

**Національна академія наук України
ДУ «Інститут економіки та прогнозування НАН України»
Інститут геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України
Інститут транспортних систем і технологій НАН України**

**В.М. Геєць, О.І. Волошин,
В.О. Дзензерський, О.І. Никифорок**

**РОЗВИТОК ЕКОНОМІЧНИХ ТА
НАУКОВО-ТЕХНІЧНИХ ОСНОВ
ТРАНСПОРТУ П'ЯТОГО
ПОКОЛІННЯ**

Київ – 2020

УДК 338.47:656]:330.341.1

Р 64

Рецензенти:

академік НАН України, д-р техн. наук, професор **Д.С. Ківа** (НТУУ ім. І.Сікорського);

академік НАН України, д-р екон. наук, професор **О.І. Амоша** (Інститут економіки промисловості НАН України);

чл.-кор. НАН України, д-р екон. наук, професор **А.А. Гриценко** (ДУ «Інститут економіки та прогнозування НАН України» – Київ);

д-р техн. наук, професор **Б.О. Блюсс** (Придніпровський науковий центр НАН України і МОН України)

Затверджено до друку Постановою № 116 Вченої ради ДУ «Інститут економіки та прогнозування НАНУ» від 27 грудня 2019 р.

Розвиток економічних та науково-технічних основ транспорту п'ятого покоління / Геєць В.М., Волошин О.І., Дзензерський В.О., Никифорук О.І. ;

Р 64

НАН України, ДУ “Ін-т екон. та прогноз. НАН України“ ; Інститут геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України ; Інститут транспортних систем і технологій НАН України. – Електрон. ресурс. – К., 2020. – 254 с. ; 31 табл., 44 рис. – Режим доступу : <http://ief.org.ua/docs/mg/324.pdf>

ISBN 978-966-02-9340-3 (електронне видання)

У монографії узагальнено основні сучасні світові тенденції розвитку транспорту новітнього покоління та запропоновано визначення поняття «транспорт п'ятого покоління», основою якого є забезпечення високих швидкостей, екологічності, енергозбереження або інноваційного підходу до конструювання (прикладом чого слугують, наприклад, високошвидкісні магістралі (ВШМ), Maglev та Hyperloop, електромобілі та безпілотники); обґрунтовано можливі напрями впровадження в Україні транспорту Hyperloop на основі оцінки світового досвіду фінансування проєктів реалізації транспорту п'ятого покоління.

В науково-технічному плані проаналізовано основні складові тягово-левітаційних систем і магнітного підвісу для створення вакуумованого високошвидкісного наземного транспорту (ВШНТ) типу Hyperloop. Розглянуто системи забезпечення і контролю герметичності вакуумованого ВШНТ. Проведено оцінку аеродинамічних і теплових навантажень на корпус вакуумованого ВШНТ. Запропоновано рекомендації для подальших фундаментальних та прикладних наукових розробок і досліджень, а також для проєктно-конструкторських робіт зі створення експериментальних конструкцій високошвидкісного наземного транспорту Hyperloop в Україні.

Для науковців, працівників державних органів управління та зацікавлених практиків.

ISBN 978-966-02-9340-3 (електронне видання)

УДК 338.47:656]:330.341.1

© Національна академія наук України, 2020

© ДУ “Інститут економіки та прогнозування НАН України”, 2020

© Інститут геотехнічної механіки

ім. М.С. Полякова НАН України, 2020

© Інститут транспортних систем і технологій НАН України, 2020

© Геєць В.М., Волошин О.І.,

Дзензерський В.О., Никифорук О.І., 2020

ВСТУП	5
Розділ 1. ГЛОБАЛЬНІ ТЕНДЕНЦІЇ, ВИКЛИКИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ ТРАНСПОРТУ П'ЯТОГО ПОКОЛІННЯ У СВІТІ.....	13
1.1. Теорія змін технологічних парадигм, що сприяли промислового розвитку та інноваціям	13
1.2. Світовий досвід впровадження та експлуатації високошвидкісних залізничних магістралей (HSR).....	21
1.3. Загальна характеристика розвитку електромобілів та безпілотників у світі та Україні	52
1.4. Загальна характеристика розвитку Maglev у світі.....	69
1.5. Перспективи розвитку Hyperloop у світі	87
1.6. Порівняльна оцінка видів транспорту п'ятого покоління у світі.....	101
Розділ 2. МЕТОДОЛОГІЧНІ ПІДХОДИ ДО ОЦІНКИ ВПЛИВУ ІННОВАЦІЙНИХ ПРОЄКТІВ НА ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗВИТОК КРАЇНИ	122
2.1. Довгостроковий вплив будівництва інноваційних транспортних проєктів на економіку.....	122
2.2. Регуляторне середовище впровадження інноваційних транспортних проєктів	141
2.3. Оцінка фінансових ресурсів для розвитку транспорту п'ятого покоління.....	148
Розділ 3. ДЕЯКІ КОНЦЕПТУАЛЬНІ НАПРЯМИ СТВОРЕННЯ ВИСОКОШВИДКІСНОГО НАЗЕМНОГО ТРАНСПОРТУ HYPERLOOP	174
3.1. Огляд загальних технічних тенденцій розвитку високошвидкісного наземного транспорту	177
3.1.1. Розвиток швидкісного наземного транспорту.....	177
3.1.2. Трубопровідний пневмотранспорт.....	180
3.1.3. Розвиток Maglev-технологій	182
3.1.4. Проєкт Hyperloop.....	185
3.2. Концептуальні напрями створення тягово-левітуючих систем вакуумованого ВШНТ Hyperloop	188
3.2.1. Лінійні синхронні двигуни та тягово-левітуючі системи....	188

Розвиток економічних та науково-технічних основ транспорту...

