Рис. 1.2. Великий шовковий шлях [90]

Середньовіччя (5-15 ст.):

- створення Ганзейського союзу – мережі торговельних міст у Північній Європі, яка сприяла розвитку портової інфраструктури та морської торгівлі;
- погіршення загального рівня транспортної системи після падіння Римської імперії призвело до розвитку місцевих доріг, що обслуговували феодальні господарства.

Епоха Великих географічних відкриттів (15-17 ст.):

- контроль Середземного моря та Близького Сходу Османською імперією стимулював пошук альтернативних морських маршрутів, будівництво портів та розвиток навігаційних технологій.



Рис. 1.3. Ганзейська унія. 1400 рік [40]

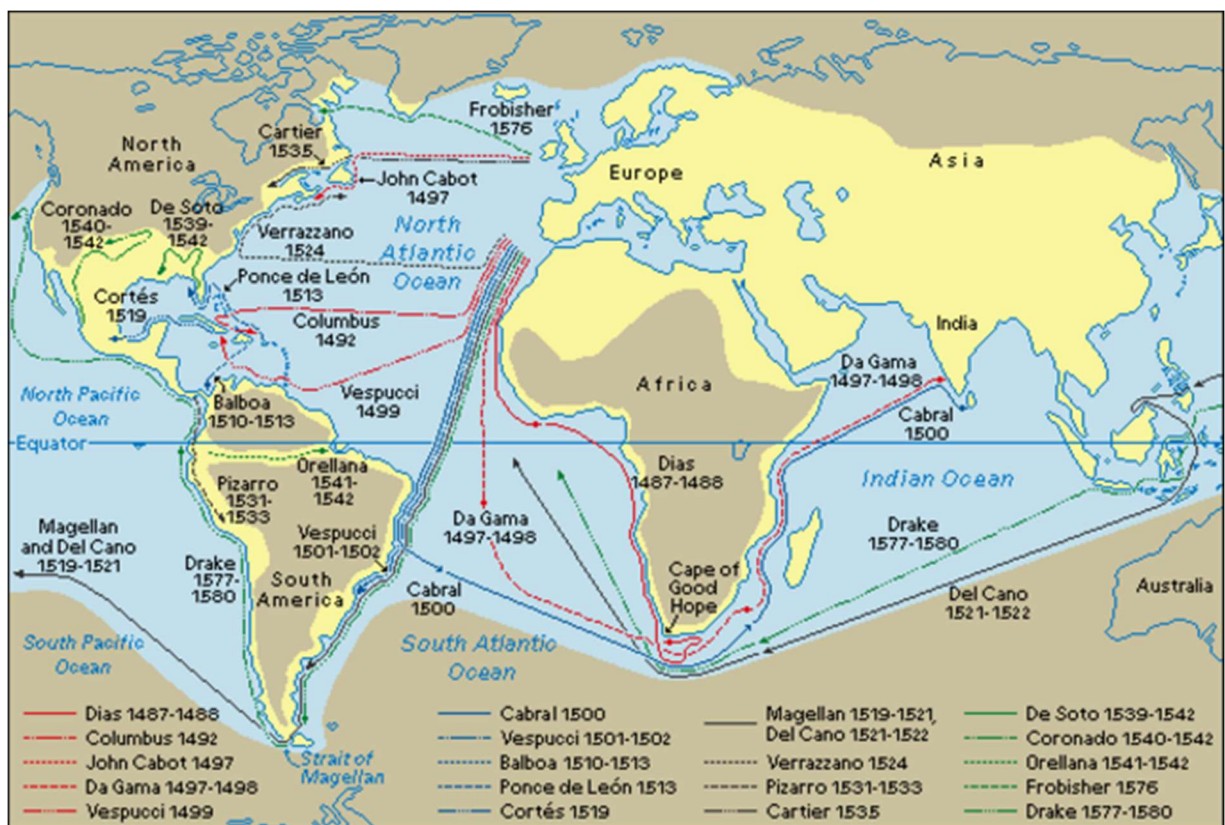


Рис. 1.4. Великі географічні відкриття [13]

Промислова революція (18-19 ст.):

- парова тяга дала поштовх до будівництва залізниць в Європі та США. Вони стали основою вантажних та пасажирських перевезень;
- парові кораблі дозволили ефективніше використовувати річки та моря для перевезення товарів і людей. Почали будувати великі морські порти й канали, такі як Суецький (1869) та Панамський (1914);
- у великих містах Європи та США почали з'являтися громадські трамваї та метро.

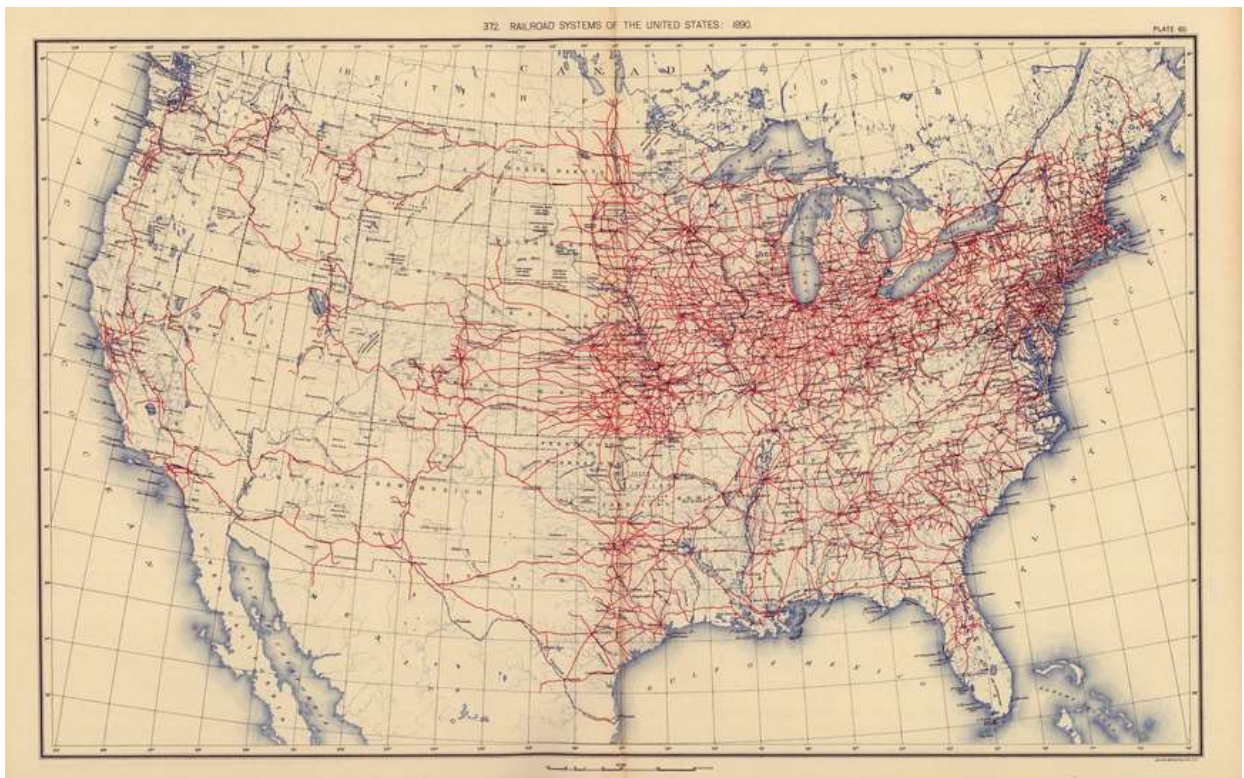


Рис. 1.5. Мережа залізниць США, 1890 рік [63]

Початок 20 століття:

- винахід автомобіля стимулював будівництво асфальтованих доріг і швидкісних шосе. Німеччина та США стали піонерами у розвитку автомагістралей;
- перші комерційні авіарейси почали з'являтися в 1920-х роках. До 1930-х років почали будувати аеропорти та злітно-посадкові смуги для пасажирської авіації;
- створення підземного транспорту для великих міст (Лондон, Париж, Нью-Йорк) полегшило рух у мегаполісах.

Друга половина 20 ст.:

- У 1950–60-х роках стандартизація контейнерів значно прискорила перевантаження товарів у портах і сприяла розвитку глобальних логістичних мереж;
- Японія стала лідером у розвитку швидкісних поїздів із запуском Шінкансену у 1964 році. Згодом високошвидкісні залізниці почали будувати в інших країнах;
- поява реактивних літаків та розвиток міжнародних аеропортів зробили авіаперевезення доступними для широких верств населення;
- створення трансконтинентальних автомобільних шляхів, таких як система міжштатних автомагістралей у США та Транс'європейська мережа в Європі.

Сучасний період (кінець 20 ст. – сьогодення):

- використання цифрових технологій для управління рухом, моніторингу та прогнозування транспортних потоків;
- сучасні міста розвивають велосипедні доріжки, пішохідні зони та електромобільну інфраструктуру для зменшення забруднення;
- активно тестуються автономні автомобілі, дрони для доставки вантажів та роботизовані логістичні системи.

Пандемія COVID-19 (2020-2023) [42, 53, 59, 81]

Найновішим історичним етапом розвитку транспортної системи можна назвати пандемію коронавірусу, під час якої транспортна система зазнала значних економічних втрат, але змогла адаптуватися і не тільки відновити а й покращити показники пасажиропотоку та вантажообігу порівняно з допандемічним періодом.

Спалах коронавірусної хвороби (COVID-19) за офіційною версією ВООЗ розпочався в грудні 2019 року в місті Ухань, провінції Хубей, Китайської Народної Республіки. На 11 березня 2020 року коли захворювання було визнано Всесвітньою Організацією Охорони Здоров'я пандемією - було зафіксовано 118 тисяч випадків в 114 країнах, що призвело до 4 291 смертей. [111]. 5 травня 2023 року ВООЗ оголосило про припинення надзвичайної ситуації в галузі охорони здоров'я міжнародного значення. За цей час короновірусом по всьому

світу перехворіло більше 700 мільйонів людей, а через подальші ускладнення померли близько 7 млн.

Треба зазначити, що сучасна транспортна система (основним чином її авіаційна складова) в якомусь сенсі є однією з причин виникнення пандемії. Її швидкість, пасажиромісткість та географічна доступність сприяли швидкому розповсюдження хвороби по всьому світу. Але ці ж самі фактори відіграли важливу роль й у подальшій боротьбі з пандемією. Транспортна система приймала активну участь у переміщені лікарів і хворих пацієнтів, доставці медичних препаратів, тестів і обладнання та забезпечувала постачання необхідних ресурсів для суспільства, яке було вимушене витратити значну кількість свого часу вдома. Також саме вона розповсюдила по світу вирішення цієї глобальної проблеми – вакцини, які виготовлялися невеликою кількістю виробників в декількох точках планети.

В допандемічний період світова транспортна система мала стабільне щорічне підвищення показників пасажиропотоку та вантажообігу. Подальше введення заходів боротьби з пандемією, таких як: карантинні обмеження, закриття кордонів та локдауни спричинили різке падіння мобільності людей і вантажів. В результаті постраждали усі сфери світової економіки, але особливо – транспортна система. Якщо сектор вантажних перевезень зазнав проблем але при цьому все одно мав попит, то транспортування пасажирів майже повністю зупинилося.

Повітряний сектор зазнав найбільшніх втрат, так як більша його частина займається саме пасажирськими перевезеннями. Авіакомпанії були вимушені значно зменшити кількість польотів та поставити на стоянку значну частину флоту літаків. В перші місяці пандемії пасажиропотік впав на 90-95% відсотків порівняно з аналогічним періодом 2019 року. Загалом за 2020 рік пасажиропотік зменшився на 66% порівняно з 2019, а в 2021 на 58%. Це призвело до економічних втрат для сектора у 244 мільярди доларів у 2020 році та 146 млрд. доларів у 2021. Вантажні перевезення змогли лише частково компенсувати збитки. Деякі авіакомпанії опинилися на межі ліквідності та для

подальшого функціонування були вимушені запрошувати державну підтримку у вигляді дотацій, кредитів та податкових пільг.

Водна складова – призупинення виробництва на початку пандемії спричинило зменшення активності судноплавства та простоювання тисяч пустих контейнерів в портах. Подальший скачок виробництва спричинений різким збільшенням попиту на товари через соціальну ізоляцію визвав нестачу та дефіцит контейнерів, що збільшило тарифи та тривалі затримки доставок. Круїзні пасажирські перевезення майже повністю зупинилися внаслідок обмежень. На початку пандемії більше 40 круїзних лайнерів були вимушені стати на карантин в портах, після того як на їх борту були виявлені випадки захворювання.

Автомобільний сектор будучи в основному приватним видом транспорту постраждав менше відносно інших. Але через обмеження пересування як всередині країн так і між ними, показники зменшилися на 40% порівняно з 2019 роком.

Як і інші, залізнична складова понесла значні втрати - 40-50% скорочення пасажиропотоку в Європі, Північній Америці та Азії порівняно з попереднім роком. Але так як значна частина сектора займається вантажними перевезеннями, що продовжили функціонування, то вони змогли частково перекрити збитки.

Міський громадський транспорт маючи специфічну функцію в переміщенні тільки пасажирів, також значно постраждав - 70-90% падіння пасажиропотоку, та був вимушений ще більше залежати від державної підтримки.

Незважаючи на всі негативні наслідки пандемії, цей період мав і позитивні сторони, наприклад в результаті значного зниження транспортної активності, рекордно впали викиди вуглекислого газу в атмосферу - на 5-7%. Однак падіння було тимчасовим та після зняття обмежень об'єми викидів повернулися до показників допандемічного рівня, та продовжують зростати, що нагадує про важливість декарбонізації, в тому числі й транспортної складової.

РОЗДІЛ 2. ВПЛИВ ТРАНСПОРТНОЇ СИСТЕМИ НА СВІТОВУ ЕКОНОМІКУ

Наявна глобальна транспортна система відіграє вирішальну роль в функціонуванні сучасної світової економіки. Транспорт перестав бути лише допоміжною сервісною індустрією, та остаточно утвердився у статусі критичної інфраструктури, що визначає стан світової економіки, геополітичну позицію держав на світовій арені та конкурентоспроможність об'єктів приватного бізнесу. Він забезпечує функціонування світової торгівлі, яка в 2024 році оцінюється у 33 трильйони доларів. Транспортна система безпосередньо відповідає за близько 7% світового ВВП та прямо працевлаштовує десятки мільйонів людей. А її непрямий вплив на торгівлю, туризм та промислове виробництво є на порядок вищим.

2.1. Водна транспортна система

Водна транспортна система – сукупність морських і внутрішніх водних шляхів, портових і термінальних об'єктів, суднового флоту, законодавчих механізмів та інформаційно-цифрових платформ, що забезпечують перевезення вантажів і пасажирів по водній поверхні. [24, 43, 92, 104]

Стабільне функціонування водної транспортної системи визначає ефективність глобальних ланцюгів постачання, впливає на ціни товарів, продовольчу безпеку, регіональний розвиток портових кластерів та зайнятість у прибережних та річкових регіонах.

Враховуючи, що близько 71% поверхні Землі вкрито водою, водна транспортна система є однією з найважливіших для міжнародної торгівлі та інтеграції виробничих ланцюгів, особливо в сучасний етап глобалізації.

Будучи повільнішою за повітряну, вона має значно більшу вантажоспроможність. Якщо середньостатистичний показник корисного навантаження для літака вимірюється в десятках тон, то для судна в десятках тисяч.

За акваторією водна транспортна система масштабується з річкової та озерної, в морську, та в океанічну.

Можна об'єктивно зазначити, що на сьогодні водна транспортна система є основою міжнародної торгівлі, так як є безальтернативною для переміщення великої кількості товарів на великі відстані. 80% товарів за обсягом та 50-60% за вартістю від всієї міжнародної торгівлі транспортуються саме морським шляхом. Для країн, що розвиваються, цей показник часто перевищує середньосвітовий, підкреслюючи їхню значну залежність від доступу до морських шляхів для експорту сировини та імпорту технологій. Ще більшу залежність мають острівні регіони чи держави. [76, 93]

Основною одиницею виміру місткості водних вантажоперевезень є TEU (Twenty-foot equivalent unit) – умовна одиниця заснована на універсальному транспортному контейнері довжиною 20 футів (6,1 метри), що може перевозитися різними видами транспорту, як морським, так залізничним й автомобільним. Контейнери TEU почали активно використовуватися у 1960-х роках та значно покращили ефективність морських перевезень завдяки уніфікації як вантажів так і суден. До цього вантажі завантажувалися на судна на окремих та різних між собою палетах, що не дозволяло ефективно використовувати місце на судах. В 2024 році морський транспорт загалом перевіз більше 183 млн. контейнерів TEU.

В 2024 році водна складова глобальної транспортної системи забезпечила пряме та опосередковане працевлаштування більше 20 мільйонів робітників. З них 1,8 млн. працюють на судах, ще 19 млн зайняті в допоміжних сферах, таких як логістика, портові послуги та суднобудування.

Сучасна водна транспортна система виконує переважно вантажні перевезення. Незважаючи на невелику кількість пасажирських круїзних лайнерів (близько 1% світового флоту), ця індустрія є важливим елементом не тільки туристичної сфери, а й транспортної загалом, забезпечуючи 160 млрд. доларів доходу та підтримуючи більше 1,2 млн. робочих місць.

Організація і здійснення міжнародних морських перевезень регламентується Міжнародною Морською Організацією (IMO - International Marine Organization). Вона є спеціалізованою установою ООН та її діяльність спрямована на вирішення юридичних питань пов'язаних з міжнародним

судноплавством, прийняття стандартів із забезпечення безпеки на морі і запобігання забруднення морського довкілля.

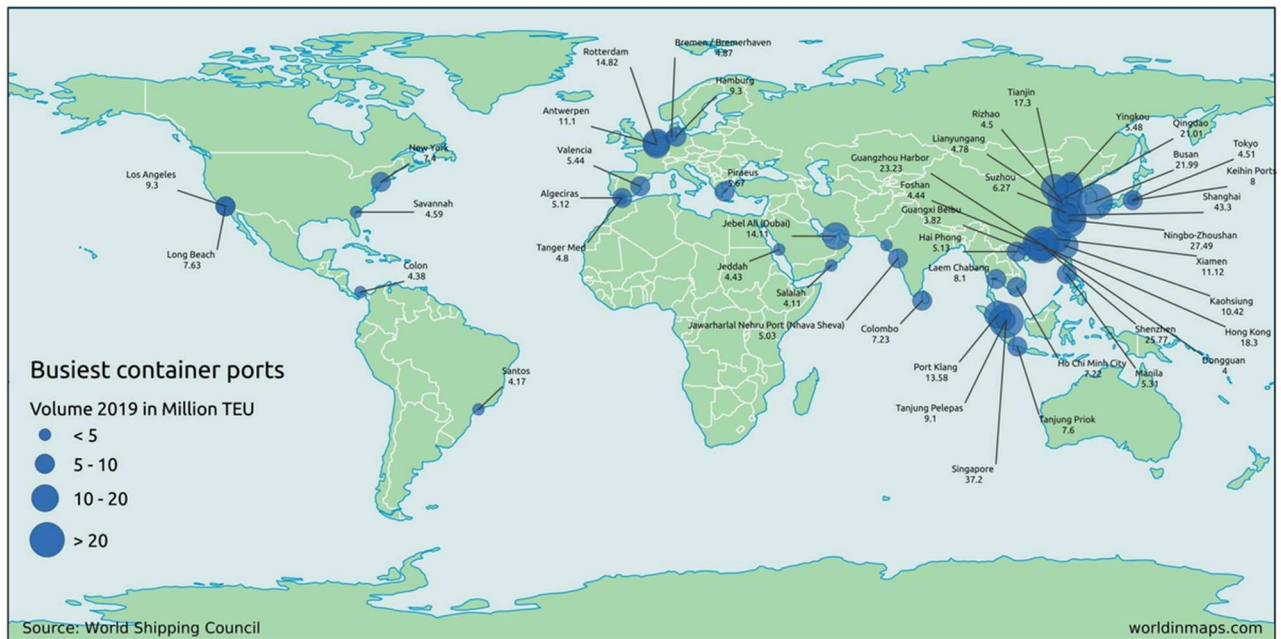


Рис. 2.1. Найзавантаженіші порти за контейнерообігом в світі [106]

Найзавантаженішими портами за контейнерообігом в світі (в контейнерах TEU, штук) за 2023 рік є: [105]

- 1 місце - Шанхай, Китайська Народна Республіка - 49 млн.
- 2 місце - Сінгапур - 39 млн.
- 3 місце - Нінбо-Чжоушань, КНР - 35 млн.
- 4 місце - Шеньчжень, КНР - 27 млн.
- 5 місце - Циндао, КНР - 26 млн.
- 6 місце - Пусан, Південна Корея - 23 млн.
- 7 місце - Тяньцзінь, КНР - 21 млн.
- 8 місце - Гуанчжоу, КНР - 20 млн.
- 9 місце - Лос-Анджелес/Лонг-Біч, США - 16 млн.
- 10 місце - Джабаль-Алі, ОАЕ - 14,5 млн.
- 11 місце - Гонконг - 14,3 млн.
- 12 місце - Кланг, Малайзія - 14 млн.
- 13 місце - Роттердам, Нідерланди - 13,5 млн.

Цей список наочно ілюструє сучасний статус південно-східної Азії як світового центру промислового виробництва, який потребує розвинутої морської транспортної інфраструктури, як для відправки готових товарів, так і для отримання ресурсів необхідних для їх виробництва.

Далі будуть детально розглянуті найважливіші для світової економіки коридори водної транспортної системи.

Суецький канал [20, 67, 71, 72]

Суецький канал – це штучний судноплавний канал розташований на території Єгипту, що з'єднує Середземне та Червоне моря, та який проходячи між Порт-Саїдом на півночі та Суецом на півдні, фізично розділяє континенти Африка та Азія між собою (також відділяє Синайський півострів від Єгипту).

Будівництво тривало з 1859 по 1869 рік, під керівництвом французького дипломата Фердинанда де Лессепа. Протягом цього періоду в будівництві каналу загалом прийняло участь близько 1,5 млн. людей з різних країн, при цьому в будь який момент працювало більше 30 тисяч людей одночасно. Треба зазначити, що використовувалася в тому числі і примусова праця єгипетських робітників.

Проект зіткнувся з численними технічними, політичними та людськими викликами: будівництво потребувало видалення понад 74 мільйонів кубічних метрів ґрунту, вартість побудови склала більше 100 млн. доларів (приблизно 1,5 млрд. в сучасному еквіваленті), та загибель декількох десятків тисяч робітників через хвороби (в основному холеру).

Після будівництва канал належав Єгипту але компанія що його експлуатувала контролювалася європейськими інвесторами (переважно з Великої Британії та Франції). Націоналізація каналу Єгиптом у 1956 році призвела до Суецької кризи.

Протягом історії Суецький канал декілька разів потребував розширення для більш ефективного функціонування. Оригінальні розміри 1869 року складали: довжина - 162,5 км, глибина - 8 метрів, ширина біля дна - 22 метри, ширина на поверхні - від 60 до 90 метрів. Щоб судна могли розмикатися, кожні 10 км. були побудовані прохідні бухти.

Сучасні розміри складають: довжина - 193,3 км, глибина - 23 м та ширина - 205 метрів.

Через рівнинну місцевість та незначну різницю рівня морів на обох кінцях, Суецький канал не має шлюзів, що пришвидшує прохід суден та зменшує витрати на обслуговування.

Суецький канал є ключовим торговельним шляхом між Європою та Азією, який пропонує прямий маршрут між північною Атлантикою та північною частиною Індійського океану через Середземне та Червоне моря, дозволяючи уникнути маршруту навколо Африки, скорочуючи шлях від Аравійського моря до Лондона на 8 900 км., що зменшує час подорожі для суден на 8-10 днів (на стандартній швидкості) та сприяє швидшому товарообігу, зниженню логістичних витрат і підвищує надійність та конкурентоспроможність світових експортно-імпортних операцій.

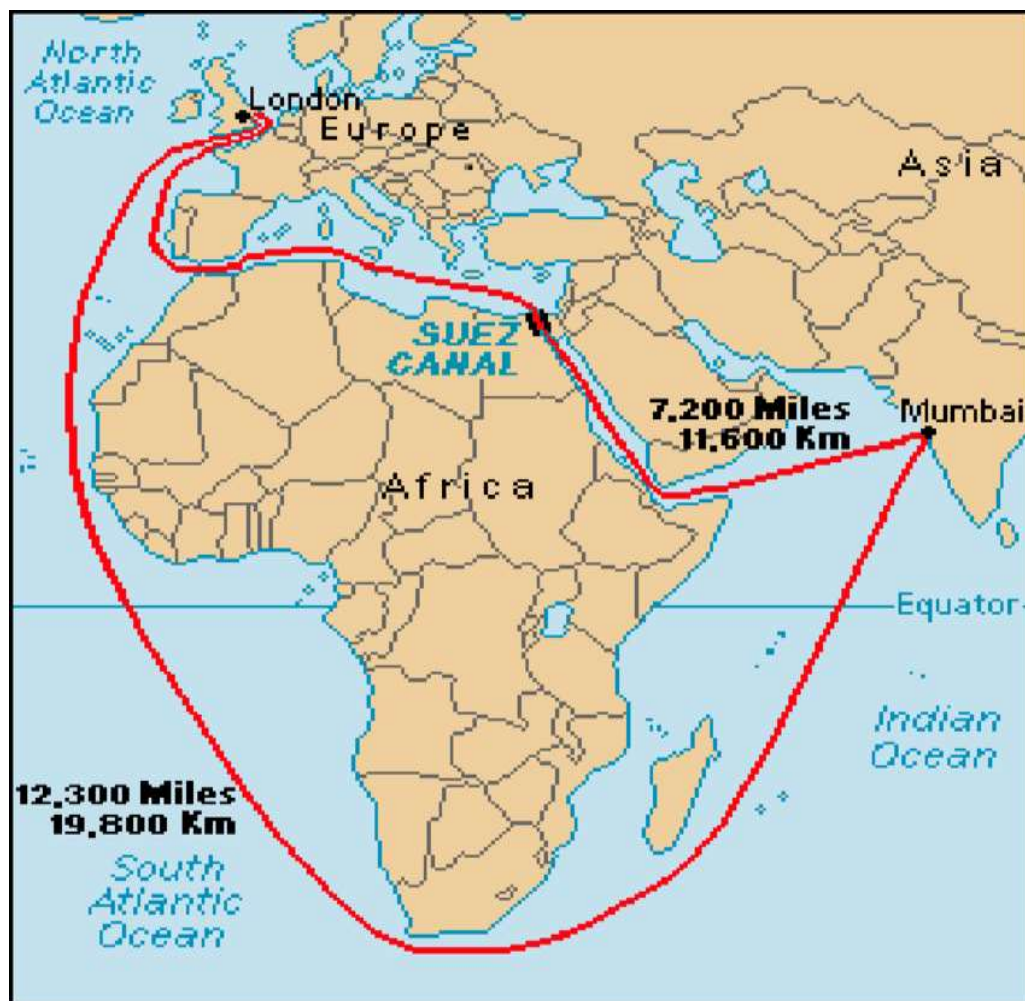


Рис. 2.2. Суецький канал та альтернативний маршрут навколо Південної Африки [85]

Через Суецький канал проходить близько 12-15 % світової торгівлі та 30 % світових контейнерних перевезень, що робить його одним з найважливіших транспортних коридорів світу.

Канал є власністю Арабської Республіки Єгипет та експлуатується і обслуговується державною компанією – Suez Canal Authority, яка працевлаштовує близько 14 тисяч працівників.

В 2024 році канал згенерував дохід у 4 млрд. доларів, складаючи приблизно 2% ВВП Єгипту, що значно менше історичного максимуму 2023 року у 10,3 млрд. Причиною цього є політична напруженість в регіоні, а саме війна Ізраїлю в Секторі Газа та подальші погрози від Єменських Хуситів атакувати судна що проходять через Баб-ель-Мандебську протоку.

За добу канал пропускає в середньому 50-60 суден.

23 березня 2021 році в Суецькому каналі сів на мілину контейнеровоз “Ever Given”. Маючи розміри 400 метрів у довжину та 59 метрів в ширину, 14 метрів осадки та місткість у 20 тисяч TEU - є одним з найбільших контейнеровозів в світі. [112]

За результатами розслідування причиною інциденту став сильний боковий вітер та подальші людські помилки в діях екіпажу.

Зняти корабель з мілини та поновити рух через канал змогли тільки через 6 днів - 29 березня. За цей час було затримано 432 суден з вантажем оціненим у 92 млрд. доларів. Адміністрація Суецького каналу втрачала по 15 млн. доларів в день. Компанія власник контейнеровозу “Ever Given” - Maersk Line понесла збитки в розмірі 89 млн. доларів. Загалом блокування каналу призвело до збитків для світової економіки у розмірі 130-140 млрд. доларів.

Панамський канал [26, 51, 78, 88, 107]

Панамський канал – це штучний судноплавний канал розташований на території Панами в Центральній Америці, поєднуючи Панамську затоку Тихого океану з Карибський морем Атлантичного океану.

Панамський канал значно зменшує час подорожі суден між Тихим та Атлантичним океанами, дозволяючи уникнути тривалого та небезпечного

маршруту навколо Південної Америки через протоки Дрейка, Магелланову і Бігля, скорочуючи відстань на 12 тисяч кілометрів.

Через обмеження розмірів оригінальних шлюзів контейнеровози будуються максимальних розмірів спроможних через них пройти. Таким чином виник клас суден - Panamax. Відкриття у 2011 році шлюзів більшого розміру дозволило прохід відповідно більших суден – Neopanamax.

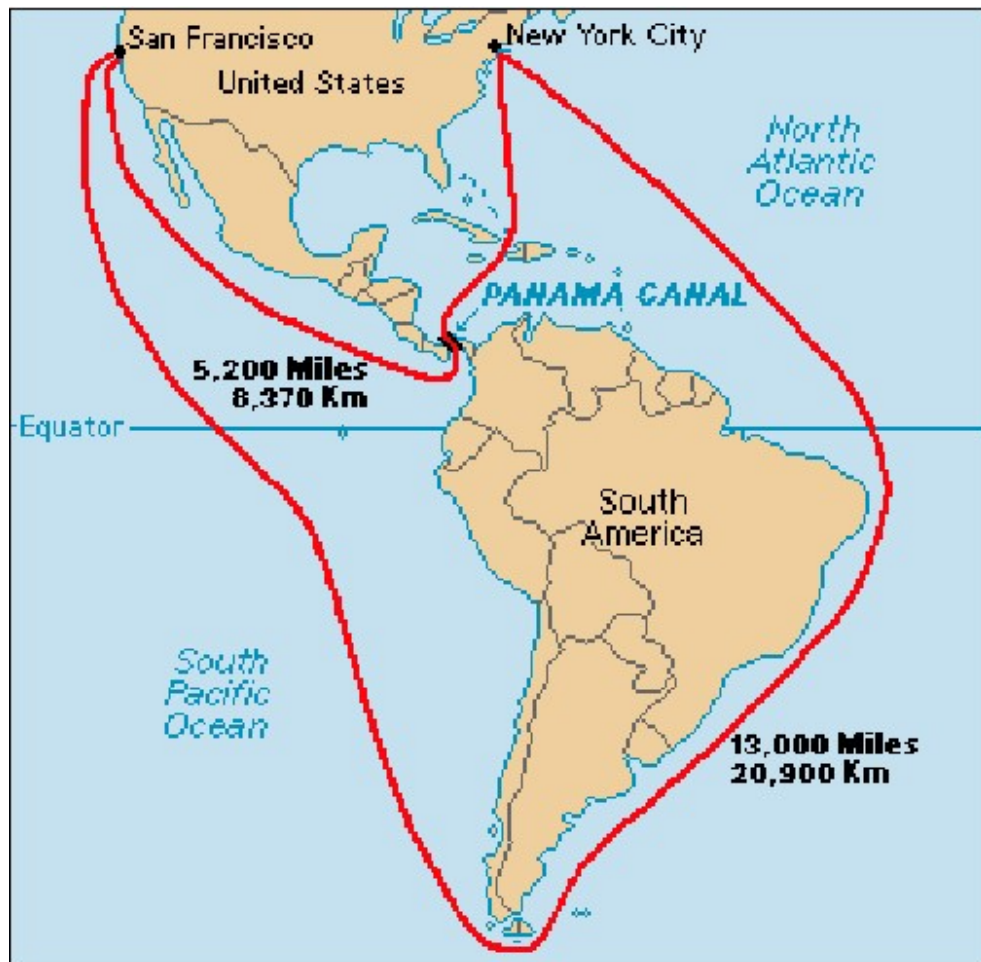


Рис. 2.3. Панамський канал та альтернативний маршрут навколо Південної Америки [32]

З 1999 року канал є власністю Республіки Панама та експлуатується і обслуговується державною компанією – Panama Canal Authority, яка працевлаштовує близько 9 тисяч працівників.

В 2024 році Панамський канал згенерував дохід розміром у 3,4 млрд доларів, що відповідає 4% ВВП країни. Щоденно він пропускає в середньому 35 суден.

Панамський канал функціонує завдяки складній системи природних водойм та штучних каналів, які накопичують прісну воду для наповнення шлюзів під час проходження суден. Тривалі періоди зниженого рівня опадів можуть призвести до виснаження водних ресурсів каналу та подальших операційних обмежень, економічних втрат та порушень глобальних ланцюгів постачання.

Малаккська протока [44]

Малаккська протока є головним судноплавним маршрутом між Індійським та Тихим океанами ще з 17 століття. На сьогоднішній день цей шлях є найкоротшим та найефективнішим коридором між виробничими центрами Південно-Східної Азії та споживчими ринками Європи, Близького Сходу та Африки, а також основним маршрутом для постачання енергоресурсів з Перської затоки до Азійських економік.

Малаккська протока знаходиться між Малайським півостровом та островом Суматра (Індонезія), сполучаючи Андаманське море з Південно-Китайським морем через Сінгапурську протоку. Прибережними країнами є: Індонезія, Малайзія, Сінгапур і Тайланд.

Її довжина складає 900 км а ширина варіюється від мінімальної у 15 км. до максимальної у 240 км. Значним фізичним обмеженням є глибина, яка в середньому становить близько 25 м. Через цей фактор було створено термін - Malaccamax, що позначає судна найбільшого тоннажу, які мають осадку до 25 метрів та можуть безпечно пройти цією протокою. Таким чином географія Малаккської протоки (на відміну від людських інженерних можливостей у випадку з Панамським та Суецьким каналами) безпосередньо впливає на світові стандарти суднобудування та логістику для найбільших класів суден.

Історично Малаккська протока була частиною Морського Шовкового шляху – морської ділянки Шовкового шляху яка з'єднувала Китай, Південно-Східну Азію, Східну Азію, Індійський субконтинент, Аравійський півострів, Східну Африку та Європу. Цей маршрут почав активно використовуватися у 2 столітті до нашої ери та процвітав до 15 століття нашої ери.



Рис. 2.4. Малаккська протока на мапі Південно-Східної Азії [63]

На південний схід від Малаккської протоки розташована Сінгапурська протока, яка продовжує маршрут між Індійським та Атлантичним океанами. Маючи довжину у 114 км, вона є вузькою (до 14 км) та мілкою (до 20 м). В її акваторії знаходиться порт Сінгапура – один з найзавантаженіших за контейнерообігом не тільки в Азії, але в усьому світі (2 місце в 2023 році).

Через високу завантаженість та географічні особливості Малаккська та Сінгапурська протоки мають найвищі показники активності піратства.

Альтернативним маршрутом є Зондська протока (між Індонезійськими островами Суматра та Ява), але дистанція маршруту в такому випадку збільшується на 1800 км. А враховуючи що ця протока ще вужча та мілкіша за Малаккську, то судна що перевищують вимоги Malaccamax вимушені використовувати Ломбокську протоку (між Індонезійськими островами Балі та Ломбок) яка розташована за 4600 км. від Малаккської (що еквівалентно 3-4 дням додаткового шляху та збільшенню транспортних витрат приблизно на 20%).

Щорічно через протоку проходять більше 90 тисяч суден, що відповідає приблизно 30-40% світової торгівлі.

Малаккська протока має стратегічну енергетичну та економічну важливість для всієї Східної та Південно-Східної Азії, але особливо критичну для Китаю, так як дві третини обсягу торгівлі через море, 80% нафти та 60% природного газу імпортованих цією країною проходять саме через неї.

Ормузька протока [19]

Ормузька протока розташована на Близькому Сході та з'єднує між собою Перську й Оманську затоки. Прибережними країнами є: Іран (північ), Оман та ОАЕ (південь). Вона має довжину у 167 км; її ширина варіюється від 40 км в найвужчому до 100 км в найширшому місці; глибина змінюється від 60 до 100 метрів.

Будучи єдиним виходом з Перської затоки у відкритий океан (в даному випадку Індійський), вона є однією з стратегічно найважливіших транспортних точок в світі. Причиною цього є багатство на енергоресурси країн цього регіону - тут розташовані 55% світових запасів нафти та 40% світових запасів природного газу.

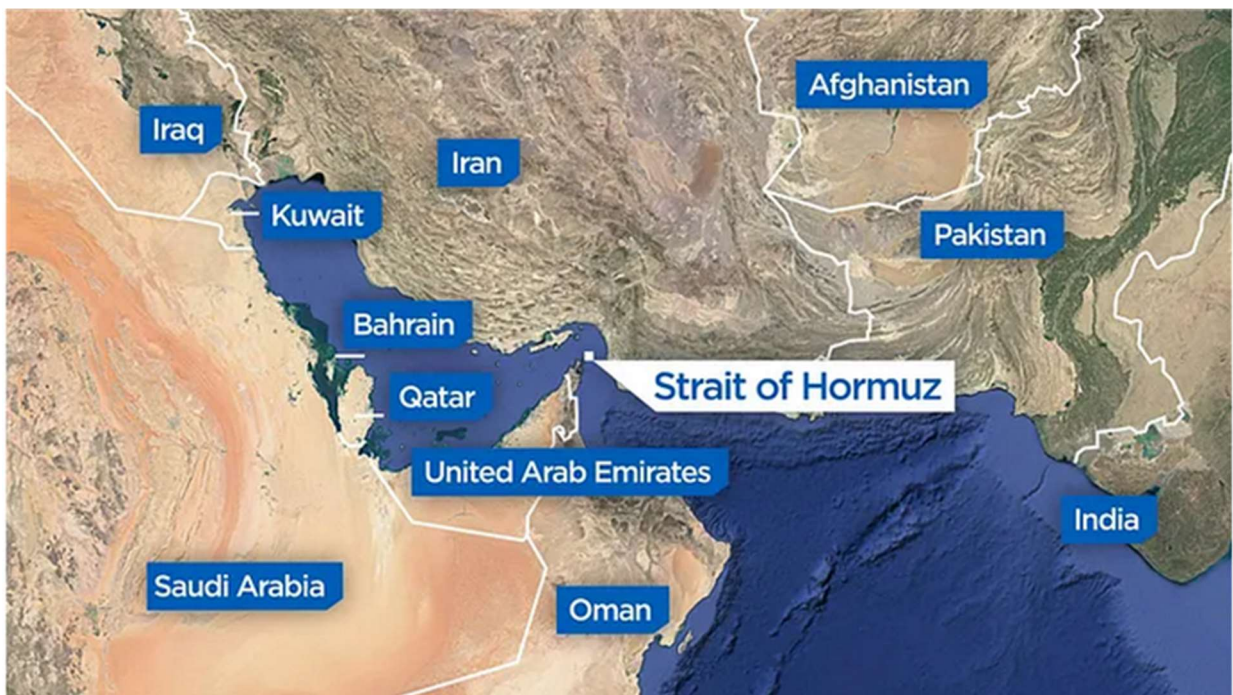


Рис. 2.5. Ормузька протока на мапі Близького Сходу [19]

Англійський канал [50]

Англійський канал або Ла-Манш – протока між південною частиною Великої Британії та Францією. Він поєднує південну частину Північного моря з Атлантичним океаном.