3.2.2. Системи енергозабезпечення та системи управління.....	195
3.3. Концептуальні напрями створення магнітного підвісу вакуумованого ВШНТ	199
3.3.1. Огляд концептуальних принципів магнітолевітаційних технологій	199
3.3.2. Магнітолевітаційна технологія INDUCTRACK.....	202
3.3.3. Порівняння за швидкісним показником існуючих швидкісних транспортних систем та інноваційної системи Hyperloop	204
3.3.4. Проблеми укладання траси Hyperloop, пов'язані з особливостями ландшафту.....	207
3.4. Концептуальні напрями забезпечення і контролю герметичності ВШНТ проекту Hyperloop	209
3.4.1. Загальні проблеми контролю герметичності вакуумованих систем	209
3.4.2. Деякі існуючі технічні засоби і технології контролю герметичності вакуумованих систем.....	215
3.4.3. Роботи ІГТМ НАН України в галузі контролю герметичності	217
3.5. Оцінка аеродинамічних та теплових навантажень на корпус вакуумованого ВШНТ при різних значеннях тиску в шляхопроводі.....	222
3.5.1. Постановка задачі аеродинамічного моделювання	222
3.5.2. Результати чисельного моделювання аеродинамічних та теплових навантажень на корпус вакуумованого ВШНТ.....	225
3.5.3. Постановка питання про вибір економічно обґрунтованого значення тиску повітря в трубі	234
3.6. Проблемні питання концепції ВШНТ Hyperloop	236
ВИСНОВКИ	241
Перелік скорочень, умовних позначень, одиниць і термінів	252

У першому розділі авторами здійснено теоретичний огляд змін технологічних парадигм, що сприяли промислового розвитку та інноваціям. Визначено, що технологічна парадигма має складну структуру і складається з елементів різного функціонального призначення, де комплекс базисних технологічно зв'язаних виробництв становить ядро технологічної парадигми. Технологічні нововведення, що визначають формування ядра технологічної парадигми і модернізують технологічну структуру економіки, отримали назву ключовий фактор, а галузі, що інтенсивно використовують ключовий фактор і відіграють головну роль у розповсюдженні нової технологічної парадигми, є несними (фундаментальними) галузями. Зроблено висновок, що транспортні технології є одним із найбільш значних факторів для розвитку технологічних парадигм.

Систематизовано хронологію транспортних технологій у технологічних парадигмах за такими характеристиками: період домінування; ядро технологічного укладу; ключовий фактор; ядро нової парадигми, що зароджується; домінуюча транспортна технологія парадигми; нова транспортна технологія, що зароджується.

Зроблено висновок, що процес транспортування, переміщення в просторі-часі товарів для потреб людини та самої людини (не тільки як робочої сили, а й для саморозвитку) залишатиметься актуальним і в шостому та наступних технологічних парадигмах і, поряд з окремими видами транспорту, такими як морський, річковий, залізничний, автомобільний, авіаційний і трубопровідний, ключовими транспортними технологіями шостої технологічної парадигми залишатимуться та розвиватимуться надалі такі: змішані (інтермодальні, комбіновані перевезення), у т.ч. контейнерні й контрейлерні перевезення, високошвидкісні транспортні перевезення, інтелектуальні транспортні технології, логістичні технології, у т.ч. телематика (телекомунікаційні та інформаційні технології), створення та запровадження принципово нового рухомого складу, що сприятиме становленню нової інтегрованої транспортної системи світу.

Сформульовано поняття «транспорт п'ятого покоління» під яким розуміється впровадження та розвиток інноваційних видів

Розвиток економічних та науково-технічних основ транспорту...

транспорту, основою якого є забезпечення високих швидкостей, екологічності, енергозбереження або інноваційного підходу до конструювання (прикладом чого слугують, наприклад, високошвидкісні магістралі (ВШМ), Maglev та Hyperloop, електромобілі та безпілотники).

Також у першому розділі авторами здійснено системний аналіз глобальних тенденцій, викликів та перспектив розвитку транспорту п'ятого покоління у світі, а саме HSR та Maglev, інноваційних видів транспорту – електромобілів та безпілотників, а також новітніх розробок на основі вакуумно-левітаційного транспорту Hyperloop.

У підрозділі, що стосується досвіду впровадження та експлуатації високошвидкісних залізничних магістралей досліджено: 1) визначення поняття високошвидкісної залізниці та 2) операційних моделей високошвидкісних залізниць. Проведено ґрунтовну оцінку стану та особливостей функціонування HSR за країнами світу, з особливим акцентом на країни, де цей вид транспорту отримав найбільше поширення. На основі проведеної оцінки виокремлено переваги та недоліки функціонування HSR для кожної країни. Визначено, що на сьогодні високошвидкісні залізниці працюють здебільшого з пасажирськими перевезеннями, тоді як частка вантажних перевезень украй невелика. Зроблено висновок, що глобальна високошвидкісна мережа не є однорідною з точки зору швидкості. З оцінки видно, що існує ряд комплексних проблем, які особливо суттєві для Європи та України. Однією з основних проблем виокремлено те, що більшість країн мають різні параметри систем електрифікації та ширини колій. Зазначено, що в Європі активно відбувається процес лібералізації залізничних послуг, який створює внутрішньодержавну конкуренцію. Виявлено тенденцію до зростання довжини колій, а також обсягів пасажирообігу. Доведено, що цей вид транспорту є економічно вигідним для густонаселених регіонів, таких як Китай, або для країн, де дорогі пально-мастильні матеріали. В підсумку визначено країни, в яких ще є потенціал для розвитку високошвидкісного руху HSR.

У підрозділі, що окреслює стан та тенденції розвитку електромобілів та безпілотників, зазначено, що перспективи зростання попиту на електромобілі залежать від можливостей якісного

стрибка характеристик акумуляторних літій-іонних батарей. Досліджено прогностні показники щодо вартості як акумуляторних батарей, так і майбутньої вартості автомобілів. Оцінено динаміку розвитку продажів електромобілів у світі та Україні. Визначено, що Європа активно підтримує розвиток електромобілів шляхом уведення урядових програм, які збільшують доступність електромобілів. Визначено причини збільшення попиту на електромобілі в Україні, основними з яких є уведення нульової ставки податків та розмитнення електромобілів, а також звільнення їх від ПДВ та акцизного збору. Зазначено, що при цьому ціни на автомобілі змінилися лише для офіційних дилерів електрокарів, та визначено причини такої ситуації. Окремо приділено увагу новітнім розробкам щодо використання електромобілів у швидкісних закритих тунелях та визначено фактори, що впливатимуть на визначення ціни, зокрема переробка відпрацьованих у результаті буріння матеріалів у цеглу. Окремо досліджено тенденції розвитку безпілотних автомобілів та зроблено висновок, що у світі вже відбулися перші тестування безпілотних автомобілів на дорогах загального користування; проте наразі повністю автоматизовані автомобілі до експлуатації не допускаються, обов'язковою умовою є перебування у салоні автомобіля водія, який у разі необхідності здатний взяти керування транспортним засобом на себе.

У підрозділі *«Загальна характеристика розвитку Maglev у світі»* виконано науковий аналіз існуючих технологій магнітного підвісу поїздів. З'ясовано, що функціонуючі системи Maglev та проекти, які перебувають на різних етапах щодо використання систем Maglev, спираються на одну із трьох існуючих технологій магнітного підвісу поїздів. Серед існуючих основними технологіями магнітного підвісу є дві – EDS та EMS і одна експериментальна – Inductrack System, що наразі залучена до створення високошвидкісної транспортної системи Hyperloop. На базі технології EDS побудовані японські поїзди, а на базі технології EMS – Transrapid Maglev.

Також у підрозділі зазначено, що основними типами використання Maglev є Urban Maglev, High Speed Maglev, Logistics. Вивчено сучасний стан магнітолевітаційного транспорту, який обмежується комерційними лініями пасажирського Maglev, що

побудовані та функціонують лише у трьох країнах – Китаї, Японії та Південній Кореї. Виявлено, що найбільш активні розробки Maglev ведуть Німеччина, Японія, Китай і Південна Корея. Ці ж країни передбачають розвиток транспортних систем на магнітному підвісі зі швидкістю понад 450 км/год у національних транспортних стратегіях. Виокремлено конкурентні переваги та недоліки магнітолевітаційних транспортних систем.

Підсумовуючи, автори зазначають, що магнітолевітаційні транспортні системи Maglev Systems слід розглядати та оцінювати в контексті існуючої інфраструктури, наявних ресурсів та майбутніх потреб суспільства, зважаючи не лише на перспективи та бар'єри технологій Maglev, а беручи до уваги відповідний економічний контекст, що дозволить прийняти правильне рішення щодо їх впровадження.

У підрозділі *«Перспективи розвитку Hyperloop у світі»* авторами розглянуто цікаві й актуальні питання щодо перспектив розвитку транспорту Hyperloop. У звіті проаналізовано концепцію Hyperloop та підхід до її просування у світі. Виконано SWOT-аналіз транспортної системи Hyperloop, що дозволило визначити її сильні та слабкі сторони, а також можливості подальшого розвитку та загрози, які можуть виникати у процесі втілення цієї технології у життя.

Крім того, розглянуто компоненти системи Hyperloop, які складаються з капсули, труби, двигуна та маршрутів. Досліджено основні напрацювання щодо цих компонентів. Проаналізовано діяльність провідних компаній, які на нинішньому етапі працюють над перетворенням запропонованої технології Hyperloop у діючу комерційну систему, зокрема Hyperloop Transportation Technologies (HTT) та Virgin Hyperloop One (VHO). У результаті оцінки досліджень вакуумно-левітаційних технологій з'ясовано, що Hyperloop – це не зовсім новітні технології. Так, на момент анонсу Ілоном Маском ідеї про Hyperloop окремі елементи технології вже існували – лінійні електродвигуни, вакуумні насоси, магнітна левітація. Тож Hyperloop не потрібно створювати з нуля, головне наразі – реалізувати всі ці технології разом, що є складним завданням, над яким сьогодні працює багато компаній.

Зроблено порівняльну оцінку видів транспорту п'ятого покоління, результатом чого став висновок, що наразі середня швидкість існуючих видів транспорту не збільшується, хоча в тестових умовах отримано результати щодо зростання швидкостей. Окреслено фактори, що впливають на вибір пасажиром виду транспорту, серед яких основними є: час, витрачений на поїздку від дверей до дверей, розміщення станцій та аеропортів, ціни на квитки, частота обслуговування. Визначено оптимальні відстані, а також на основі проведеного аналізу виокремлено переваги та недоліки за видами транспорту п'ятого покоління.