Його довжина складає – 560 км, а ширина варіюється від 240 км у найширшому місці та до 34 км. у найвужчому (Дуврська протока). Середня глибина – 63 метри, а максимальна – 174 м.

Англійський канал обслуговує морські маршрути як з Великої Британії в Європу, так і з Північного моря в Атлантичний океан. Він є найзавантаженішим морським шляхом в світі, через який щодня проходить близько 500 суден.

Гібралтарська протока [86]

Гібралтарська протока – з'єднує Атлантичний океан з Середземним морем та відокремлює Європу та Африку. Довжина протоки – 58 км, а в найвужчому місці її ширина складає - 14 км. Глибина варіюється від 300 до 900 метрів.

Протока лежить в територіальних водах Марокко, Іспанії та британської заморської території Гібралтар. Щодня через протоку проходить близько 300 суден.

2.2. Повітряна транспортна система

Повітряна транспортна система складається з мережі авіамаршрутів, флоту літаків, аеропортів з супутньою наземною інфраструктурою, авіакомпаній, цифрових систем управління рухом та державних законодавчих механізмів.

Вона забезпечує швидке переміщення пасажирів і вантажів між регіонами та континентами, виступаючи одним з ключових елементів глобальної логістики та економічної інтеграції.

Порівняно з водною складовою, повітряна має кратно меншу вантажопідйомність та відповідає лише за 1% перевезень за тоннажем, але завдяки вищій швидкості, вона відіграє важливу роль у транспортуванні високовартісних та швидкопсувних товарів, що виражається в переміщенні

авіаційною складовою 35% товарів за вартістю. Ціна транспортування авіаційною складовою помітно вища (5-8\$ за кг) за морську (1-2\$ за кг) або залізничну, проте швидкість є вирішальним фактором. Наприклад, Ттрансатлантичний маршрут з Шанхаю в Чикаго займе 2-4 доби літаком та 18-24 доби кораблем (плюс затримки в портах) або Сінгапур - Франкфурт - 3-5 діб повітрям та 28-35 діб водою.

За даними звіту Aviation: Benefits Beyond Borders від Міжнародної асоціації повітряного простору за 2024 рік, авіаційний сектор генерує прямий та опосередкований внесок в світову економіку приблизно у 4 трлн. доларів в рік, що становить майже 4% світового ВВП (на рівні з ВВП таких країн як Японія та Індія). 35% міжнародної торгівлі за вартістю транспортується саме повітряною складовою. Авіаційна складова прямо та опосередковано підтримує 69,3 млн. робочих місць, з яких: - 11,6 прямих (працівники аеропортів, авіакомпаній, аерокосмічної галузі), 20,4 млн. непрямих (постачальники ресурсів та товарів для авіаційної сфери) та 37 млн. в сфері туризму. Треба зазначити, що повітряна складова є життєво необхідною для функціонування сфери міжнародного туризму, яка підтримує 330 млн. робочих місць та складає 9% світового ВВП.

В світі офіційно зареєстровано більше 35 тисяч повітряних суден, з яких 12-16 тисяч. знаходяться в повітрі одночасно. В 2024 рік авіаційна галузь перевезла близько 5 млрд пасажирів та 127 млн. тонн вантажу, що не тільки відновило, а й перевищило показники пасажиропотоку та вантажообігу порівняно з періодом до пандемії Covid-19. [16, 52]

В світі нараховується більше 40 тисяч аеропортів (найбільша кількість в США), з яких 10 тисяч обслуговують комерційні рейси. Найзавантаженіші аеропорти за пасажирообігом на 2024 рік (за кількістю пасажирів):

- 1 місце - Атланта, США - 108 млн.
- 2 місце - Дубай, ОАЕ - 92 млн.
- 3 місце - Даллас-Форт Ворт, США - 87 млн.
- 4 місце - Токіо Ханеда, Японія - 85 млн.
- 5 місце - Лондон Хітроу, Велика Британія - 83 млн.

- 6 місце - Денвер, США - 82 млн.
- 7 місце - Чикаго, США - 80 млн.
- 8 місце - Стамбул, Туреччина - 79 млн.
- 9 місце - Делі, Індія - 77 млн.
- 10 місце - Шанхай, КНР - 76 млн.
- 11 місце - Лос Анджелес, США - 76 млн.



Рис. 2.6. Світова мережа авіамаршрутів [108]

Найпопулярніші світові авіамаршрути (за кількістю доступних пасажирських місць) в 2024 році:

- 1 місце - Гонконг - Тайбей - 6,8 млн.
- 2 місце - Каїр - Джедда - 5,5 млн.
- 3 місце - Сеул - Токіо - 5,4 млн.
- 4 місце - Куала Лумпур - Сінгапур - 5,3 млн.
- 5 місце - Сеул - Осака - 4,9 млн.
- 6 місце - Дубай - Ріяд - 4,3 млн.
- 7 місце - Бангкок - Гонконг - 4,2 млн.
- 8 місце - Джакарта - Сінгапур - 4,1 млн.
- 9 місце - Бангкок - Сінгапур - 4 млн.
- 10 місце - Нью Йорк - Лондон - 4 млн.

Регулюванням міжнародних авіаційних перевезень займаються Міжнародна організація цивільної авіації (ICAO - International Civil Aviation Organization) та Міжнародна асоціація повітряного транспорту (IATA - International Aviation Transport Association). Перша будучи частиною ООН відповідає за глобальні технічні стандарти і стандарти безпеки, а друга - торгова асоціація авіакомпаній, яка зосереджується на комерційних питаннях та зручності пасажирів.

2.3. Наземна транспортна система

Наземна складова транспортної системи, яка включає в себе автомобільну та залізничну мережі є основною для більшості локальних, внутрішніх та регіональних перевезень в світі. Вона забезпечує зв'язок між виробниками та споживачами як всередині країн так і між ними.

Автомобільна складова

Автомобільна складова транспортної системи є домінантною для внутрішніх перевезень пасажирів та вантажу на ближні та середні дистанції в більшості країнах світу. Разом з залізничною вона відіграє важливу роль на регіональному рівні, та є найважливішою на локальному. Значна частина пасажирських перевезень по суші здійснюється саме автомобільним транспортом.

Вона включає вантажні та пасажирські автотранспортні засоби, законодавчі механізми, об'єкти інфраструктури, такі як: дороги, мости, тунелі.

На 2024 рік загальна світова довжина доріг складає приблизно 65 млн. км. (враховуючи усі типи покриття), що робить її найдовшою транспортною мережею.

Список країн за довжиною автошляхів в км. (загальне; асфальтоване-%; неасфальтоване-%):

1 місце - Індія - 6,67 млн.; 4,5 млн - 67%; 2,2 млн - 33%.

2 місце - США - 6,59 млн.; 4,3 млн - 65%; 2,28 млн - 35%.

3 місце - КНР - 5,49 млн.; 5,34 млн - 97%; 0,15 млн - 3%.

4 місце - Бразилія - 2 млн.; 0,22 млн - 11%; 1,78 млн - 89%.

5 місце - РФ - 1,57 млн.; 1,1 млн - 70%; 0,5 млн - 30%.

6 місце - Японія - 1,28 млн.; 0,99 млн - 81%; 0,22 млн - 19%.

7 місце - Франція - 1,05 млн.; 1,05 млн - 100%.

8 місце - Канада - 1,04 млн.; 0,41 млн - 40%; 0,62 млн - 60%.

9 місце - Австралія - 0,97 млн.; 0,40 млн - 41%; 0,57 млн - 59%.

10 місце - Мексика - 0,83 млн.; 0,17 млн - 21%; 0,64 млн - 79%.

На 2025 рік в світі нараховується приблизно 1,6 млрд. одиниць автомобільно транспорту (як пасажирського так і вантажного). Цей показник збільшився вдвічі за період з 2000 по 2020 роки. [58]

Автомобілі є найнебезпечнішим видом транспорту порівняно з іншими - щорічно в світі в дорожньо-транспортних пригодах гинуть близько 1,2 млн. людей. [109] Найгірші показники мають окремі країни Африки, Азії та Південної Америки, що мають поєднання таких факторів як: слабкі закони про безпеку дорожнього руху та їх неефективний контроль, неякісна інфраструктура та небезпечні транспортні засоби. Але навіть в країнах з жорсткішими законами, якіснішою інфраструктурою та безпечнішими авто, дорожньо-транспортні пригоди забирають життя тисяч людей щорічно. Причому більше половини смертей в ДТП припадає на вразливі категорії учасників дорожнього руху - пішоходів, мотоциклістів та велосипедистів.

Для зменшення смертності на дорогах та створення безпечного середовища для всіх учасників руху розробляють спеціальні державні програми та приватні ініціативи. Найефективнішою з них є Vision Zero [100] - міжнародна програма безпеки дорожнього руху, яка спрямована на створення транспортної системи, що буде функціонувати без смертельних випадків або серйозних травм під час дорожнього руху. Вона була започаткована у Швеції у 1995 році та схвалена їх парламентом у 1997 як національна стратегія розвитку транспортної системи.

Основною її задачею є зменшення дозволеної швидкості руху, що не тільки збільшує кількість часу на реакцію, зменшуючи вірогідність інцидентів, але й знижує ризик важких травм у випадку ДТП, особливо для пішоходів.

Система міжштатних магістралей США

Найбільш відомим та впливовим прикладом автомобільної складової є Система міжштатних магістралей (Interstate Highway System) - мережа автомобільних магістралей Сполучених Штатів Америки. Повна назва - Національна система міжштатних та оборонних автомобільних магістралей ім. Двайта Д. Ейзенхауера (Dwight D. Eisenhower National System of Interstate and Defense Highways) - названа на честь тридцять четвертого Президента США Дуайта Ейзенхауера (1953-1961), що підтримував її створення.



Рис. 2.7. Національна система міжштатних автомагістралей США. [89]

Будівництво системи розпочалося у 1956 році. Побудова оригінально запланованої системи доріг довжиною в 66 тисяч кілометрів була закінчена в 1991 році. На 2025 рік загальна довжина доріг системи складає - 78 860 км. Вона є частиною Національної системи магістралей - мережі стратегічних автомагістралей США, що обслуговують аеропорти, порти, військові бази,

залізничні та автомобільні вантажні та пасажирські термінали, трубопроводи та інші стратегічно важливі транспортні об'єкти. Загальною довжиною у 259 тисяч км. - вона є найбільшою системою автомобільних доріг в світі.

Вартість будівництва, яке завершилось у 1991 році склала 114 млрд. (еквівалент 618 млрд. на сьогодні). Незважаючи на такі великі витрати, дослідження показують що приблизно 25% економічного зросту США з моменту побудови системи викликано функціонуванням саме цієї системи.

Саме Система міжштатних магістралей забезпечує ефективне функціонування сфери вантажних перевезень США, яка транспортує 72% товарів за обсягом та генерує виторг розміром в 900 млрд. доларів в рік. [17]

Залізнична складова

Залізнична складова є важливою частиною глобальної транспортної системи, забезпечуючи вантажні та пасажирські перевезення, від коротких до дальніх відстаней, з відносно малими економічними витратами та викидами вуглекислого газу.

Залізницю можна назвати “наземним аналогом” водної складової, а саме в можливості перевозити великі вантажі на великі відстані порівняно з авіаційним та автомобільним транспортом, особливо у випадку контейнерів та сировини, що в результаті зменшує кінцеву вартість товарів.

Вона демонструє одні з найнижчих показників енергоспоживання та викидів серед наземного транспорту.

Міжнародний союз залізниць (UIC) - всесвітня організація торговельно-економічного співробітництва між основними суб'єктами міжнародного залізничного сектора. Основними завданнями організації є лібералізація та глобалізація світового залізничного сектора, а також розв'язання проблем пов'язаних з залізничною галуззю.

Загальна довжина залізничних шляхів в світі - 1,3 млн. км. [80]. Приблизно 1/3 довжини залізниць в світі є електрифікованою, найбільший середній показник електрифікації залізниць за регіоном в Європі - 60%.

Країни за довжиною залізниць (в км.) та % електрифікації [110]:

- 1 місце - США - 220 тисяч - 1%
- 2 місце - КНР - 159 тисяч - 75%
- 3 місце - Росія - 105 тисяч - 50%
- 4 місце - Індія - 69 тисяч - 98%
- 5 місце - Канада - 49 тисяч - 0,5%
- 6 місце - Німеччина - 33 тисяч - 62%
- 7 місце - Аргентина - 37 тисяч - 0,5%
- 8 місце - Австралія - 33 тисяч - 10%
- 9 місце - Бразилія - 29 тисяч - 30%
- 10 місце - Франція - 27 тисяч - 58%
- 11 місце - Японія - 27 тисяч - 75%

Швидкісна залізна дорога є конкурентом авіаперельотам на коротких та середніх відстанях. Завдяки відсутності необхідності проходити паспортний контроль пасажери витрачають менше часу. Також перевагою є те, що залізничні пасажирські термінали знаходяться в межах міста, часто в самому його центрі, в той час коли аеропорти розташовані за межами міста та потребують більше часу на транспортування до них. Також вона має значну перевагу по викидах порівняно з літаком .

В 21 столітті найактивніше залізниця розвивається в Китайській Народній Республіці, де було побудовано 45 тисяч км. швидкісної залізниці. Зараз вона є найбільшою та найвикористованішою залізничною системою в світі. В 2024 році її пасажиропотік склав - 3,27 млрд.

Євротунель [37, 41]

Євротунель – це підземний залізничний тунель, що з'єднує континентальну Європу з Великою Британією. Його крайніми точками є французьке місто Кокель та англійське місто Фолкстон. Він пролягає під найвужчою частиною Англійського каналу – Дуврською протокою.

Маючи довжину у 50,5 км. з яких 38 км. проходить безпосередньо під морським дном, він є третім за довжиною залізничним тунелем світу та має найдовшу підводну частину (Японський тунель Сейкан, що займає другу позицію в світі, має загальну довжину у 54 км., але його підводна частина

менша та складає лише 23 км.). Його підводна частина досягає глибини у 75 метрів нижче морського дна та 115 метрів нижче рівня моря.

Ідея побудувати тунель під Дуврською протокою вперше з'явилась у 1802 році. За проектом він мав освітлюватися мастильними лампами та ним мали подорожувати кінні екіпажі. Протягом 19 століття неодноразово проводились геологічні та гідрографічні дослідження які підтверджували, що будівництво тунелю на цій ділянці технічно можливо. Перші спробу будівництва відбулась у 1881 році. Але незважаючи на успіх, у 1883 проект було зупинено через побоювання британських військових, що тунель може бути використано як шлях вторгнення.

Будівництво сучасного тунелю було розпочато у 1988 році. Для цього використовувалися одинадцять, тунельно-прохідних машин, а особливістю процесу було те, що на зустріч один одному прокладалися одночасно два тунелі, один з Великої Британії та інший з Франції. 1 вересня 1990 року тунелі були об'єднані, при цьому похибка склала лише 36 см. по горизонталі та 5 см по вертикалі. Він був відкритий 6 травня 1994 року. Фінальна вартість будівництва склала - 4,65 млрд. фунтів стерлінгів (перераховуючи інфляцію на 2023 рік - 11,7 млрд.).

З безпекових міркувань максимальна швидкість потягів обмежена 160 км/год. Власником є європейська публічна компанія Getlink, а тунелем користуються: вантажні потяги різних компаній, міжнародна компанія Eurostar, яка забезпечує високошвидкісні пасажирські перевезення між Великою Британією, Нідерландами, Бельгією, Німеччиною і Францією та компанія Leshuttle - яка перевозить транспортні засоби та їх пасажирів.

На обох кінцях тунель з'єднується з високошвидкісними залізничними лініями - LGV Nord у Франції (до Парижа) та High Speed 1 у Сполученому Королівстві (до Лондона). Таким чином час подорожі на потягу Eurostar, який досягає швидкості у 300 км/год. поза межами тунелю, між цими європейськими мегаполісами складає 2 години 15 хвилин.

За 2024 рік пасажиропотік Євротунелем склав близько 22 млн. осіб, не тільки повернувши а й перевищивши показник до пандемії Covid-19. Розподіл

за перевізниками – приблизно порівну між Eurostar та LeShuttle. Окрім того Leshuttle перевіз 1,2 млн вантажних та 2,2 млн. пасажирських автомобілей. Також за цей період тунелем скористалися 1200 вантажних потягів.

Шінкансен [84]

Шінкансен – це мережа високошвидкісних залізниць в Японії. Вона була побудована з метою з'єднання віддалених регіонів Японії зі столицею Токіо, сприянню економічного зростання та розвитку.

В 1964 році було відкрито першу лінію - Токайдо Шінкансен, довжиною 515 км. вона поєднує три найбільші міста країни: Токіо, Нагою та Осаку, та є однією з найзавантаженіших високошвидкісних залізничних ліній - в 2023 році пасажиропотік склав 160 млн.

Відкриття було заплановано до початку Літніх Олімпійських ігор 1964 року в Токіо, спеціально для показу іноземним відвідувачам. В результаті Шінкансен став одним з символів стрімкого післявоєнного розвитку Японії.