У другому розділі – *«Методологічні підходи до оцінки впливу інноваційних проєктів на економічний розвиток країни»* – показано методологічні підходи до оцінки впливу розвитку крупних інфраструктурних проєктів на економічний розвиток та причинно-наслідковий зв'язок цього впливу. По-перше, це мікроекономічний аналіз за методом затрати-вигоди, що широко використовується урядами західних країн при оцінці необхідності та доцільності інвестицій у транспортні об'єкти при оцінці суспільної ефективності. По-друге, це багатокритеріальний аналіз, що доповнює мікроекономічний підхід та застосовується зазвичай не тільки урядами, а й міжнародними фінансовими інститутами при оцінці привабливості інвестиційного проєкту при державно-приватному партнерстві. По-третє, це макроекономічний підхід, що є найбільш ускладненим через необхідність масштабних та багатоаспектних досліджень і підрахунків, проте його методологія була представлена ще у вітчизняних дослідженнях радянського періоду. Слабке застосування досить популярного в західних країнах аналізу витрати-результати (основним моментом якого є оцінка економії часу при інвестуванні в розвиток окремого проєкту) наразі в Україні свідчить насамперед про відсутність системності з боку держави щодо розвитку та модернізації транспорту в нашій країні. Саме це визначає необхідність розроблення методологічного підходу до оцінки суспільних інфраструктурних проєктів в Україні.

У підрозділі *«Регуляторне середовище впровадження інноваційних транспортних проєктів в Україні»* визначено ключові етапи, які необхідно враховувати при реалізації проєктів розвитку

транспорту п'ятого покоління в Україні; на основі аналізу Директиви ЄС 96/48, Білої Книги ЄС щодо транспорту, Регламентів TEN-T та Національної транспортної стратегії України до 2030 року обґрунтовано можливості організації розвитку інноваційних транспортних систем в Україні.

У підрозділі, присвяченому фінансовим ресурсам розвитку транспорту п'ятого покоління особливу увагу авторів приділено фінансовому забезпеченню реалізації проєктів будівництва високошвидкісної залізниці. Дослідження питань фінансування проєктів розвитку високошвидкісних перевезень у Європі показали, що ЄС активно проводить моніторинг фінансування проєктів, з огляду на те, що починаючи з 2000 року здійснює фінансову підтримку таких проєктів. Так, на сьогодні загальна сума співфінансування ЄС на підтримку інвестицій у високошвидкісну залізницю становить 23,7 млрд €. Авторами розглянуто структуру витрат типового проєкту HSR, що є характерною для всіх країн світу та включає такі витрати, пов'язані з: будівництвом інфраструктури, рухомих складом, землевідведенням, адміністративним плануванням та управлінням. У звіті приділено увагу регіональним аспектам та особливостям фінансування проєктів HSR у різних країнах світу, зокрема в Європейському Союзі та Китаї, які сьогодні виступають найбільшими ринками із впровадження та експлуатації високошвидкісної залізниці у світі. Окреслено деякі особливості фінансування систем Maglev, зокрема проаналізовано витрати на реалізацію окремих проєктів у Китаї та Японії.

Особливу увагу приділено структурі витрат та загальній вартості проєкту пасажирської транспортної системи Hyperloop, обґрунтованого у 2013 році Ілоном Маском для лінії Сан-Франциско – Лос-Анджелес. Узагальнено відомості щодо техніко-економічного обґрунтування прогнозних витрат на розробку та будівництво проєктів Hyperloop найбільших компаній світу, а саме Hyperloop Alpha, Virgin Hyperloop One, Hyperloop TT, TransPod, DGV. Проведено порівняння за такими фінансовими показниками: загальна вартість проєкту, вартість 1 км будівництва системи Hyperloop, загальна тривалість подорожі із кінця в кінець, максимальна швидкість. У результаті порівняльного аналізу доведено залежність вартості проєкту від географічного розташування

запланованого маршруту. Так, витрати на будівництво системи Hyperloop в Індії є найнижчими – за рахунок низької вартості земельних ділянок. У свою чергу найдорожчим є проєкт системи Hyperloop для лінії Гельсінкі – Стокгольм, в якому передбачено подолання Балтійського моря.

Загалом авторами виявлено, що витрати на проєкти будівництва системи Hyperloop є нижчими за витрати на реалізацію проєктів HSR. Також зазначено, що система Hyperloop перебуває на стадії розробки та – поки що – немає реального практичного впровадження, тоді як проєкти HSR – за ефективного управління та за підтримки ЄС – можуть суттєво вплинути на економічне зростання регіонів України.

У третьому розділі – «Деякі концептуальні напрями створення високошвидкісного наземного транспорту Hyperloop» – вироблено та науково обґрунтовано основні концептуальні напрями створення високошвидкісного наземного транспорту (ВШНТ) типу Hyperloop на основі науково-технічного аналізу існуючих та перспективних напрямів створення ВШНТ п'ятого покоління Maglev та Hyperloop, практична значимість яких полягає в розробленні рекомендацій для науково-дослідних і дослідно-конструкторських робіт, необхідних для створення макетних та експериментальних зразків систем ВШНТ.

Науково обґрунтована перспективність застосування технологій магнітолевітаційного транспорту (Maglev), у рамках яких виконано аналіз тягово-левітаційних систем (ТЛС), систем магнітного підвісу, електроприводів, енергозабезпечення, управління та бортового електропостачання. Практична значимість цих матеріалів полягає у розробленні рекомендацій щодо використання ТЛС з лінійними синхронними двигунами в поєднанні з магнітним підвісом на основі технології Inductrack на постійних магнітах.

Розроблено науково обґрунтований спосіб контролю ступеня герметичності виробів за методом фіксованих об'ємів, практична значимість якого полягає в розробці техніки та технології прецизійного контролю герметичності, незалежно від змін параметрів зовнішнього середовища без використання індикаторних газів, вакуумних камер та контрольних течій.

Розвиток економічних та науково-технічних основ транспорту...

Виконано чисельне моделювання турбулентного трансзвукового поля течії, а також оцінку аеродинамічних та теплових навантажень, що діють у вакуумованому шляхопроводі на транспортну капсулу з геометрією, близькою до капсули Quintero One, представленої корпорацією Hyperloop Transportation Technologies 2 жовтня 2018 року.

ГЛОБАЛЬНІ ТЕНДЕНЦІЇ, ВИКЛИКИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ ТРАНСПОРТУ П'ЯТОГО ПОКОЛІННЯ У СВІТІ

1.1. Теорія змін технологічних парадигм, які сприяли промислому розвитку та інноваціям

Формування нової політики розвитку наземних транспортних систем у контексті змін сучасної технологічної парадигми на нову має враховувати такі концептуальні положення.

По-перше, до об'єктивних екзогенних тенденцій розвитку транспортних систем, що прямо чи опосередковано впливатимуть на всі процеси подальшого розвитку транспорту України, відносяться:

– *тенденції глобалізації*, що передбачають вплив таких техніко-технологічних та інституціональних факторів:

1) розвиток передових транспортних технологій, які формують нову інтегровану транспорту систему світу в контексті концепції сталого розвитку, що передбачає перехід на екологічно чисті та безпечні технології та формування стійкості функціонування економічних систем під впливом глобальних змін клімату;

2) транспортна політика, що формується новою інституціональною структурою управління інтегрованою транспортною системою світу, яка складається під егідою міжнародних транспортних організацій;

– *тенденції інтеграції* транспортного простору України до європейської транспортної системи на засадах, які викладені в публікації¹, за функціональним, інституційним та інфраструктурним напрямками, що, на нашу думку, має прояв через всеосяжну *європеїзацію політичних та економічних процесів в Україні* й, у тому числі, враховує процеси модернізації наземних транспортних систем України, а саме:

¹ Никифорок О.І., Пашенко Ю.Є. Транспортно-дорожній комплекс України в процесах міжнародної інтеграції: монографія. Ніжин: ТОВ «Аспект-поліграф», 2008. 192 с.

Розвиток економічних та науково-технічних основ транспорту...

1) вплив європейських транспортних технологій, основу яких становлять інтелектуалізація транспорту, високошвидкісні та змішані перевезення;

2) вплив політики європейських транспортних агентств на треті країни на основі концептуальних положень, які викладені у Білій книзі ЄС щодо транспорту до 2050 року, та послідовної гармонізації законодавства відповідно до вимог Угоди про асоціацію між Україною та ЄС;

3) вплив конкурентних транспортних стратегій країн – сусідів України.

По-друге, модернізація та подальший розвиток транспортних систем України *мають базуватися на таких концептуальних змінах:*

– інституціонального характеру, що передбачають:

1) нову інституціоналізацію відносин у структурі учасників транспортної системи на основі впливу європейських та світових транспортних інститутів у контексті політики державно-приватного партнерства, диверсифікації фінансових механізмів, нових видів державного регулювання;

2) лібералізацію, комерціалізацію і приватизацію у транспортному секторі;

3) зміни в тарифному регулюванні;

4) регуляторні зміни стосовно виникнення нових органів регулювання доступу до мереж, які пов'язані насамперед із розвитком платної дорожньої інфраструктури та запровадженням принципу «користувач платить» і розробленням правил недискримінаційного доступу до інфраструктурних мереж (як наслідок – реформування галузей наземного транспорту);

– технічних змінах, що стосуватимуться удосконалення або повної заміни:

1) рухомого складу;

2) об'єктів інфраструктури (лінійних і точкових);

3) систем управління та організації руху на основі розвитку та запровадження новітніх технологій п'ятої та шостої технологічних парадигм;

– технологічних змінах: впровадженні високошвидкісного руху, інтелектуальних транспортних систем, змішаних

(інтероперабельних) перевезень на основі принципово нового рухомого складу.

Розглянемо представлені концептуальні положення детальніше.

Вплив передових транспортних технологій, які формують нову інтегровану транспортну систему світу

Зважаючи на те, що вчені, котрі досліджували та систематизували життєві цикли технологічних парадигм², які послідовно змінювали один одного, виділяють шість технологічних парадигм починаючи з промислової революції XVIII ст. і, зважаючи на значення **транспортних технологій** для розвитку технологічних парадигм, побачимо, що це – *один із найбільш значущих факторів для технологічного розвитку*. В кожній техпарадигмі визначено домінуючу транспортну технологію та нову транспортну технологію, що зароджувалась у попередніх технологічних парадигмах та виходила на передові позиції в новій (табл. 1.1).

Таблиця 1.1

Транспортні технології в хронології технологічних парадигм

Характеристика парадигми	Номер технологічної парадигми					
	1	2	3	4	5	6
Період домінування	1770–1830	1830–1880	1880–1930	1930–1970	1970–2010	2010–2050
1	2	3	4	5	6	7
Ядро технологічної парадигми	Текстильна промисловість, текстильне машинобудування, виплавка чавуну, обробка заліза, будівництво каналів, водяний двигун	Паровий двигун, залізничне будівництво, пароходобудівництво, паровозне будівництво, вугільна промисловість, чорна металургія, станкоінструментальна промисловість	Електро-двигун, електротехнічне та важке машинобудування, виробництво сталі, лінії електро-передач	Двигун внутрішнього згорання, автомобіле- та тракторо-будівництво, кольорова металургія, виробництво товарів довгострокового користування, синтетичні матеріали, органічна хімія, виробництво і переробка нафти	Електронна промисловість, обчислювальна, оптико-волоконна техніка, програмне забезпечення, телекомунікації, роботобудівництво, виробництво і переробка газу, інформаційні послуги, атомна енергетика	Нано-електроніка, молекулярна і нановотоніка, наноматеріали і наноструктури, нанобіотехнології, наносистемна техніка

² Perez Carlota. Technological Revolutions and Financial Capital Cheltenham; Northampton: Edward Elgar, 2002.