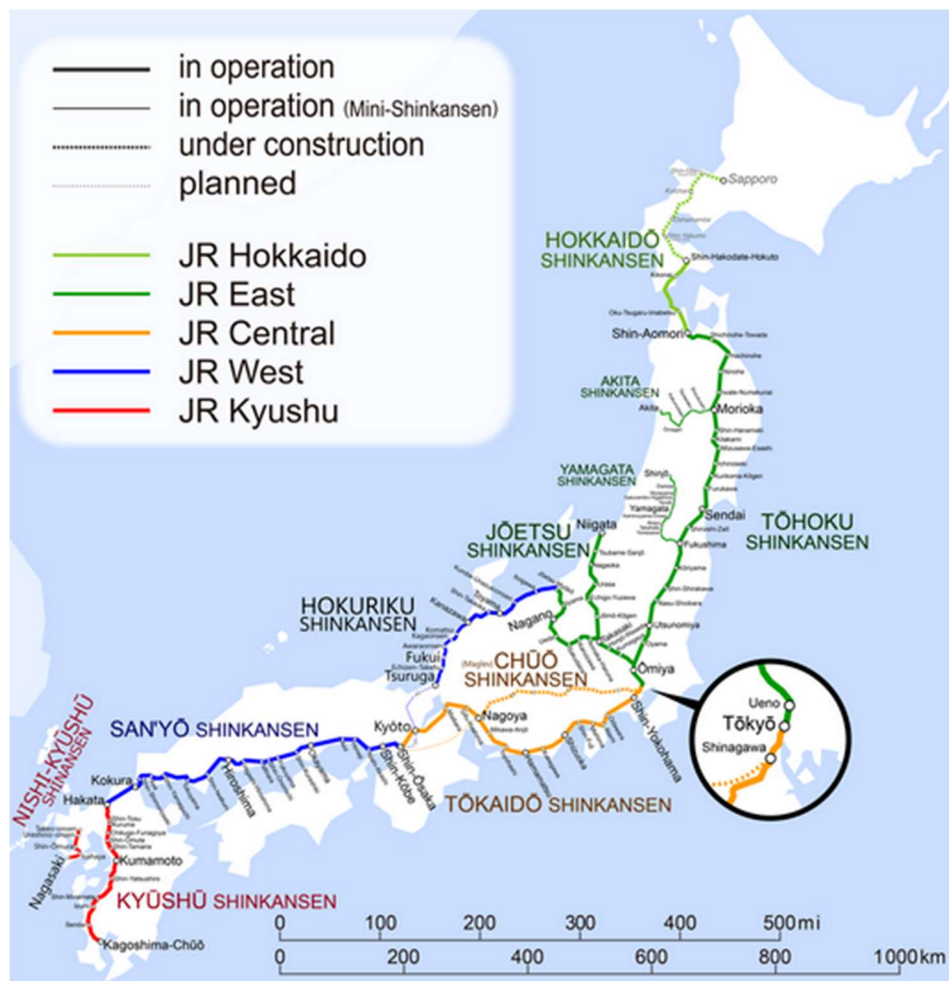


Рис. 2.8. Схема маршрутів Шінкансена [77]

На сьогоднішній день мережа Шінкансен складається з 9 ліній, загальною довжиною – 3000 км. За цим показником він посідає 5 місце в світі поступаючись системам швидкісної залізниці КНР, Іспанії, Франції та Німеччини.

Шінкансен мав найвищий річний пасажиропотік у світі - 353 млн, до поки у 2011 році його не обігнала мережа швидкісних доріг КНР - з показником у 370 млн.

Враховуючи те, що Японія розташована в зоні з високою сейсмічною активністю, то як і будь який інфраструктурний об'єкт в країні, система Шінкансена потребує системи захисту. У випадку землетрусу встановленні впродовж маршруту сейсмографи фіксують коливання землі та подають сигнал для миттєвої зупинки потягів.

Шінкансен з'явився в період коли через стрімкий розвиток цивільної авіації залізниця втратила переваги у швидкості та вважалася застарілою. Але успіх Шінкансена довів ефективність й безпечність швидкісної залізниці та стимулював будівництво і розвиток подібних систем в інших країнах.

Шінкансен відзначається майже ідеальною репутацією, що є видатним досягненням для транспортної системи, що має подібний розмір та пасажиропотік.

Досягається це завдяки таким факторам:

- Один з найвищих показників максимальної швидкості руху потягів у 320 км/год, що на рівні зі швидкісною залізницею Франції та поступається лише системам КНР.
- Майже відмінна пунктуальність – середня часова затримка прибуття потягу до станції складає півтори хвилини на рік.
- Безпрецедентна безпека – завдяки системам безпеки, підготовці персоналу та ретельному технічному обслуговуванню вдається зберегти показник у нуль смертей за 60 років роботи та 10 мільярдів перевезених пасажирів.

2.4. Спеціалізовані транспортні системи

В даному підрозділі будуть розглянуті транспортні системи, які через їх особливості функціонування, що виражаються в вузькій спеціалізації, буде більш доцільно винести в окрему категорію.

Трубопровідна

В загальному значенні трубопровід - це сукупність інженерних споруд, яка призначена для транспортування рідин та газів під дією різниці тиску. В даній роботі буде розглянута лише трубопровідна складова, що забезпечує транспортування сирової нафти, нафтопродуктів та природного газу у промислових масштабах, після добування та для подальшого зберігання та переробки. Будучи найбільш надійним, економічно- та енергоефективним способом переміщення цих специфічних продуктів на великі відстані, вона є стратегічним елементом національної та глобальної енергетичної безпеки.

Трубопроводи можуть прокладатися як на суші (наземно та підземно) так і під водою (на морському дні), хоча значна частина нафтогазопроводів проходить саме наземно.

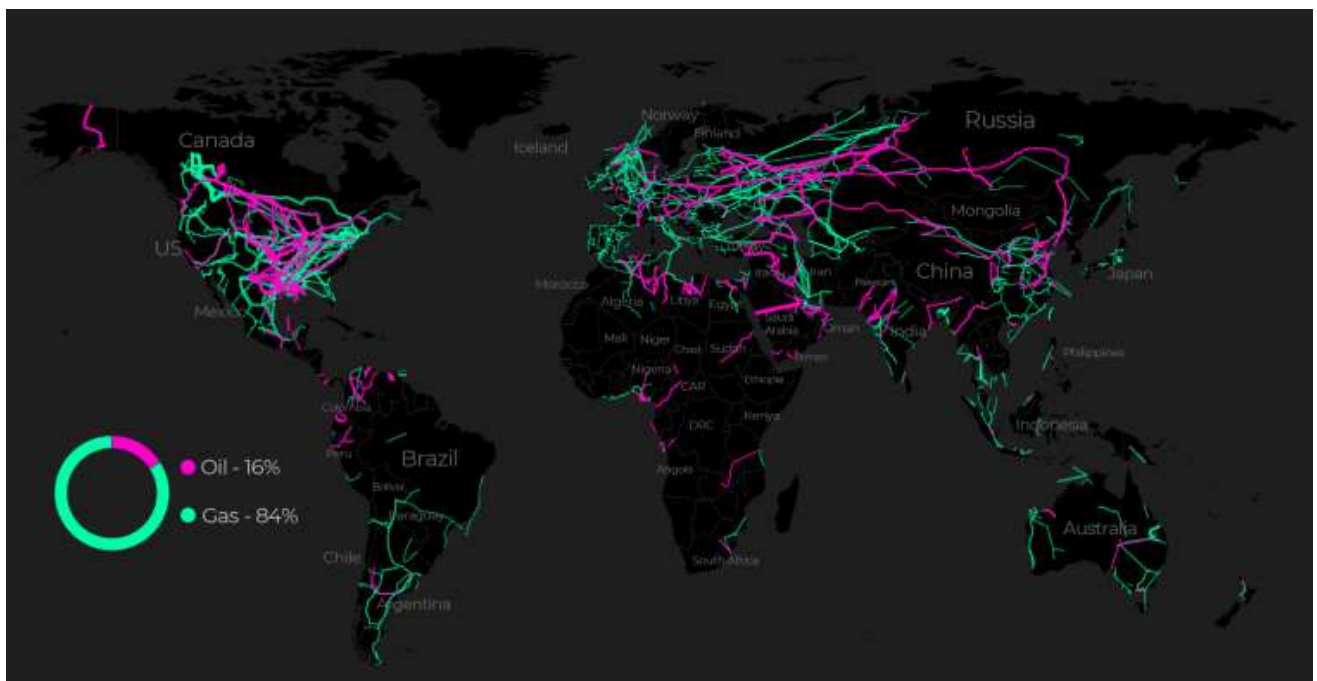


Рис. 2.9. Розподіл нафтогазових трубопроводів на карті Землі [64]

На 2025 рік загальна довжина нафто-газопроводів в світі складає - 1,2 млн. км., значна частина з яких приходить саме на газопроводи. Якщо

газопроводи відповідають за переміщення 70% світового транзиту газу, то нафтопроводи забезпечують близько 40% транспортування нафти (решта перевозиться морським шляхом).

Розподіл нафто-газопроводів за регіонами світу виглядає наступним чином (від найбільшого до найменшого):

Північна та Південна Америки - 51%

Європа - 27%

Азіатсько-Тихоокеанський - 16%

Близький Схід та Африка - 6%

Країни за довжиною нафтопроводів (тис. км.):

1 місце - США - 91

2 місце - РФ - 38

3 місце - КНР - 27

4 місце - Канада - 23

5 місце - Лівія - 9

6 місце - Індія - 8,5

7 місце - Франція - 5,8

8 місце - Казахстан - 4,7

9 місце - Алжир - 4,2

10 місце - Саудівська Аравія - 3,9

Країни за довжиною газопроводів (тис. км.):

1 місце - США - 333

2 місце - РФ - 93

3 місце - Канада - 85

4 місце - КНР - 76

5 місце - Індія - 23

6 місце - Австралія - 21

7 місце - Аргентина - 20

8 місце - Україна - 18

9 місце - Велика Британія - 17

10 місце - Мексика - 15

Трубопроводи в цілому дають менше прямого забруднення при транспортуванні ресурсів – вдвічі нижче порівняно з транспортуванням морським танкером. При цьому танкери залишаються необхідною складовою світового переміщення нафти та газу, так як прокладання трубопроводів по океанічному дну між континентами є занадто складним та затратним процесом. При використанні трубопроводів присутні ризики пов'язані з можливими аваріями - розливом нафти чи газу, що призвести до пошкодження цивільної інфраструктури або забруднення довкілля.

Через своє стратегічне значення нафто-газопроводи можуть використовуватися як інструмент геополітичного впливу. Країни через територію яких проходить трубопровід отримують транзитний збір, але в той же час можуть бути під політичним тиском зі сторони країни постачальника/споживача.

Підводні комунікаційні кабелі [22, 95]

Підводний комунікаційний кабель – це кабель прокладений по морському або океанічному дну для забезпечення передачі даних між наземними станціями. Незважаючи на нестандартність цього типу транспорту, яка полягає в транспортуванні інформації, а не вантажів або людей, його не тільки доцільно а й необхідно розглядати як складову сучасної світової економіки, через її залежність від постійного, надійного та швидкого процесу передачі даних.

Перші підводні комунікаційні кабелі були прокладені у 1850-х роках через Ла-Манш та передавали телеграфні сигнали. В 1871 році після прокладання кабелю до Австралії усі континенти окрім Антарктики було з'єднані телеграфним зв'язком.

Сучасна епоха підводних комунікаційних кабелів розпочалася у 1980-х роках з розробкою оптоволокна. Першим оптоволоконним кабелем був введений в експлуатацію у 1988 році ТАТ-8, що забезпечував телефонний зв'язок між США, Великою Британією та Францією.

Процес укладання підводного комунікаційного кабелю - складний і дорогий та виконується спеціалізованими кабельними суднами. Вони обережно розмотують кабель на морське дно, а на мілководді часто закопують його у ґрунт

для додаткового захисту. Маршрути прокладання ретельно плануються, щоб уникнути природних перешкод та потенційних загроз.

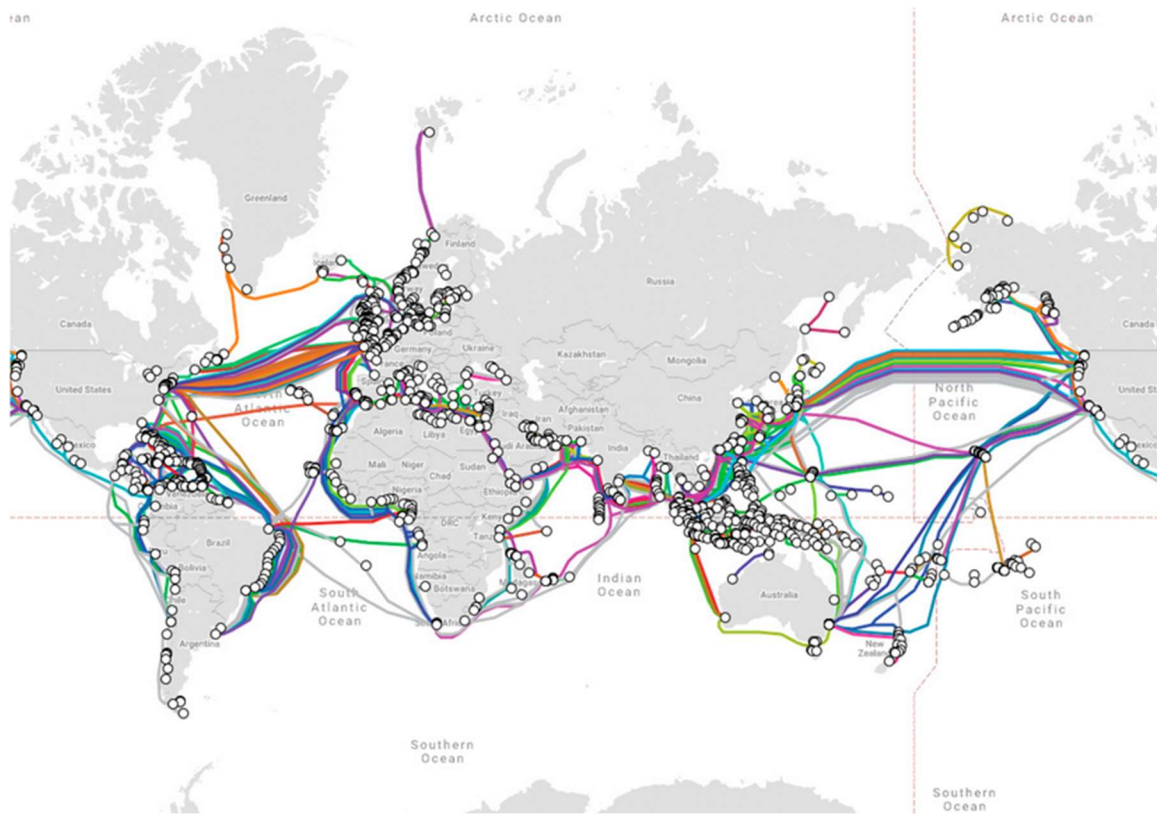


Рис. 2.10. Розподіл підводних комунікаційних кабелів на мапі Землі [28]

Існує три основні трансокеанські коридори передачі даних: Трансатлантичний (Північна Америка – Європа), Транстихоокеанський (Північна Америка – Азія) та Європа – Азія (як навколо Африки так і через Суецький канал).

В цих коридорах можна виділити три вузли (хаби) де сходиться велика кількість кабелів: Єгипет (Найважливіша глобальна точка перетину майже для всього трафіку між Європою та Азією), Марсель (Головний європейський шлюз до Африки, Азії та Близького Сходу) та Сінгапур і Токіо (Ключові хаби для внутріазиатського трафіку та основні точки транстихоокеанських кабелів, що з'єднують Азію з Північною Америкою).

Така концентрація великої кількості кабелів в окремих вузлах має як позитивні так і негативні наслідки. З одного боку - економія в обслуговуванні. З іншого - пошкодження при настільки щільному розташуванні призведе до

наслідків для значної частини світу. Таким чином стійкість глобальної мережі критично залежить від стабільності та надійності подібних хабів.

На 2025 рік експлуатуються глобальна мережа з більше ніж 600 активних окремих підводних комунікаційних кабелів загальною довжиною понад 1,5 млн. кілометрів. Вони забезпечують передачу 99% світового інтернет трафіку, і тільки 1% проходить через супутники.

Найдовшим з них є 2Africa - протяжністю 45 тисяч км., який ввійде в експлуатацію наприкінці 2025 року та з'єднає країни Європи з Близьким Сходом та Південною Азією. Його маршрут проходить навколо континента Африка, через Середземне та Червоне моря, Атлантичний та Індійський океани.

Високовольтні лінії електропередач [25]

Високовольтні лінії електропередач – це інженерні мережі для передачі електричної енергії між джерелами її генерації та споживачами, що працюють на високих напругах задля зменшення втрат при передачі. Чим вище напруга, тим менше втрата електроенергії з відстанню.

Вона забезпечує функціонування всіх сфер економіки, незалежно від їх напрямку - чи то промислове виробництво або сфера послуг. Без надійної передачі електроенергії сучасна економіка зупиняється. В такому випадку виключенням будуть лише окремі суб'єкти, що мають автономні джерела генерації енергії. Такими є або життєво необхідні для суспільства або ті, що витратили додаткові ресурси на подібний випадок.

Енергетичні з'єднання між країнами дозволяють торгувати електроенергією (експорт/імпорт), вирівнювати навантаження та використовувати дешевшу генерацію в сусідів.

Електролінії не зважаючи на свої специфічні функції схожі з іншими типами транспортних систем своїми вразливостями та ризиками: стихійні лиха, кібератаки, залежність від малої кількості магістралей (маршрутів), загрози у вигляді терористичних або військових атак, проблеми недофінансування.

Загальну довжину світової мережі високовольтних ліній електропередач нелегко визначити, але приблизно вона складає від 5 до 7 млн. км.

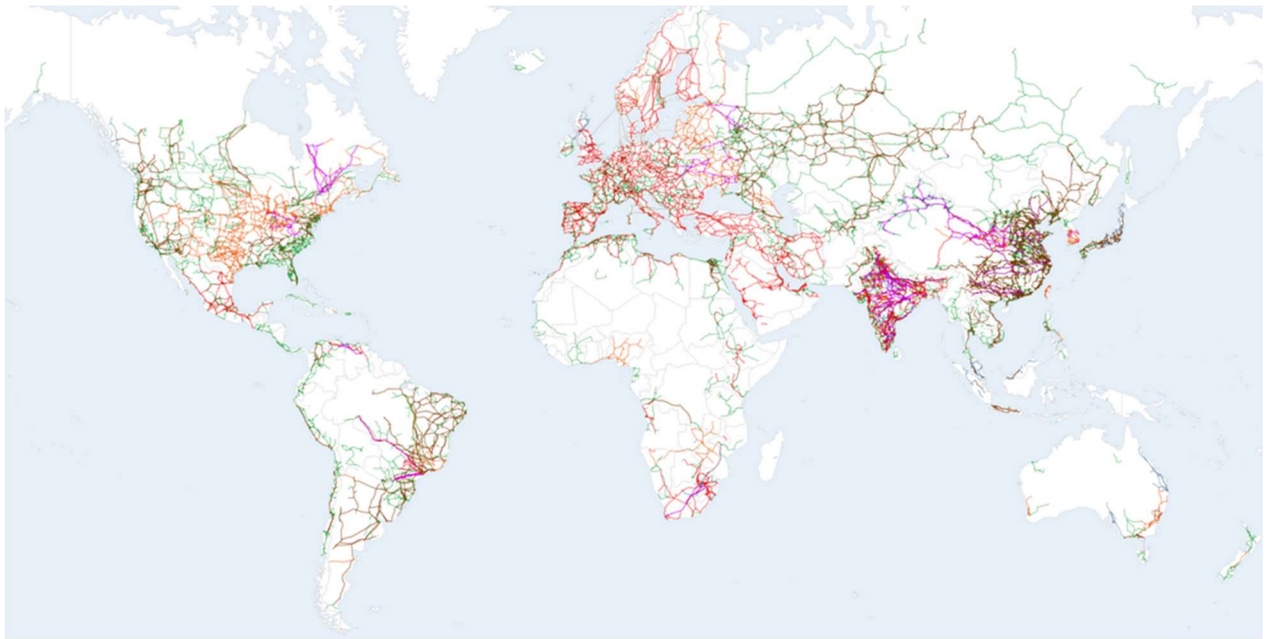


Рис. 2.11. Світова мережа високовольтних ліній електропередач (напруга вище 220 кВ) [68]

Надземні лінії електропередач проходять на опорах, які значно впливають на ландшафт. Для їх встановлення проводяться геодезичні роботи, буріння та бетонування. При необхідності відбувається вирубка лісу. Окрім цього через високу напругу заради безпеки впроваджена мінімальна відстань від лінії електропередач на якій можна будувати інші об'єкти.