Закінчення табл. 1.1

1	2	3	4	5	6	7
Ключовий фактор	Текстильні машини	Паровий двигун, станок	Електро-двигун	Двигун внутрішнього згорання	Мікро-електронні компоненти	Нанотехнології, клітинні технології
Ядро нової парадигми, що зароджується	Паровий двигун, машинобудівництво	Електроенергетика, важке машинобудівництво, неорганічна хімія	Автомобілебудівництва, органічна хімія, виробництво і переробка нафти, кольорова металургія	Авіабудівництво, газова промисловість, радіоелектроніка	Нанотехнології, молекулярна біологія, генна інженерія, технології прискорення процесів	
<i>Домінуюча транспортна технологія парадигми</i>	<i>Морський та річковий транспорт, зусювий транспорт</i>	<i>Залізничний транспорт, морський та річковий транспорт</i>	<i>Автомобільний транспорт, залізничний транспорт</i>	<i>Авіаційний транспорт, трубопровідний транспорт</i>	<i>Змішані перевезення, авіаційний, високошвидкісний залізничний</i>	<i>Інтегровані транспортні технології, а саме змішані (комбіновані, інтермодальні) перевезення, логістичні технології високошвидкісного руху</i>
<i>Нова транспортна технологія, що зароджується</i>	<i>Залізничний транспорт</i>	<i>Автомобільний транспорт</i>	<i>Авіаційний транспорт, Трубопровідний транспорт</i>	<i>Змішані перевезення</i>	<i>Логістичні технології, високошвидкісні залізничні системи</i>	<i>Інтелектуальні транспортні системи, принципово новий рухомий склад транспорту</i>

Джерело: доповнено Никифорок О.І. за³, с. 94⁴.

Якщо ключовими факторами п'ятої технопарадигми сьогодні є мікроелектроніка та програмне забезпечення, його ядром – виробництво електронно-обчислювальної техніки, компонентів,

³ Глазьев С.Ю. Стратегия опережающего развития России в условиях глобального кризиса: монография. URL: http://dis.podelise.ru/pars_docs/diser_refs/42/41255/41255.pdf

⁴ Василенко В. Технологические уклады в контексте стремления экономических систем к идеальности. *Соціально-економічні проблеми і держава*. 2013. Т. 8. № 1. С. 65–72.

обладнання радіо- і телекомунікаційного, лазерного обладнання, то домінуючою транспортною технологією стали вже не окремі види транспорту, які до 1970-х років вийшли на самодостатній рівень розвитку, а *змішані* перевезення, що зароджувалися на початку ХХ ст., їх принципи були розроблені в 1940–1950-х роках, проте на передові позиції у країнах-лідерах вони вийшли із 1970-х років.

Характеристикою шостої технопарадигми є застосування нанотехнологій у виробництві, що дають змогу на порядок збільшити їхню зносостійкість та подовжити строки використання. Так, у сонячній енергетиці це знизить капіталомісткість одиниці потужності до рівня теплової енергетики, застосування світлодіодів дозволить підвищити ефективність джерел світла, нанопорошки підвищуватимуть ефективність палива, кліткові технології у медицині дадуть змогу відмовитися від дорогих методів лікування. Сучасні технології багаторазово підвищують ефективність переробки та утилізації відходів, дозволять замкнути технологічні виробництва на безвідходні технологічні цикли. Структурні зміни, модернізація і розвиток економіки на основі нового технологічної парадигми дадуть можливість збільшувати обсяги виробництва і споживання без збільшення споживання природних ресурсів, одночасно знижуючи рівень забруднення довкілля.

Стосовно транспорту, то, поряд з окремими його видами, такими як морський, річковий, залізничний, автомобільний, авіаційний і трубопровідний, надалі **ключовими транспортними технологіями шостої технопарадигми** залишатимуться та розвиватимуться такі: змішані (інтермодальні, комбіновані перевезення), у т.ч. контейнерні й контрейлерні перевезення, високошвидкісні транспортні перевезення, інтелектуальні транспортні технології, логістичні технології, у т.ч. телематика (телекомунікаційні та інформаційні технології), створення та запровадження принципово нового рухомого складу на основі нових технологій⁵, і це сприятиме становленню *нової інтегрованої транспортної системи світу*.

⁵ Наприклад, за прогнозом британських вчених, посилити військову та оборонну авіацію можуть чотири супертехнології: 3D-друк на борту, літаки-трансформери, лазери, самовідновлювальні матеріали.

Окрім цього, за версією порталу «Майбутнє сьогодні»⁶: «останні розробки у галузі хмарних обчислень та новітніх технологій, таких як AI (штучний інтелект, IoT (Інтернет речей) та LiDAR, перетворили автономні машини з мрії на реальність. Багато компаній оголосили про свої плани запуску автономних автомобілів, а пробні тести цих автомобілів уже тривають у різних містах світу. Такі компанії, як Waymo і Tesla, виступають на перший план автономної революції. Нещодавно компанія Drive.ai, заснована в Кремнієвій долині, розпочала будівництво програмного забезпечення для безпілотних автомобілів. Вона оголосила, що пропонує безкоштовні поїздки пасажиром до Фріско, Техас. Очікується, що безпілотні автомобілі перекроють існуючу автомобільну промисловість і здійснять її найбільшу трансформацію з моменту заснування на початку ХХ століття. Автобуси майбутнього для спільного катання мали би можливість метаморфозуватись у різні форми. Це також збільшило б базовий рівень їх функціональності разом із універсальністю. Toyota розробила концепт-автомобіль, відомий як e-Palette, який можна перетворити зі звичайного автобуса на фургон для перевезення чи доставки товарів. Це практично означає, що вранішнє таксі увечері може стати кафе, а вночі – фургоном для доставки їжі. Компанії також модифікують місця у фургонах та автобусах, щоб зробити їх більш трансформованими у майбутньому. Також незабаром будуть упроваджені персоналізовані маршрути, визначені користувачем. Tesla та його засновник Ілон Маск мають заслужену репутацію технологічних гуру. Ще один план Маска – це створення локалізованої, футуристичної системи метро. Будівництво нових систем метрополітену відбувається в США повільними темпами. Але футуристичний цикл уже випробовують у Лос-Анджелесі. Tesla закінчила будівництво своєї першої ділянки тунелю в місті, яка перевозитиме людей у власних автомобілях зі швидкістю до 150 миль/год. Однак недоліком є ризик, пов'язаний із заторами на вході в тунель, оскільки дедалі більше людей хотітимуть взяти у цьому участь». Необхідно

⁶ Транспорт майбутнього. 5 технологій, які змінять сферу транспорту. URL: <https://futurenow.com.ua/transport-majbutnogo-5-tehnologij-yaki-zminyatsferu-transportu/>

зазначити, що ці технології більш детально охарактеризовано у наступних розділах цієї монографії.

Вплив політики, що формується новою інституціональною структурою управління інтегрованою транспортною системою світу

Серед ключових міжнародних організацій, які визначають багатосторонню транспортну політику, і пан'європейську зокрема, можна назвати Комітет із внутрішнього транспорту Європейської економічної комісії ООН (КВТ ЄЕК ООН), Міжнародну організацію цивільної авіації (ІКАО), Міжнародну морську організацію (ІМО), Міжнародний союз залізниць (UIS, МСЗ), Організацію співробітництва залізниць (ОСЗ), Міжнародний союз автомобільного транспорту (МСАТ) тощо. Крім зазначених, цілий ряд *регіональних організацій* економічного співробітництва розробляє стратегічні документи і проводить транспортну політику в різних регіонах, серед них Європейський Союз (ЄС), Організація Чорноморського економічного співробітництва (ОЧЕС), Рада Баренцевого/Євроарктичного регіону (РБЕР), Шанхайська організація економічного співробітництва (ШОС), Азійсько-Тихоокеанське економічне співробітництво (АТЕС) та ін.

Ключовою міжнародною організацією, що розробляє транспортну політику, що істотно впливає на міжнародний і вітчизняний транспортний сектор, є Комітет із внутрішнього транспорту Європейської економічної комісії ООН. Упровадження в національне законодавство єдиних стандартів, узгоджених технологій і правил перевезень здійснюється шляхом приєднання до угод і конвенцій ЄЕК ООН у галузі транспорту. Тим самим закладається основа для ліквідації бар'єрів у сфері міжнародних перевезень, а також для створення інтегрованої транспортної системи та відкритого ринку транспортних послуг.

У цьому аспекті реалізація *концепції міжнародних транспортних коридорів*, що передбачає рівноправну участь усіх видів транспорту, поєднана з *організацією комбінованих перевезень* із жорстким плануванням *організаційно-технологічної взаємодії транспортних вузлів і магістралей*. Необхідність обліку параметрів впливу глобальних економічних тенденцій на особливості та темпи розвитку національного транспортного комплексу вимагає поси-

лення інтеграційних напрямів його розвитку. Формування принципово нової організації вантажопотоків і їхньої обробки обумовлює процеси *інтернаціоналізації транспортних систем*. Отже, для вирішення цього завдання актуалізується врахування інтересів усіх учасників перевізного процесу і пошук форм концентрації різних джерел інвестиційних ресурсів.

На нашу думку, процес транспортування, переміщення у просторі-часі товарів для потреб людини та самої людини (не тільки як робочої сили, а й для саморозвитку) залишатиметься актуальним і в шостій та наступних технологічних парадигмахі, поряд з окремими видами транспорту, такими як морський, річковий, залізничний, автомобільний, авіаційний і трубопровідний, **ключовими транспортними технологіями шостої технологічної парадигми** залишатимуться та розвиватимуться надалі такі: змішані (*інтермодальні, комбіновані перевезення*), в т.ч. *контейнерні та контрейлерні технології перевезення, високошвидкісні транспортні технології, інтелектуальні транспортні технології, логістичні технології, в т.ч. телематика (телекомунікаційні та інформаційні технології), а також створення та запровадження принципово нового рухомого складу, що своєю чергу сприятиме становленню нової інтегрованої транспортної системи світу* рис. 1.1.

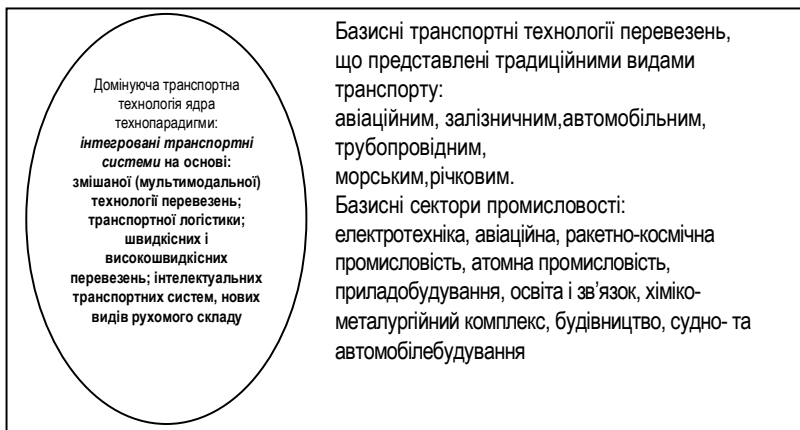


Рис. 1.1. Транспортні технології новітньої технологічної парадигми

Джерело: складено Никифорук О.І.