Підземні та підводні лінії значно дорожчі та трудомісткі в прокладанні та обслуговуванні.

Лінії електропередач несуть загрозу для птахів, у вигляді ураження струмом та зіткнення з дротами або конструкціями опор.

Міський громадський транспорт [15]

Міський громадський транспорт як складова транспортної системи забезпечує масове перевезення пасажирів за відносно низьких витрат і з меншим впливом на довкілля порівняно з приватними автомобілями, що робить його важливим фактором сталого економічного розвитку та виконання екологічних цілей. Він забезпечує доступність робочих місць, державних та приватних послуг та іншої необхідної інфраструктури для населення, стимулюючи економічну активність та знижуючи витрати домогосподарств на

транспорт. Інвестиції в громадський транспорт мають мультиплікаційний ефект, стимулює розвиток інших секторів економіки.

Якісна мережа громадського транспорту сприяє агломераційним ефектам: концентрації підприємств у доступних локаціях, взаємодії між клієнтами та постачальниками, покращує продуктивність та економічний потенціал, що підвищує конкурентоспроможність міст та регіонів на глобальному рівні.

Вона також має прямий вплив на ринок праці – скорочення часу в дорозі дозволяє працівникам обирати кращу роботу навіть якщо вона знаходиться далі від дому, а підприємствам – залучати кваліфіковану робочу силу з ширшої географічної зони. Крім того, доступність транспорту сприяє соціальній мобільності та зниженню рівня соціальної нерівності.

Основними засобами міського громадського транспорту є: трамваї, тролейбуси, автобуси, метрополітен, міська та приміська залізниця. Через географічну необхідність також застосовуються – паром, фунікулер, канатна дорога. Громадський транспорт генерує суттєво менше викидів на пасажиро-кілометр порівняно з приватними автомобілями.

Розглядати міський громадський транспорт як складову світової економіки важливо, бо на 2024 рік 56% населення планети проживають саме в міських агломераціях, які генерують близько 60% світового ВВП. І з кожним роком показник урбанізації все збільшується.

Громадський транспорт, якщо він державний а не приватний, зазвичай є збитковим. Він виконує соціальну функцію, надаючи доступ до транспортування всім верства населення. Але часто через збитковість громадський транспорт розглядається політиками як неважливий або взагалі непотрібний, що призводить до недостатнього фінансування або повного його закриття. Наслідками цього є ще більші непрямі економічні втрати.

Прикладом прибуткового громадського транспорту є метрополітен Гонконгу, де реалізували концепцію, що дозволяє компанії перевізнику володіти нерухомістю навколо станцій метро. В результаті система метрополітену має можливість до самофінансування.

Passenger Capacity of different Transport Modes

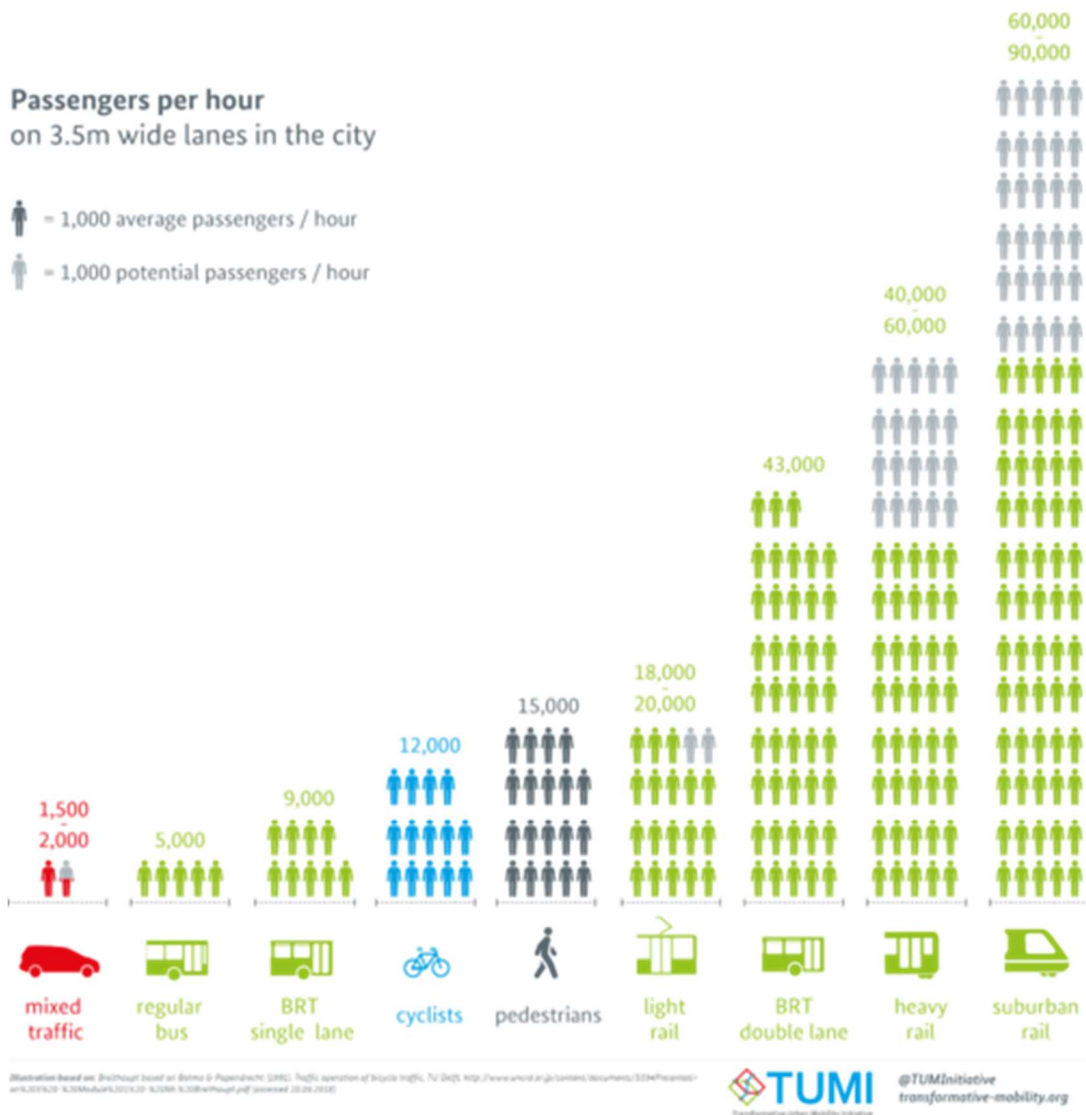


Рис. 2.12. Пасажиромісткість за видами транспорту [69]

Громадський транспорт найкраще підходить для густонаселених районів зі змішаною або висотною забудовою. Причиною цього є попит з пасажирів при його відсутності маршрут припиняє функціонування частині якій він був необхідний. Показовий прикладом є субурбії США, де наявність лише приватного типу будинків спричиняє низьку щільність населення та в результаті недостатньо (або взагалі не) розвинений громадський транспорт, що призводить до залежності від приватних автомобілів. На відміну від американських, європейські міста маючи схожу кількість населення, забудовані змішано та більш компактно, де використання громадського транспорту є більш доцільним.

РОЗДІЛ 3. ВИКЛИКИ ФУНКЦІОНУВАННЯ СВІТОВОЇ ТРАНСПОРТНОЇ СИСТЕМИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ЇЇ РОЗВИТКУ

3.1. Виклики функціонування транспортної системи

На нинішньому етапі свого розвитку транспортна система відіграє роль не просто допоміжної галузі, а є фундаментальною складовою світової економіки. Будучи складною багаторівневою мережею, що складається з великої кількості секторів та є частиною багатьох галузей, вона стикається з різноманітними викликами, які впливають не тільки на транспорт, а й на всю світову економіку.

Політичні

Транспортна система, будь то державна або приватна, значною мірою залежить від локальної чи глобальної політичної волі: виділення бюджету, регуляція стандартів, напрямки розвитку. Лобіювання та корупція, можуть погіршити ефективність транспортної системи, просуваючи не доцільні але потрібні окремим сторонам рішення та розкрадаючи бюджет відповідно. Проблемою може бути зайва бюрократизація, яка не спрямована на підвищення безпеки, але при цьому уповільнює процес будівництва або функціонування. Часто транспортна система стає геополітичним інструментом, який використовується для гібридної боротьби держав на світовій арені, що призводить до підвищення вартості та затримки поставок.

Інфраструктурні

Зношення транспортної інфраструктури призводить до накопичення дрібних дефектів та зниження експлуатаційних характеристик. В результаті збільшується ризик аварій, зростають операційні витрати, знижується середня швидкість та пропускна здатність. Причиною цього може бути експлуатація довшого проектного строку або неякісне будівництво чи обслуговування.

Різні стандарти інфраструктури (ширина колії, напруга контактної мережі) між регіонами або країнами ускладнюють скрізні перевезення,

зменшують ефективність мультимодальних рішень та створюють бар'єри для інтеграції регіональних ринків.

Природні та екологічні

Транспортна система використовує природні умови як механізм реалізації своїх функцій та вимушена адаптуватися до них. Природні катаклізми призводять до руйнування інфраструктури та затримки транспортних ланцюгів. Транспортна інфраструктура в сейсмічно активних зонах повинна бути надійно побудована та мати системи безпеки у випадку землетрусу або цунамі. Виверження вулканів можуть на деякий час зупинити повітряний рух.

Екологічні виклики одночасно впливають на функціонування транспортної системи та є її наслідками. Підвищення рівня моря вимагає модифікації портової інфраструктури, а температури - наземної. Транспортна складова відповідальна за четверту частину усіх викидів вуглекислого газу та інших парникових газів в атмосферу. Для досягнення кліматичних цілей необхідний активний процес декарбонізації транспортного сектору.

Безпекові

Наступні виклики можна об'єднати в одну категорію за спільною характеристикою, а саме несення прямого ризику для безпеки функціонування транспортної системи.

Піратство [70]

Основною метою піратства є викрадання вантажу або взяття екіпажу чи пасажирів судна в заручники та вимога за них грошового викупу. Сучасне морське піратство досягло свого піку активності в 2010 році - коли було зафіксовано 445 випадків нападів на цивільні судна. З того моменту кількість інцидентів пов'язаних з морським піратством значно зменшилась завдяки підвищенню безпекових заходів, таких як міжнародні військово-морські патрулі та власна охорона суден. Сформувалася окрема сфера надання послуг озброєної приватної охорони. Додатково для захисту судна оснащуються фізичними бар'єрами, наприклад колючим дротом та нелетальними засобами стримування, такими як водяні гармати або звукова зброя. В 2024 році

Міжнародне бюро з боротьби з піратством (IMB) повідомило про 116 інцидентів піратства по всьому світу.

PIRACY HOTSPOTS

An analysis of global maritime piracy identified areas where attacks have been most frequent, including waters around the Strait of Malacca, the Gulf of Aden and the Gulf of Guinea.

Incident density score 0-0.2 0.2-0.8 0.8-1.6 1.6-2.5 2.5-3.4 >3.4

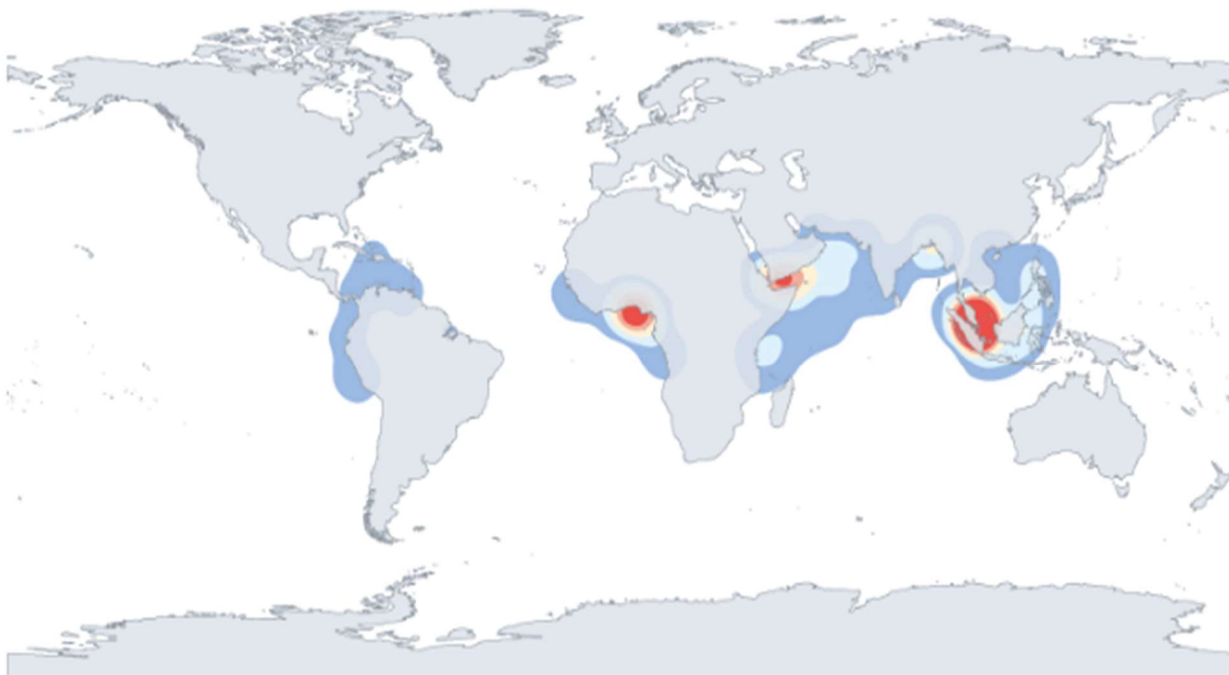


Рис. 3.1. Основні зони морського піратства у світі на 2024 рік [94]

За статистикою найактивнішим зонами в 2024 році стали: Сінгапурська протока (43 інцидентів), Індонезійський архіпелаг (22) та Гвінейська затока (18). Піратство створює як прямі (пограбування, викрадення суден, вантажів, викуп) так і непрямі (перенаправлення маршрутів, підвищення страхових премій, додаткові заходи безпеки) витрати для морського транспорту. В результаті ці ефекти підвищують вартість транспортованих товарів для кінцевого споживача. Оцінки річних збитків від піратства, залежно від методології та включених статей витрат, варіюються від кількох до 25 мільярдів доларів. Причому значна частина витрат є непрямими, та походять від заходів, які вживають судноплавна галузь та уряди для зменшення загрози.

Непрямим/причинним підходом боротьби з морським піратством є соціальний та економічний розвиток прибережних регіонів де процвітає піратство.

Тероризм [82]

Тероризм – це застосування практик насильства, руйнування або погрози подібних дій для досягнення політичних, релігійних чи ідеологічних цілей шляхом залякування суспільства, політичного тиску або порушення економічних зв'язків. У випадку транспортної системи воно спрямоване на інфраструктуру, засоби перевезення, пасажирів або вантажі. Через специфіку своєї діяльності, а саме – перевезення людей та вантажів, транспортна система є вразливою для скоєння терористичних актів, особливо під час скупчення великої кількості людей або перевезення небезпечного вантажу. В обох випадках наслідками можуть бути поранені та загиблі, або нанесення шкоди інфраструктурі чи навколишньому середовищу та подальше виникнення екологічних проблем. Атаки можуть здійснюватися як на об'єкти інфраструктури так і на транспортні засоби, які також можуть стати інструментом для їх здійснення.

В епоху глобалізації, коли світова економіка функціонує як єдиний, глибоко інтегрований організм, життєдіяльність якого забезпечується безперервним рухом товарів, капіталу, людей і інформації, мета терористичних актів часто виходить за межі спричинення людських жертв та руйнувань та полягає в максимізації економічного хаосу, порушення торгівельних потоків, та підриву довіри до транспортної галузі та державних інституцій. Боротьба з тероризмом вимагає встановлення систем безпеки для перевірки пасажирів та вантажу, що додає непрямих витрат на транспортування, як фінансових так і часових. Окрім цього загроза або скоєний акт тероризму може призвести до зменшення попиту на окремий вид транспорту або регіон світу.

Комплексна стратегія боротьби з тероризмом складається з поєднання превентивних заходів, цифрової безпеки, диверсифікації логістики та міжнародної співпраці, що є ключем до зменшення ризиків і підвищення стійкості світової економіки.

Кібератаки [27, 57]

З розвитком цифрових технологій транспортна система стає все більш діджиталізованою. Це значно покращує її ефективність та безпеку при перевезенні пасажирів та вантажів, але при цьому додає додаткові ризики для її функціонування – окрім можливих технічних збоїв, це можуть бути цілеспрямовані кібератаки. Вони можуть бути з метою як фінансової вигоди так і тероризму. В такому випадку позитивні наслідки цифровізації можуть обернутися в негативні - збої в роботі та ризик для безпеки.

Військові дії [61]

Під час військових дій, через свою стратегічну важливість для економіки та обороноздатності держави, транспортна система стає однією з перших для ураження та найпостраждаліших від атак. Основними точками удару стають такі вузли як: автомобільні та залізничні мости, морські та річкові порти, пасажирські та вантажні хаби, автомобільні дороги та залізничні колії, депо з рухомим складом. Цивільна авіаційна складова призупиняє своє функціонування через небезпеку. При ураженні транспортна інфраструктура вимагає значного часу на ремонт або відбудову, тому виникає необхідність в альтернативних маршрутах або зміні типу транспорту. У випадку автомобільних мостів через неширокі річки встановлюються понтонні переправи, які мають помітно меншу пропускну спроможність та вантажопідйомність порівняно з мостовим переходом, але дають можливість не змінювати маршрут.

Повномасштабне вторгнення РФ в Україну [8, 10]

Після початку повномасштабного вторгнення Російської Федерації 24 лютого 2022 року, транспортна система України стала однією з найбільш вразливих сфер. Зазначаючи значних пошкоджень, вона вимушена постійно відновлюватися та адаптуватися під нові виклики.

З початком бойових дій, повітряний простір над Україною було миттєво закрито, і авіаційне сполучення припинено. Одночасно, російські війська почали активні ракетні обстріли всіх ключових аеродромів України. Як наслідок, з 35 аеродромів було пошкоджено 19, зокрема 12 цивільних і 7

аеродромів подвійного призначення. За попередніми підрахунками, загальний обсяг пошкоджень завданий авіаційної галузі складає близько \$2,1 млрд. Це менше за інші складові транспортної системи, але через повне припинення діяльності до збитків треба додавати ще й втрачений потенційний непрямий дохід який забезпечувала галузь для економіки та який стабільно збільшувався після закінчення пандемії Covid-19. Для збереження бізнесу та часткової компенсації втраченого внутрішнього ринку Українські авіакомпанії переорієнтувалися на зовнішній ринок - надаючи свої літаки з екіпажами іншим авіаперевізникам за кордоном. [74] Закордонні подорожі з України біли заміщені залізницею та автотранспортом через наземний кордон (в основному польський).



Рис. 3.2. Порти України під час повномасштабного вторгнення РФ [62]

Портова інфраструктура як і авіаційна, на початку повномасштабного вторгнення зупинила своє функціонування. Але на відміну від попередньої, з часом вона змогла відновити роботу, якщо не на довоєнному, то на ефективному для української економіки рівні. На початку повномасштабного вторгнення були окуповані порти Бердянськ і Маріуполь в Азовському морі та Складовськ в Чорному. Робота інших чорноморських портів була призупинена через мінування прибережної зони. Без України, яка є одним з провідних

світових експортерів зерна (в основному пшениці та кукурудзи), почалося підвищення цін цієї продукції на світовому ринку, а деякі країни Африки, Латинської Америки та Азії почали відчувати помітні проблеми з його нестачею. Для вирішення проблеми була створена “Лінія Солідарності” – експорт українського зерна за допомогою залізничного, автомобільного та річкового транспорту [36]. Незважаючи на відносну успішність, особливо шлях через Дунай - де основними портами були: Ізмаїл, Кілія та Рені, наблизитися до рівня експорту через Чорне море таким чином було неможливо. В результаті 22 липня 2022 року була підписана Чорноморська зернова ініціатива - так звана “зернова угода”. Вона передбачає безпечне судноплавство для експорту зерна та супутніх харчових продуктів, а також добрив, з українських портів Одеси, Чорноморська та Південного. Судна проходять Чорним морем у спеціально створених розмінованих коридорах, і зобов'язані заходити до Туреччини для огляду. Це не пряма угода між Україною та Росією, а дві окремі домовленості: між Організацією Об'єднаних Націй і Україною та ООН і Росією. Також в обох з них в ролі посередника виступає Туреччина. Після виходу Росії з угоди 17 липня 2023 зросла ескалація бойових дій на Чорному морі, за результатом яких Україна послабила російський флот і в односторонньому порядку проголосила створення нового коридору. У відповідь Росія стала систематично завдавати ракетних ударів по портовій та зерновій інфраструктурі на півдні України. Прямі збитки портової інфраструктури та дотичних до неї підприємств оцінюються у \$0,85 млрд. Незважаючи на припинення угоди та часті обстріли Україні вдалося зберегти рівень експорту зернової продукції. А враховуючи що після початку повномасштабного вторгнення зернові випередили товари промисловості в загальному експорті, ця складова є вирішальною для України на міжнародному ринку. [4, 6]

На початку війни українська залізниця продемонструвала свою роль як об'єкт критичної інфраструктури, успішно взявши на себе задачу по евакуації мільйонів українців, що опинились в зоні бойових дій, а також по доставці критично важливих матеріалів та обладнання у ці регіони, та стала активною мішенню для російських обстрілів та атак [9]. За попередніми оцінками,

загальний обсяг пошкодженого залізничного полотна становить близько 600 км; кількість пошкоджених залізничних вокзалів і станцій - 126, з яких пошкоджено або знищено на підконтрольній території більше 53 і решта на неконтрольованих територіях. Пошкоджені або знищені сотні електропідстанцій. Також, більше ніж 700 км залізничних колій знаходяться на тимчасово окупованій території. При цьому, є підстави вважати, що все рухоме майно Укрзалізниці, яке не було вивезено з таких територій, можна вважати повністю втраченим (зруйнованим або викраденим військами країни агресора). Таким чином, загальні прямі збитки в цьому секторі оцінюються в \$4,3 млрд. [3].

За оцінками, внаслідок бойових дій, руйнувань зазнали 26 тис. км доріг та 344 мостів. За інформацією Укравтодору, середня вартість будівництва доріг у 2021 році становила близько 29 млн грн за 1 км дороги. З урахуванням цього, попередня оцінка сумарних втрат внаслідок прямого руйнування доріг може складати близько \$28,3 млрд в еквіваленті. Також було проведено дослідження, за яким затоплено 290,3 км доріг внаслідок руйнування Каховської ГЕС, що збільшує оцінку сумарних втрат на \$0,3 млрд. Оцінка пошкоджень та руйнувань мостів додає ще \$2,6 млрд збитків по інфраструктурі. Прямі втрати приватного легкового транспорту становлять приблизно \$2,2 млрд або 260 тис. автомобілів [6].

Україна має достатню кількість великих міст з розвиненими системами громадського транспорту. Деякі з них будучі в прифронтовій зоні постраждали від обстрілів, в результаті чого були знищені депо та рухомий склад. Частково ці втрати були заміщені сотнями одиниць автобусів, трамваїв та тролейбусів переданими за гуманітарними програмами з Європейського Союзу. [29] Прямі збитки, завдані комунальним підприємствам та приватним перевізникам зокрема щодо зруйнованого транспорту становлять \$0,83 млрд. Підземні станції метрополітенів Києва, Харкова та Дніпра слугують тимчасовим укриттям для населення під час повітряних тривог й нічних ракетних та дронів обстрілів.

Загальний обсяг прямих збитків об'єктів транспортної системи України від агресії РФ склав близько \$38,5 млрд. [60].

3.2. Перспективи розвитку транспортної системи

Сучасна транспортна система розвивається від впливом глобальні трендів та вимог і вимушена пристосовуватися та впроваджувати нові технології декарбонізації та цифровізації.

Альтернативні джерела енергії

Транспортна система відповідає за 20-25% викидів вуглекислого газу (переважно за рахунок автомобільної складової), а 95% енергії, що витрачається на функціонування транспорту в світі досі походить з генерації викопних палив. Для досягнення екологічних цілей сектор вимушений приймати дії по декарбонізації, що вимагає переходу від викопного палива до низько/безвуглецевих джерел енергії. Викиди від транспорту зростали в середньому на 1,7% щорічно в період з 1990 по 2022 рік - що є на рівні промисловості та швидше за будь який інший сектор кінцевого споживання. Результатом Паризької кліматичної угоди 2015 року, яка закликає утримувати підвищення середньої світової температури на рівні нижче +2°C від доіндустріальних рівнів та спрямовувати зусилля на обмеження зростання температури до +1,5°C задля зменшення ризиків зміни клімату, стало визначення глобальної цілі Net Zero 2050 [46, 47] – яка передбачає досягнення балансу між викидами парникових газів та видаленням їх з атмосфери до середини цього століття, з кінцевою метою не додавати загальної кількості цих газів в атмосферу, що є критично важливим для обмеження глобального потепління. За прогнозом Міжнародного енергетичного агентства (IEA) для досягнення Net-Zero до 2050 року, викиди транспортної сфери мають скорочуватися щонайменше на 3 відсотки щорічно. Окрім цього при переході на альтернативні джерела енергії зменшується залежність транспортної системи від корисних копалин, завдяки чому досягається енергетична диверсифікація та безпека. Для досягнення цих цілей знадобляться суворі правила, фіскальні стимули та значні інвестиції в технології виробництва та інфраструктуру для екологічно чистого транспорту. Інновації в цій індустрії принесуть нові робочі місця та зменшать операційні витрати транспорту в довгостроковій перспективі.

Біопаливо [39, 48]

Біологічне паливо отримують з органічних матеріалів, таких як рослини та їх залишки (деревина, сільськогосподарські культури, відходи). Біопаливо на відміну від інших природних ресурсів, таких як нафта, газ й вугілля, отриманих в результаті дуже повільних геологічних процесів, виробляється за допомогою сучасних технологічних процесів із біомаси. Перевагами біопалива в порівнянні з іншими типами палива є:

- те, що воно повністю розкладається мікроорганізмами, тому відносно безпечне для довкілля.
- сумісність дозволяє змішувати біопаливо з існуючи рідкими паливами та використовувати в існуючому парку техніки без великих змін.
- виробництво біопалива окрім зменшення викидів додатково вирішує питання переробки відходів.

Існують такі види біопалива за їх агрегатним станом:

- Рідкий: Біоетанол отримують шляхом ферментації культур (кукурудза, цукровий очерет, картопля). Є аналогом бензину.

Біодизель виробляють з рослинних олій (соняшникова, ріпакова, пальмова, кокосова) або тваринних жирів. Є аналогом дизельного палива.

- Газоподібний – Біогаз отримують шляхом зброджування біомаси (наприклад відходів). Є аналогом природного газу.
- Твердий – Дрова та відходи деревообробки є традиційними видами біопалива, Пелети – гранули виготовлені з різних видів біомаси.

Виділяють такі покоління розвитку біопалива:

Перше – використання їстівної біомаси – традиційних сільськогосподарських культур з високим вмістом жирів, крохмалю, вуглеводів. Однак використання таких сировин є неефективним через: витратне землекористування, виснаження ґрунтів, проблеми з реалізацією харчових продуктів на ринку після додавання добрив та пестицидів.

Друге – вироблене з широкого спектру сировини, починаючи з лігноцелюлозної сировини (рослинних залишків) і закінчуючи твердими міськими відходами.

Воно спрямоване на скорочення кількості використання землі, придатної для ведення сільського господарства.

Третє – використання водоростей, які мають вищу продуктивність біомаси на одиницю площі порівняно з наземними рослинами і не потребують орних земель.

Четверте – охоплює генну інженерію та синтетичну біологію для покращення бажаних властивостей організмів (ефективність фотосинтезу), які використовуються у виробництві біопалива.

В 2024 році біопаливо становило приблизно 4% світового споживання енергії для транспорту, а обсяг ринку складає 112 млрд. доларів. Найбільше воно використовується в автомобільній вантажній сфері.

Біопаливо є найперспективнішим варіантом альтернативного джерела енергії для авіаційної складової. Якщо нинішні технології акумуляторів не можуть забезпечити середньо- та далекомагістральні рейси в осяжному майбутньому, то біопаливо є реалістичним шляхом зниження викидів.

На 2024 рік країнами лідерами з виробництва біопалива є (% від загального): США (38%), Бразилія (22%), Індонезія (10%), КНР (4%), Індія та Німеччина (по 3,5%).

Негативною стороною біопалива є неможливість стати основним джерелом енергії для транспортної системи через обмеженість ресурсів необхідних для переробки та потенційні проблеми з продовольчою безпекою, через конкуренцію з виробництвом продуктів за землю та воду. Але вона може бути допоміжним джерелом для типів транспорту де неможливо використання електрифікації, наприклад в морській та авіаційній галузях на дальні відстані.

Водневе паливо [87, 96]

Це напрям вироблення енергії який базується на використанні водню (H_2) та особливістю якого є можливість генерувати енергію без виділення вуглекислого газу (CO_2), що робить його дуже привабливою альтернативою традиційним паливам. В результаті процесу переробки водневого палива виділяється лише вода (H_2O). Для руху транспорту використовується електродвигун, але на відміну від електротранспорту немає необхідності у

великому акумуляторі для зберігання енергії. Ще однією перевагою над електротранспортом є швидка заправка, за той же час як й транспорт на бензині чи дизелі. При цьому недоліком порівняно з біопаливом є несумісність з існуючим рухомим складом та інфраструктурою.

Але при виробництві водню з газу все одно утворюється викиди CO_2 . “Зеленим” або “чистим” є водень який взагалі не виділяє викидів при виготовлені. Він отримується шляхом електролізу і для виробництва нього використовують енергію з відновлювальних джерел. Зараз такий водень коштує в 4-6 раз більше за викопні джерела та в 1,5-2 за традиційний водень, що є значною проблемою для його широкого впровадження. Окрім цього “чистий” водень потребує значних водних ресурсів - приблизно 9 літрів на 1 кг, що створює потенційний конфлікт ресурсів, оскільки регіони з найкращим потенціалом сонячної енергетики часто страждають від дефіциту води. Але за оцінками ЄС, з розвитком технологій “зеленого” водню до 2030 року в країнах з дешевою відновлювальною енергетикою, він зможе конкурувати з традиційним.

Якщо порівнювати водневе паливо з електрифікацією, то його вигідніше використовувати для великого транспорту на довгі відстані: вантажівки, автобуси, кораблі, потяги, де акумулятор був би заважким та витрачав би багато часу на зарядку. На даний момент основною перешкодою для його поширення – безпечне і дешеве зберігання потрібного об’єму водню на транспортному засобі. Окрім цього необхідний розвиток дороговартісної інфраструктури: заводів для електролізу, логістики для транспортування водню та водневих заправних станцій. На 2024 рік водневе паливо значно поступається електрифікації за розвитком. Наприклад в США знаходиться більше 200 тисяч зарядних станцій для електромобілів та лише до 90 штук водневих заправок.

Електрифікація [55, 56]

Найуспішніше серед альтернативних джерел енергії розвивається електрифікація – процес переходу рухомого складу з рідкого вуглеводного палива на електричну енергію (батареї або електрифіковану інфраструктуру).

Вона дозволяє зняти залежність від викопних палив та зменшити викиди вуглекислого газу, що позитивно впливає на виконання глобальних кліматичних цілей та якість повітря поблизу транспортних систем. Зростання попиту на електричні транспортні рішення також стимулюють розвиток інфраструктури зарядних станцій, виробництва акумуляторів та чистої енергетики. [15, 23]

Основною перевагою електродвигунів є значно вища ефективність за двигуни внутрішнього згорання – їх коефіцієнт корисної дії складає 90+% проти 30-40% у ДВЗ.

Електромобілі мають вищу початкову вартість порівняно з автомобілями з двигуном внутрішнього згорання. Причиною цього є технології виробництва літій-іонних акумуляторів, що використовують дорогі матеріали, такі як: літій, нікель, графіт та кобальт. Ключовими з них є літій, який через свої хімічні властивості дозволяє багаторазово накопичувати та віддавати електричну енергію, та кобальт, що дозволяє акумулятору накопичувати більше енергії, витримувати більшу кількість циклів зарядки та мати ширший діапазон робочих температур.

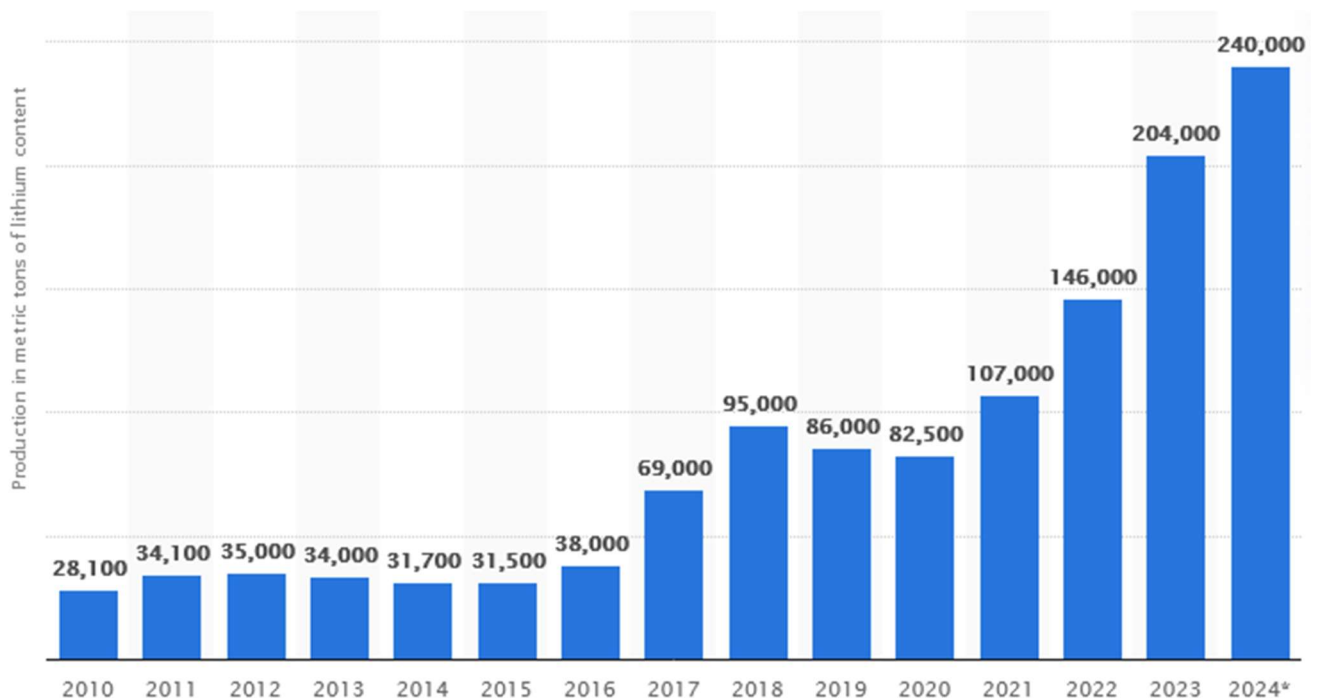


Рис. 3.3. Динаміка світового видобутку літію в період 2010-2024. (в тоннах) [79]

Стрімкий попит на електромобілі за останні десять років збільшив обсяг світового видобутку літію в рік з 31 тисяч тон. у 2014 році до 240 тис. тон у 2024. Лідерами за видобутком літію за 2024 рік є (% від загального видобутку): Австралія - 88 тисяч тон (37%), Чилі - 49 тисяч тон (21%), КНР - 41 тисяч тон (17%), Зімбабве - 22 тисячі тон (9%), Аргентина - 18 тисяч тон (8%), Бразилія - 10 тисяч тон (4%). 75% світового видобутку кобальту відбувається в Демократичній Республіці Конго. При цьому 70% видобутку володіє КНР, яка також є світовим лідером з переробки кобальту, тому присутній політичний тиск зі боку останнього.

Треба зазначити, що видобуток цінних мінералів, необхідних для виготовлення літій-іонних акумуляторів, все частіше викликає екологічні та етичні питання. Видобуток літію є дуже затратним, особливо в водних ресурсах - для обробки 1 тони літію необхідно витратити приблизно 2 млн. літрів води. Від цього помітно страждають прилеглі території – забруднюються джерела питної води, сільське господарство. Значна частина видобутку кобальту відбувається в Демократичній Республіці Конго, де відсутній контроль за безпекою праці, що призводить до серйозних порушень прав людини, таких як небезпечні умови праці та примусове залучення неповнолітніх. Окрім цього відсутній контроль за нанесенням шкоди довкіллю та місцевим громадам.

Через ці етичні, економічні та екологічні причини необхідний розвиток технологій процесу переробки акумуляторів для отримання з них цінних матеріалів та повторного їх використання в нових.

Як було зазначено раніше, однією з причини електрифікації транспорту є зменшення викидів та забруднення навколишнього середовища, особливо навколо руху транспортних засобів. Але не треба забувати, що важливе не тільки шлях використання енергії, а й спосіб її виробництва. Якщо переважна її частина генерується ТЕС, що спалює вугілля, мазут або газ, то екологічна роль електрифікації в загальному обсязі якщо не втрачає сенс, то точно значно зменшується. Через це також важливий розвиток джерел чистого видобутку енергії, а саме атомної та відновлювальної (сонячні, вітрові та гідроелектростанції) енергетики. Враховуючи, що сонячні та вітрові

електростанції не можуть забезпечити постійну генерацію енергії, гідроелектростанції вимагають значних водних ресурсів, а розповсюдження електротранспорту та супутньої інфраструктури значно підвищить завантаження на електромережу, необхідний розвиток саме атомної енергетики, яка може забезпечувати значні обсяги виробництва енергії та буде відігравати роль основного джерела.

Дієвим інструментом електрифікації транспорту є державні субсидії, пільги та податки. Скасування податків при купівлі електромобілей зменшує різницю у вартості між ними та авто з ДВЗ та робить їх більш привабливими для споживачів. Прикладами цього можна назвати США та країни ЄС. Україна також має пільги, що скасовують податок на ввіз нових та використаних електромобілем за кордону.

Деякі країни планували заборонити продаж авто з ДВЗ та повну їх заміну на електромобілі в наступні 5-10 років, але відмовилися від цього через нереалістичність виконання.

Треба розділити електрифікацію транспорту на два види, перший - постійне підключення до контактної мережі - підходить для транспорту з постійним маршрутом, та другий - робота від акумулятора - підходить для транспорту який потребує більшу мобільність. Обидва з них мають свої обмеження: перший – маршрути будуються відповідно до наявної інфраструктури, другий – відстань руху та необхідність в зарядці. Окрім повної електрифікації існує проміжний етап – гібрид, який одночасно використовує як двигун внутрішнього згорання та й електродвигун з акумулятором. Поєднання цих двох технологій дозволяє зменшити розхід палива, при цьому не повністю залежати від одного з видів.

Електрифікація повітряного [34, 103] та водного [33, 101] транспорту є дуже складною задачею, через очевидну неможливість підключення до контактної мережі та велику вагу акумуляторів відносно відстані які можна подолати на заряді. Також необхідно враховувати час на зарядку, який збільшується відповідно до розміру батареї. На даний момент розробляються та тестуються водні та повітряні судна малих розмірів, що повинні обслуговувати

короткі маршрути для невеликої кількості пасажирів або малого об'єму вантажу. Прикладами є контейнеровоз MV Yara Birkland, що та може вмістити до 120 TEU контейнерів або легкові літаки пасажиромісткістю в декілька осіб.

З залізничною складовою задача електрифікації набагато легша, так як відсутня необхідність в встановленні акумулятори на рухомий склад. Заміна дизельних потягів вирішується простим продовженням процесу електрифікації через встановлення лінії контактної мережі. Також розвивається сфера потягів на акумуляторах, що можуть рухатися не електрифікованими ділянками залізниці, але на обмежену відстань.

На даний момент найбільш активно проходить процес електрифікації легковий автомобільний транспорт. Невеликий розмір акумуляторів дозволяє долати необхідну для цього типу транспорту відстань, маючи при цьому не критично вищу вартість відносно двигунів внутрішнього згоряння.

Перші електромобілі з'явилися ще наприкінці 19 ст., але через новітність технологій акумуляторів мали невеликий запас ходу. До того ж через дешевизну бензину різниця в вартості не виправдовувала покупку електромобілів.

Сучасна популярність електромобілів розпочалась наприкінці 2000-х початку 2010-х років, через низку факторів, таких як: розвиток технологій виготовлення акумуляторів, державні стимули та регулювання, зростання цін на паливо, занепокоєність щодо забруднення навколишнього середовища.

Значний комерційним успіхом стала американська компанія – Tesla. Після успіху Tesla на початку 2010-х до розробки, виробництва та продажу електромобілей доєдналися більшість світових виробників.

На 2024 рік електромобілі склали 20% від усіх продажів автомобілей в світі. Якщо розглядати найбільші ринки окремо: КНР - 50%, Європейський Союз - 16%, США - 10%.

В 2024 році безперечним лідером за виробництвом електромобілей є Китайська Народна Республіка. З 17,4 млн. електромобілей вироблених в світі, 12,4 млн. (70%) були виготовлені саме в цій країні [32]. Причиною цього є великий розмір внутрішнього ринку, державні інвестиції в приватні компанії

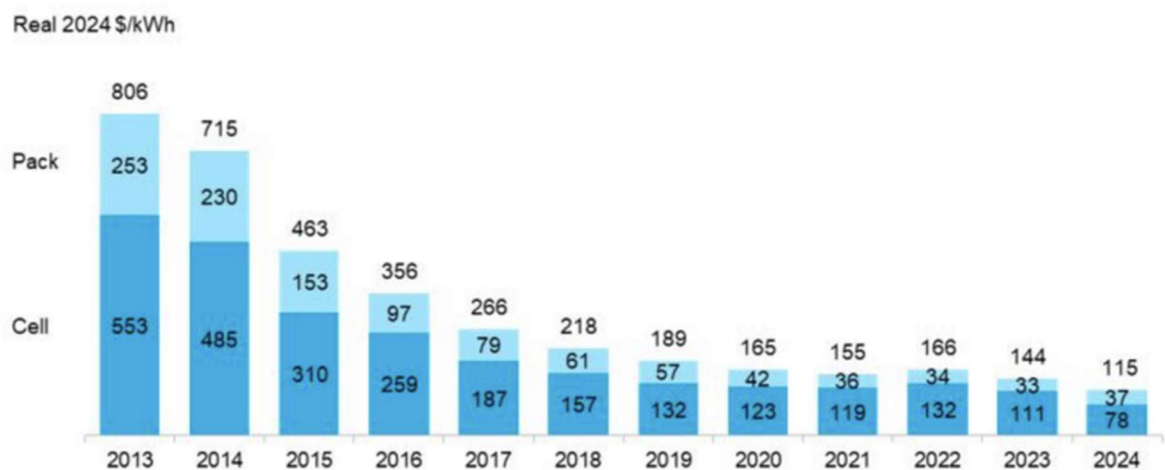
для розвитку технологій та менша вартість виробництва, відповідно й кінцевого продукту відносно інших світових виробників.

Вища початкова вартість електромобілів виправдана меншими витратами при обслуговуванні. Найдорожчим компонентом електромобілю є акумулятор. Його заміна після вичерпання життєвого циклу є дороговартісною, але з розвитком технологій виробництва батарей, вони все менше схильні до деградації з часом.

Важливим фактором для подальшого розповсюдження електромобілів є розвиток інфраструктури зарядних станцій. Зарядка електромобіля можлива і від побутової мережі, але може зайняти до 24 годин. Швидкісні зарядки мають значно вищу напругу та можуть зарядити акумулятор електрокара менше ніж за годину. В 2024 році по всьому світу було встановлено 1,2 млн. нових зарядних станцій для електромобілів, збільшивши зальну кількість у понад 5 млн.

Компанії KHP розробляють технології по заміні акумуляторів замість зарядки. Сервіс дозволяє змінити розряджений акумулятор на заряджений протягом декількох хвилин. Але це потребує уніфікації акумуляторів між транспортними засобами.

Figure 1: Volume-weighted average lithium-ion battery pack and cell price split, 2013-2024



Source: BloombergNEF. Note: Historical prices have been updated to reflect real 2024 dollars. Weighted average survey value includes 343 data points from passenger cars, buses, commercial vehicles and

Рис. 3.4. Графік динаміки вартості літій-іонних акумуляторів в період 2013-2024 років (долар/кВт-год) [23]

Основною складовою яка робить електромобілі дорожче відносно авто з двигуном внутрішнього згорання є акумуляторний блок. Але завдяки активному розвитку технологій та інвестиціям, вартість стабільно зменшується. В 2024 році вартість за акумуляторний блок складає 115 доларів США за кВт-год., що є менше на 20% відносно попереднього року та в 6 разів менше показника 2014 року (715 доларів).

Громадський транспорт має значну необхідність в електрифікації, а саме для вирішення проблеми забруднення повітря в міській зоні, що має значний негативний вплив на здоров'я міських жителів та зменшення бюджетних витрат на обслуговування та заправку рухомого складу. Деякі види транспорту, такі як трамваї та тролейбуси були створенні електрифікованими. В даному випадку розвитком є проміжний етап - трамваї та тролейбуси з автономним ходом, які мають вбудовані акумулятори, що дозволяють їм рухатися на невеликі відстані без підключення до контактної мережі. Цей варіант є допоміжним та дозволяє рухатися транспорту у випадку відсутності напруги в контактній мережі або зміни маршруту (наприклад об'їзді ДТП).

На сьогоднішній день електрифікація громадського транспорту найактивніше відбувається завдяки заміні автобусів з двигунами внутрішнього згорання на електробуси, які використовують для руху електродвигуни та акумулятори. Акумулятор може заряджатися на кінцевих зупинках між маршрутами або вночі на стоянці між робочими днями. Лідером за кількістю електробусів є Китайська Народна Республіка - на 2024 рік 700 тисяч. - 90% від загальної кількості електробусів у світі та 70% від усіх автобусів у країні. При цьому майже всі нові автобуси куплені в КНР є саме електробусами.

Безпілотне керування

Якщо ще нещодавно безпілотні технології були тільки темами науково-фантастичних творів, то сьогодні вони активно розвиваються та трансформують світову транспортну систему.

Системи автоматичного керування початкового рівня (контроль швидкості та напрямку руху) були спочатку впроваджені в повітряних та

водних суднах через відносно велику наявність простору та високий рівень контролю за рухом. При цьому вони все ще потребують присутності людини.

На даний момент найактивніше ведеться розробка безпілотних технологій для пасажирських легкових автомобілей та безпілотних наземних та повітряних апаратів для кінцевої доставки товарів споживачам.

Розвиток першої категорії зумовлений часовими затратами на керування. Водії витрачають десятки годин свого життя щорічно на простої заторах (особливо в великих містах).

Співтовариство автотранспортних інженерів виділяє 6 рівнів автономного керування [75], від 0 рівня - відсутня автоматизація, до 5 рівня - повна автоматизація:

0 рівень – Відсутня автоматизація. Водій самостійно контролює всі аспекти керування без будь-яких допоміжних систем, але можливі звукові попередження про небезпеку.

1 рівень – Допомога водію. Автомобіль може окремо контролювати або прискорення/гальмування або кермо. Приклади включають адаптивний круїз контроль та допомогу утримання смуги руху.

2 рівень – Часткова – автоматизація. Система може одночасно керувати як прискоренням/гальмуванням так і кермом, наприклад під час руху по шосе. Однак водій повинен залишатися повністю залученим та готовим взяти керування на себе в будь-який момент.

3 рівень – Умовна автоматизація. Автомобіль може виконувати всі завдання з керування за певних умов, і водій може відвернути свою увагу від керування. Однак водій повинен бути готовий взяти керування на себе, коли система цього вимагає.

4 рівень – Висока автоматизація. Автомобіль може виконувати всі завдання з керування та відстежувати середовище руху за певних умов без необхідності втручання людини. Водій не зобов'язаний брати на себе керування в цих ситуаціях.

5 рівень – Повна автоматизація керування. Автомобіль може виконувати всі завдання з керування за будь-яких умов без необхідності втручання людини. Це найвищий рівень автономії, і на даний момент він все ще не реалізований.

Сьогодні на ринку більшість авто мають перші рівні у вигляді круїз-контролю швидкості та звукового попередження про небезпеку.

Ще одним напрямом безпілотного авто є роботаксі. Перспективою є те, що таксі як вид транспорту мають значно вищу пропускну спроможність протягом дня ніж особисті авто. Більшість власників авто використовують його для транспортування на роботу та додому, інший час авто простоює на парковці. Таксі транспортує більшу кількість людей протягом дня.

Лідерами в цій галузі є Waymo [98, 102] - американська компанія з технологій автономного водіння. Вона надає комерційні послуги роботаксі в наступних містах (штатах) США: Атланта (Джорджія), Остін (Техас), Фінікс (Аризона), Сан-Франциско та Лос-Анджелес (Каліфорнія). На квітень 2025 року сервіс виконує близько 250 тисяч поїздок на тиждень. В 2020 році Waymo стала першою службою роботаксі, що пропонує користувачам послугу без водіїв в автомобілі.

Для своїх послуг Waymo використовує вже доступні на ринку автомобілі, на які додається набір обладнання для автономного водіння, що компанія виробляє власними силами. В нього входять датчики, вдосконалена система апаратного зору, радар та лідар. За словами компанії, кастомізація транспортних засобів обладнанням для автономного водіння коштує до 100 тисяч доларів. Інші витрати включають технічних спеціалістів які стежать за поїздками, обслуговуючий персонал та нерухомість для зберігання та заряджання транспортних засобів.

Ще одним напрямом безпілотних апаратів що активно розвивається є доставка дронами. Вона закриває етап “останньої милі” - транспортування товару від дистрибуційного центру (магазин, ресторан, склад) до кінцевого споживача. Безпілотники можуть бути як повітряні (квадрокоптерного або літакового типу) так і наземні (колісні). Розвиток цієї сфери зумовлений розповсюдженням культури консюмерізму та був додатково пришвидшений

пандемією Covid-19, коли люди були вимушені проводити значну кількість часу не покидаючи дім і більшість покупок перейшли в онлайн.

Активно розвиваються сервіси з доставкою дронами замовлень з закладів харчування або інтернет магазинів. В 2022 році американська компанія Amazon, що є найбільшим в світі ринком електронної комерції почала використовувати безпілотні літальні апарати для доставки замовлень своїм клієнтам. В 2025 році до неї також доєдналась найбільша в США мережа гіпермаркетів Walmart.

Дрони з доставки можуть використовуватися в тому числі і в сфері охорони здоров'я. Успішним прикладом є Руанда [30, 31, 97]. В 2016 році американська компанія Zipline запустила сервіс доставки повітряним безпілотниками літакового типу, які транспортують донорську кров, вакцини та ліки між медичними закладами цієї східноафриканської країни. Ця послуга значно скорочує час доставки з годин до хвилин, порівнюючи з автомобілем, значно покращуючи доступ до охорони здоров'я для жителів гірської та сільської місцевості з низьким рівнем розвитку інфраструктури та поганою якістю автомобільних доріг. На 2021 рік 75% об'ємів донорської крові транспортується в райони поза межами столиці саме таким чином. Вартість доставки дроном – приблизно на одному рівні з автомобілем. При цьому статистичні показники значно покращилися: час на доставку крові знизився на 61%; кількість крові з вичерпаним терміном придатності зменшилась на 67%, а 43% доставок використовувалися у невідкладних медичних випадках, де була необхідна екстрена допомога пацієнту.

Впровадження безпілотних технологій несе за собою законодавчі, етичні та юридичні питання щодо їх використання. Міжнародні організації та державні агентства з безпеки транспортного руху для все ще не затвердили єдиних правил щодо користування безпілотним транспортом. Присутні питання щодо приватності, так як камери та сенсори постійно фіксують власника, клієнта та інших людей. Проблемою також є вирішення питання, хто несе відповідальність у випадку інциденту де присутнє нанесення шкоди власності, постраждалі або загиблі – водій або компанія розробник.

Впровадження безпілотних технологій несе і негативні наслідки. Як будь яка електронна система вона може стати ціллю для кібератак, що враховуючи її специфіку в перевезені людей та вантажів може мати катастрофічні наслідки. Також це може використовуватися як для фінансової вигоди так і для тероризму.

Впровадження безпілотних технологій кардинально змінить сферу працевлаштування. Вона забере велику кількість робочих місць, особливо водіїв. При цьому скоріш за все, не зможе подібну кількість створити в заміну.

ВИСНОВКИ

На основі проведеного дослідження транспортної системи як складової світової економіки можна зробити такі висновки:

1. Транспортна система – це сукупність усіх матеріальних, технічних, організаційних та управлінських засобів, необхідних для забезпечення транспортних потреб, з метою ефективного й безпечного переміщення людей та вантажів. Вона включає як самі транспортні засоби, так і супутні фізичні об'єкти для їх пересування. Також до неї входять: інформаційні системи, організаційні структури та правові норми, що забезпечують діяльність транспортної галузі.

2. Транспортну систему можна класифікувати за такими критеріями:

- За видом транспорту: автомобільний, залізничний, водний, повітряний, трубопровідний.

- За призначенням: пасажирська, вантажна.

- За територіальним охопленням: локальна, регіональна, національна, міжнародна.

- За видом власності: державна, приватна, публічно-приватне партнерство.

- За тривалістю використання: постійна, тимчасова.

- За типом перевезень: інтермодальний, мультимодальний.

Основні функції транспортної системи: економічна, логістична, соціальна, інтеграційна, екологічна, політична.

Чинниками розвитку є: економічні, соціальні, політичні, технологічні, географічні, екологічні.

Теоретичні підходи: економічний, соціально-орієнтований, екологічний, просторово-географічний, інституційний, технологічний, глобальний.

Методи дослідження: теоретичні, емпіричні, статистичні та математичні, просторово-географічні, економічні, екологічні, соціологічні, комплексний.

Історичні етапи розвитку: - стародавні часи, середньовіччя, епоха великих географічних відкриттів, промислова революція, початок 20 століття, друга половина 20 століття, пандемія COVID-19.

3. Водна складова транспортної системи відіграє найбільшу роль у світовій торгівлі, відповідаючи за більше, ніж половину обсягів перевезення вантажу за тоннажем. Що є особливо важливим в сучасний етап глобалізації, де необхідна вчасна доставка великої кількості товарів та ресурсів по всьому світу.

Повітряна складова має значно меншу вантажопідйомність, але завдяки високій швидкості, відповідає за 30% перевезення товарів за вартістю. Є основним засобом транспортування пасажирів між континентами, та життєва необхідна для функціонування сфери міжнародного туризму, яка відповідає за значну частку економіки.

Наземна складова, в яку входять автомобільна та залізнична, є основою для більшості локальних та регіональних перевезень. Автомобільна складова є домінантною для перевезення пасажирів та вантажів на невеликих відстанях. Вона є найбільшою за кількістю транспортних засобів та довжиною мережі. Залізнична складова переважає на середніх та дальніх відстанях. Ефективна в транспортуванні великої кількості вантажу на дальні відстані. Пасажирська швидкісна залізниця може конкурувати з авіацією на малих та середніх відстанях.

Спеціалізовані складові транспортної системи, незважаючи на свої специфічні та вузькі функції, відіграють важливу роль в масштабі світової економіки. Нафтогазопроводи забезпечують ефективне переміщення нафти та газу, що важливо для промислового виробництва, транспорту та енергетичної безпеки. Підводні комунікаційні кабелі є основою світової економіки в 21 столітті, постачаючи постійний та стабільний зв'язок між усіма її суб'єктами, підвищуючи швидкість та ефективність її функціонування. Високовольтні лінії електропередач доставляють електроенергію, без якої буквально неможливе функціонування будь якого суб'єкта економіки. Міський громадський транспорт підтримує процес сталого розвитку урбанізованих зон, кількість та об'єм яких стабільно збільшується з кожним роком.

4. Транспортна система будучи багаторівневою мережею, стикається з різноманітними викликами, що вимагають адаптації або їх вирішення. Природні виклики вимагають лише адаптації, в той час коли екологічні - є

наслідком, втому числі самої транспортної системи. Політичні - впливають незважаючи навіть на приватний тип власності, а інфраструктурні прискорюють зношення, що викликано неякісним будівництвом або обслуговуванням. В окрему категорію, а саме безпекову, винесено виклики, що несуть пряму загрозу функціонуванню транспортної системи. Сюди входять: піратство, тероризм, кібератаки, які в процесі цифровізації транспорту стають все більш актуальними, та військові дії, що були більш детально розглянути на прикладі Повномасштабного вторгнення РФ в Україну.

5. Транспортна система постійно розвивається, в напрямку залежному від наявних політичних, економічних, соціальних, екологічних та технологічних трендів і вимог. В найближчому майбутньому найвірогіднішими напрямками розвитку будуть технології безпілотного керування, засновані на бажанні зменшити витрати часу за кермом і підвищити ефективність та безпеку руху та декарбонізація, яка є вимогою екологічних цілей, з метою зменшення викидів в атмосферу, за п'яту частину яких відповідає транспортна система .

6. В сучасний етап глобалізації транспортна система відіграє роль не просто допоміжної галузі, а є життєво необхідною у забезпеченні функціонування світової економіки, особливо міжнародної торгівлі. Вона впливає на економічну продуктивність та конкурентоспроможність бізнесів та цілих держави. Вона сприяє розвитку інших сфер та складових світової економіки. Її основними особливостями функціонування є глобальна інтеграція, яка формується з розгалужених транспортних мереж, мультимодальність доставки, економія масштабу, наявний геополітичний вплив, постійний активний технологічний розвиток та декарбонізація. В даній роботі були розроблені та надані рекомендації по покращенню безпеки, ефективності та стійкості окремих елементів транспортної системи, що покращує її загальну незалежність від зовнішніх викликів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Адвокато́ва, Н. Повод, Т. Транспортна інфраструктура у міжнародній економічній діяльності. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://tnv-econom.ksauniv.ks.ua/index.php/journal/article/view/44>
2. Васильєва Г. Ю. Методи удосконалення транспортної інфраструктури. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://repository.knuba.edu.ua/handle/987654321/5962>
3. Власова В. П., Чумак А. С. Транспортна інфраструктура України як об’єкт інвестиційної привабливості в мінливих безпекових умовах. с. 201. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://www.business-inform.net/export_pdf/business-inform-2023-12_0-pages-199_207.pdf
4. Гащук П. М., Тимошенко Ю. С. Означуваність і зміст поняття транспортної системи. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.google.com/url?sa=t&source=web&rct=j&opi=89978449&url=https://journal.ldubgd.edu.ua/index.php/Visnuk/article/download/2012/1926&ved=2ahUKEwi5hobf9YaOAxU5SvEDHSIqFcoQFnoECEcQAQ&usg=AOvVaw12FpVXZhRDAZWVPOfOT2ug>
5. Інтермодальні та мультимодальні перевезення. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.searates.com/ua/blog/post/ntermodaln-ta-multimodaln-perevezennya-v-chomu-rznicya>
6. Коссе Ірина. Зміна автомобільних логістичних маршрутів в Україні внаслідок війни. Інститут економічних досліджень та політичних консультацій.
7. Кудрявцев В. М. Фактори сталого розвитку транспортної інфраструктури. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://dspace.khadi.kharkov.ua/handle/123456789/7515>
8. Москвічова Олена. Транспортна інфраструктура України в умовах війни: виклики, трансформації та перспективи. Національний університет біоресурсів і природокористування України. URL: <https://pte.ust.edu.ua/article/view/328523>

9. Національний інститут стратегічних досліджень. Підсумки роботи залізничного транспорту України у 2022 році. URL: <https://niss.gov.ua/news/komentari-ekspertiv/pidsumky-roboty-zaliznychnoho-transportu-ukrayiny-u-2022-r>
10. Національний інститут стратегічних досліджень. Пріоритети розвитку реального сектору в умовах війни та повоєнного відновлення економіки України. URL: https://niss.gov.ua/sites/default/files/2024-02/ad_realsektor-2023.pdf
11. Циган Р. М., Кравченко А. О. Методичні підходи до управління транспортною інфраструктурою в Україні [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.economy.nayka.com.ua/?op=1&z=2381>
12. Шибя О. А. Вплив розвитку транспортної інфраструктури на економічне зростання країн-членів Європейського Союзу. С. 19 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://www.google.com/url?sa=t&source=web&rct=j&opi=89978449&url=https://www.lnu.edu.ua/wp-content/uploads/2017/05/dis_shyba.pdf&ved=2ahUKewjny3yjLaJAXXZBNsEHap9O68QFnoECCcQAQ&usg=AOvVaw3MOg6rACfsoD2cwjTSTmO4
13. Age of Discovery [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://futurenow.com.ua/en/from-exploration-to-empires-the-consequences-of-great-geographical-discoveries/>
14. A methodology to identify and assess transport infrastructure development considering land-use uncertainty. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://doi.org/10.3929/ethz-b-000672982>
15. American Public Transportation Association. Economic Impact of Public Transportation Investment [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.apta.com/wp-content/uploads/APTA-Economic-Impact-Public-Transit-2020.pdf>
16. Air Trasport Action Group – Facts & Figures. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://atag.org/facts-figures>
17. American Trucking Association. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.trucking.org/economics-and-industry-data>

18. Arnulf Griibler and Nebojsa Nakicenovic. EVOLUTION OF TRANSPORT SYSTEMS: PAST AND FUTURE.[Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://pure.iiasa.ac.at/id/eprint/3486/1/RR-91-008.pdf>
19. Atlas institute for international affairs. The Strait of Hormuz: A Key Point for Global Energy and Security. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://atlasinstitute.org/the-strait-of-hormuz-a-key-point-for-global-energy-and-security>
20. Atlantic Council – Suez Canal Security. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.atlanticcouncil.org/in-depth-research-reports/issue-brief/a-lifeline-under-threat-why-the-suez-canals-security-matters-for-the-world/>
21. Bay Area Transportation Authority [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.bata.net/how-to-ride/economic-impact-of-public-transportation.html>
22. Berkeley Economic Review. Global Undersea Internet Cables: Economic Leverage and Strategic Implications [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://econreview.studentorg.berkeley.edu/global-undersea-internet-cables-economic-leverage-and-strategic-implications/>
23. BloombergNEF. Lithium-Ion Battery Pack Prices See Largest Drop Since 2017, Falling to \$115 per Kilowatt-Hour [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://about.bnef.com/insights/commodities/lithium-ion-battery-pack-prices-see-largest-drop-since-2017-falling-to-115-per-kilowatt-hour-bloombergnef/>
24. CEVA Logistics – Maritime Transport. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.cevalogistics.com/en/glossary/maritime-transport>
25. Crucial role of overhead power lines in modern energy infrastructure [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.omac-italy.com/crucial-role-of-overhead-power-lines-in-modern-energy-infrastructure/>
26. Current International Freight – Drought at the Panama Canal and Its Effects on Global Shipping. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.current-intl.com/blog/drought-in-the-panama-canal-and-its-effects-on-global-shipping/>
27. Cybersecurity in transportation and logistics: inside the sector's risks [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.eye.security/blog/cybersecurity-in-transportation-and-logistics-inside-the-sectors-risks>

28. Distribution of underwater communication cables on Earth [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.researchgate.net/figure/Distribution-of-underwater-communication-cables-on-Earth-2-The-cable-routes-are_fig1_338907828
29. Decentralization. President signs law allowing communities to use humanitarian transport for passenger transportation. URL: <https://decentralization.gov.ua/en/news/19678>
30. Drones Deliver Humanitarian Aid in Africa [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.thinkglobalhealth.org/article/drones-deliver-humanitarian-aid-africa>
31. Effect of unmanned aerial vehicle (drone) delivery on blood product delivery time and wastage in Rwanda: a retrospective, cross-sectional study and time series analysis [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://www.thelancet.com/journals/langlo/article/PIIS2214-109X\(22\)00048-1/fulltext](https://www.thelancet.com/journals/langlo/article/PIIS2214-109X(22)00048-1/fulltext)
32. Electric vehicles reach tipping point in China, surge to 51% market share [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://electrek.co/2025/08/29/electric-vehicles-reach-tipping-point-china-surge-51-market-share/>
33. Electrification's place in maritime decarbonisation [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.lloydslist.com/LL1153735/Electrification%E2%80%99s-place-in-maritime-decarbonisation>
34. Electrification of Aircraft: Challenges, Barriers, and Potential Impacts. National Renewable Energy Laboratory [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.nrel.gov/docs/fy22osti/80220.pdf>
35. European Environment Agency – Electric vehicles and energy sector. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.eea.europa.eu/publications/electric-vehicles-and-the-energy/electric-vehicles-and-energy>
36. European Council. Ukrainian grain exports explained. URL: <https://www.consilium.europa.eu/en/infographics/ukrainian-grain-exports-explained/>
37. Eurostar. The Channel Tunnel [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.eurostar.com/rw-en/travel-info/eurostar-experience/the-channel-tunnel>

38. Factors behind the Development of Transport Systems. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://transportgeography.org/contents/chapter3/transportation-and-economic-development/factors-behind-the-development-of-transport-systems/>
39. Felix Zhang. Biofuels for transportation [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.researchgate.net/publication/374959799_Biofuels_for_transportation
40. G. Droysens Historischer Handatlas (стор. 28) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://archive.org/details/rcin.org.pl.WA51_17443_PANB1417-r1886_Allgemeiner_153728/page/n27/mode/2up
41. Getlink. The Channel Tunnel [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.getlinkgroup.com/en/our-group/eurotunnel/channel-tunnel/>
42. Global Transport Knowledge Partnership – Covid-19 Impacts. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.gtkp.com/themepage/covid-19/covid-19-impacts>
43. Goodloading – Sea transport. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.goodloading.com/en/blog/containers/what-is-sea-transport/#:~:text=Definition%20of%20sea%20transport%20Maritime%20transport%20is,efficient%20transport%20of%20goods%20between%20different%20continents.>
44. Hans-Dieter Evers. Solvay Gerke. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: The Strategic Importance of the Straits of Malacca. https://www.researchgate.net/publication/228121798_The_Strategic_Importance_of_the_Straits_of_Malacca
45. IEA. Global EV Outlook 2025 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2025>
46. IEA. Net Zero by 2050 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.iea.org/reports/net-zero-by-2050>
47. IEA. Net Zero Emissions by 2050 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2025/net-zero-emissions-by-2050>
48. IEA. Transport biofuels [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.iea.org/reports/renewables-2023/transport-biofuels>

49. Intermodal vs Multimodal Transportation. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.transvirtual.com/blog/intermodal-vs-multimodal-shipping-option/>
50. International institute for law of sea studies. Geopolitical Significance of the English Channel. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://iilss.net/geopolitical-significance-of-the-english-channel-an-analytical-perspective/>
51. Impact of The Panama Canal on Global and Local Economy. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://anorco.com/blog/panama-canal-economic-impact/>
52. International Air Transport Association – Aviation Support in The Global Economy. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.iata.org/en/iata-repository/pressroom/fact-sheets/fact-sheet-benefits-aviation-statistics>
53. IEA – Changes in transport behavior during the Covid-19 crisis. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.iea.org/articles/changes-in-transport-behaviour-during-the-covid-19-crisis>
54. IEA. Global EV Outlook 2025 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2025>
55. IEA – Outlook for electric mobility. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2025/outlook-for-electric-mobility>
56. Habib Badawi. Lebanese University. Cyber Security Challenges in the Transportation Industry: A Comprehensive Analysis and Recommendations [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://www.researchgate.net/publication/384815941_Cyber_Security_Challenges_in_the_Transportation_Industry_A_Comprehensive_Analysis_and_Recommendations
57. Hedges & Company. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://hedgescompany.com/blog/2021/06/how-many-cars-are-there-in-the-world/>
58. Karim Gazzeh, Ismaila Rimi Abubakar, Emad Hammad. Impacts of Covid-19 Pandemic on the Global Flow of People and Goods. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.mdpi.com/2073-445X/11/3/429>
59. Kyiv School of Economics. Звіт про прямі збитки інфраструктурі від руйнувань внаслідок військової агресії Росії проти України станом на листопад 2024 року.

URL: https://kse.ua/wp-content/uploads/2025/02/KSE_Damages_Report-November-2024-UA.pdf

60. Kyiv School of Economics. Transport Infrastructure Amid Protracted War: Challenges for Ukraine and Insights from International Post-War Reconstruction Practices [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://kse.ua/wp-content/uploads/2025/08/Transport-Infrastructure-Amid-Protracted-War_Poliukh-Artem.pdf
61. KSE. Звіт про прямі збитки інфраструктури від руйнувань внаслідок військової агресії росії проти України станом на 1 вересня 2022 року [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://kse.ua/wp-content/uploads/2022/10/UKR_Sep22_FINAL_Sep1_Damages-Report.pdf
62. Map of the Strait of Malacca [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.worldhistory.org/image/14358/map-of-the-strait-of-malacca>
63. Map Of The US Railroad Network In 1890 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://brilliantmaps.com/us-railroad-1890/>
64. Mapping the world's oil and gas pipelines [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.aljazeera.com/news/2021/12/16/mapping-world-oil-gas-pipelines-interactive>
65. McCormick. M. Roman Road Network. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://dataverse.harvard.edu/dataset.xhtml?persistentId=doi:10.7910/DVN/TI0KAU>
66. Methodology of transportation project management. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://www.researchgate.net/publication/309742397_Methodology_of_transportation_project_management
67. New Zealand Foreign Affairs & Trade – The Importance of the Suez Canal. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.mfat.govt.nz/en/trade/mfat-market-reports/the-importance-of-the-suez-canal-to-global-trade-18-april-2021>
68. Open Infrastructure Map – Power Lines [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://openinframap.org>

69. Passenger capacity of different transport modes [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://transformative-mobility.org/multimedia/passenger-capacity-of-different-transport-modes/>
70. Piracy and armed robbery against ships [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://icc-ccs.org/wp-content/uploads/2025/01/2024-Jan-Dec-IMB-Piracy-and-Armed-Robbery-Report-2.pdf>
71. Pluralia – Economic Impact of Suez Canal Blockage. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://pluralia.com/en/a/economic-impact-of-suez-canal-blockage/>
72. Quartz – Suez Canal. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://qz.com/1989788/why-the-suez-canal-is-vital-to-global-trade>
73. Review of Approaches to Enhancing the Effectiveness of Transport Infrastructure and Services. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.sciencepublishinggroup.com/article/10.11648/j.ijtet.20241002.12>
74. Reuters. Ukrainian air carrier SkyUP builds up Europe business to survive war. URL: <https://www.reuters.com/business/aerospace-defense/ukrainian-air-carrier-skyup-builds-up-europe-business-survive-war-2024-03-18/>
75. SAE. Levels of Driving Automation [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.sae.org/news/blog/sae-levels-driving-automation-clarity-refinements>
76. SeafareTimes – Ports criticality in international trade and global supply-chains. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.seafarertimes.com/2018-19/node/7502>
77. Shinkansen Route Map [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.nippon.com/en/features/h00077/>
78. Supply chain and hybrid modeling: The Panama Canal operations and its salinity diffusion. Yanshen Zhu, Luz Andrade, Erwin Atencio. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.researchgate.net/publication/224208970_Supply_chain_and_hybrid_modeling_The_Panama_Canal_operations_and_its_salinity_diffusion
79. Statista. Mine production of lithium worldwide from 2010 to 2024 [Электронный ресурс]. – Режим доступа:

https://www.statista.com/statistics/606684/world-production-of-lithium/?srsId=AfmBOoqvh06V41_95qZUJ9io9gaog32iUd0OwWpEDwYE29jwAKevICHZ

80. Statista. Rail industry worldwide - Statistics & Facts [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.statista.com/topics/1088/rail-industry/#topicOverview>
81. Statista – Coronavirus: impact on the transportation and logistics. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.statista.com/topics/6350/coronavirus-impact-on-the-transportation-and-logistics-industry-worldwide>
82. Terrorism and international transport: Towards risk-based security policy [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.oecd.org/content/dam/oecd/en/publications/reports/2009/04/terrorism-and-international-transport_g1ghacc3/9789282102329-en.pdf
83. The role of transport infrastructure in economic growth [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2023.01.017>
84. The Shinkansen: How high-speed rail transformed a nation [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.hsrail.org/blog/the-shinkansen-how-high-speed-rail-transformed-a-nation/>
85. The special Relationship: The US, Great Britain and Egypt over the Suez Canal. Rafi Sanghro, Jalil Ahmed, Siraj Ahmed Soomro. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.researchgate.net/publication/328205964_The_Special_Relationship_The_US_Great_Britain_and_Egypt_over_the_Suez_Canal
86. The Strait of Gibraltar, the engine of international maritime trade [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.samalgeciras.com/en/el-estrecho-de-gibraltar-motor-del-comercio-maritimo-internacional>
87. The U.S. Department of Energy. Hydrogen's Role in Transportation [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.energy.gov/eere/vehicles/articles/hydrogens-role-transportation>
88. TradLinx – How the Panama Canal Revolutionized Global Trade. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://blogs.tradlinx.com/how-the-panama-canal-revolutionized-global-trade/>

89. The Future Interstate Report. 10 Big Ideas for the 21st Century. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://nap.nationalacademies.org/resource/25334/interstate/>
90. The Silk Road. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.studentsofhistory.com/the-silk-road>
91. Understanding the Value of Transport Infrastructure [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.itf-oecd.org/sites/default/files/docs/13value.pdf>
92. UNCTAD. Review of maritime transport 2024 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://unctad.org/publication/review-maritime-transport-2024>
93. UNCTAD. Shipping data [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://unctad.org/news/shipping-data-unctad-releases-new-seaborne-trade-statistics>
94. United Nations Office on Drugs and Crime – Research Report I Combating Maritime Piracy and Organized Crime at Sea [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://opomun.com/wp-content/uploads/UNODC-Issue-1.pdf>
95. Underwater cables play a huge role in global communication, security and the world's economy. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.abc.net.au/news/2023-10-17/geopolitics-of-submarine-cables-late-night-live/102956008>
96. U.S. Environmental Protection Agency. Hydrogen in Transportation [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.epa.gov/greenvehicles/hydrogen-transportation>
97. U.S. Startup Zipline has teamed up with Rwandan government to deliver blood supplies by drone. [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://web.archive.org/web/20230812092555/https://time.com/rwanda-drones-zipline/>
98. Waymo's Self-Driving Future Is Here [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://time.com/collections/time100-companies-2025/7289599/waymo/>
99. William L. Garrison. Historical Transportation Development. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://escholarship.org/content/qt5n54x2p5/qt5n54x2p5_noSplash_4c86e91694a791ba550bb7f73560dd53.pdf?t=krndjp

100. What is Vision Zero? [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://visionzeronetwork.org/about/what-is-vision-zero/>
101. What role will electrification play in the maritime market? [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://www.ricardo.com/en/news-and-insights/industry-insights/what-role-will-electrification-play-in-the-maritime-sector>
102. When Nobody Is Behind the Wheel in Car-Obsessed Los Angeles [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.nytimes.com/2024/03/20/us/los-angeles-waymo-driver.html>
103. When will commercial electric aircraft become a reality? Aviation Benefits Beyond Borders [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://aviationbenefits.org/faqs/electric-aircraft>
104. Windward – Maritime transport. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://windward.ai/glossary/what-is-maritime-transport/#:~:text=Maritime%20transport%20refers%20to%20the%20movement%20of,the%20global%20supply%20chain%20and%20economic%20growth.>
105. World Shipping Council. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.worldshipping.org/top-50-ports>
106. World in maps. Busiest container ports in the world. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://worldinmaps.com/world/economy/ports/>
107. World Economic Forum – Drought at the Panama Canal disrupts global trade. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.weforum.org/stories/2023/08/drought-at-the-panama-canal-poses-unprecedented-challenges-to-global-trade/>
108. World airline map. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://en.wikipedia.org/wiki/File:World-airline-routemap-2009.png>
109. World Health Organization – Road Traffic Injuries. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/road-traffic-injuries>
110. World Population Review – Railroads by Country 2025 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://worldpopulationreview.com/country-rankings/railroads-by-country>

111. WHO Director-General's opening remarks at the media briefing on COVID-19 – 11 March 2020. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://web.archive.org/web/20200311212521/https://www.who.int/dg/speeches/detail/who-director-general-s-opening-remarks-at-the-media-briefing-on-covid-19---11-march-2020>
112. Zhangchi Yang. The Suez Canal Blockage-2021. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.researchgate.net/publication/377180320_The_Suez_Canal_Blockage_in_March_2021_The_Causation_of_the_Incident_and_Its_Economic_and_Social_Influences