1.2. Світовий досвід впровадження та експлуатації високошвидкісних залізничних магістралей (ВШМ, HSR)⁷

Перехід суспільства на нову техніко-економічну парадигму формує систему нових економічних відносин, центральною ланкою якої стає категорія часу. З'являється нова сутність – економіка високих швидкостей. Але прискорення темпів науково-технічного прогресу і глобалізації економіки в XXI ст. вступає у суперечність з низькими темпами розвитку і можливостями модернізації існуючих транспортних систем. Необхідне ефективне рішення проблеми кардинального підвищення швидкості та пропускної здатності транспортних систем при малих витратах енергії. Крім традиційних вимог до безпеки, доступності та якості перевезень найбільш чітко проявляються вимоги до екологічності, мультимодальні та швидкості транспортних послуг, що надаються.

Безперечно, що для економічного зростання країни базовим є інноваційно-технологічний розвиток, якому сприяють проривні технологічні рішення. Впровадження якісно нового – п'ятого покоління транспорту, який має включати не тільки високошвидкісні види транспорту, а й інноваційні, відбувається протягом останніх 50 років.

На нашу думку, до транспорту п'ятого покоління можна відносити високошвидкісний наземний транспорт (ВШМ, HSR), а саме високошвидкісні магістралі (HSR), Maglev та Hyperloop, і такі інноваційні види транспорту, як електромобілі, безпілотники та дрони⁸.

Отже, під транспортом п'ятого покоління можна розуміти впровадження та розвиток таких видів транспорту, основою яких є забезпечення високих швидкостей, екологічності, енергозбереження або інноваційного підходу до конструювання як ознак транспорту наступної новітньої технологічної парадигми.

У світі використовуються численні визначення для поняття «високошвидкісна залізниця» (ВШМ, HSR). Директива Європей-

⁷ Підрозділ 1.2 підготовлено за участю Л.Ю. Чмирьової та Н.О.Федяй.

⁸ Стасюк О. М., Чмирьова Л. Ю., Федяй Н. О. Швидкість як конкурентна перевага високошвидкісних наземних перевезень. *Ефективна економіка*. 2020. № 2. URL: <http://www.economy.nayka.com.ua/?op=1&z=7665>

ського союзу 96/48/ЕС, Додаток 1, до високошвидкісних відносить залізниці, які відповідають таким умовам:

1) *інфраструктура*: лінії спеціально побудовані або модернізовані для високошвидкісного руху;

2) *мінімальна межа швидкості*: для спеціально побудованих високошвидкісних ліній, мінімальна швидкість становить 250 км/год, а для модернізованих високошвидкісних ліній – близько 200 км/год. Можуть бути винятки для певних ділянок, на яких швидкість обмежується топографічними, рельєфними або містобудівними особливостями, при яких швидкість повинна бути адаптована до кожного випадку;

3) *рухомий склад*: високошвидкісні високотехнологічні поїзди повинні бути сконструйовані таким чином, щоб гарантувати безпечний і безперервний рух – зі швидкістю не менше 250 км/год на спеціально побудованих лініях (за одночасного досягнення швидкості понад 300 км/год у відповідних умовах); зі швидкістю близько 200 км/год на модернізованих лініях; із максимально можливою швидкістю на інших лініях;

4) *сумісність інфраструктури та рухомого складу*: рухомий склад повинен бути добре сумісним з інфраструктурою для забезпечення високого рівня продуктивності, безпеки, високої якості обслуговування⁹.

Міжнародний союз залізниць (МСЗ, UIS) використовує цю Директиву ЄС, наголошуючи, що високошвидкісна залізнична система включає такі компоненти: інфраструктуру, станції, рухомий склад, правила експлуатації, системи сигналізації, маркетинг, системи технічного обслуговування, фінансування, управління та правові аспекти¹⁰.

МСЗ (UIS) заявляє, що високошвидкісні залізниці представляють набір унікальних функцій, а не просто потяг, що рухається із швидкістю, вищою за передбачену. Багато звичайних поїздів, до яких відносяться французькі SNCF Intercités і німецький DB IC, можуть досягати комерційної швидкості у 200 км/год, але високошвидкісними поїздами їх не вважають.

⁹ General definitions of highspeed. International union of railways. URL: <https://web.archive.org/web/20110728141420/http://www.uic.org/spip.php?article971>

¹⁰ High speed. URL: <https://uic.org/highspeed>

Національні стандарти можуть відрізнятися від міжнародних, але критерій у 200 км/год вибирається з кількох причин: за вищої за цю швидкості посилюється вплив геометричних дефектів, зменшується адгезія шляху, значно зростає аеродинамічний опір, коливання тиску всередині тунелів викликає дискомфорт пасажирів, водіям стає важко ідентифікувати сигналізацію дорожнього покриття. Стандартне сигнальне обладнання часто обмежене швидкостями, нижчими за 200 км/год із традиційними межами у 127 км/год у США, 160 км/год – у Німеччині та 201 км/год – у Великій Британії. Над цими швидкостями діє примусовий контроль поїздів або Європейська система контролю поїздів, що стає юридично обов’язковим.

Різні держави – члени ЄС застосовують різні операційні моделі залізниць (рис. 1.2). Наприклад, є змішані високошвидкісні системи (у Франції, Іспанії та Італії) і повністю змішані високошвидкісні лінії (Німеччині, Австрії та дві секції в Італії).

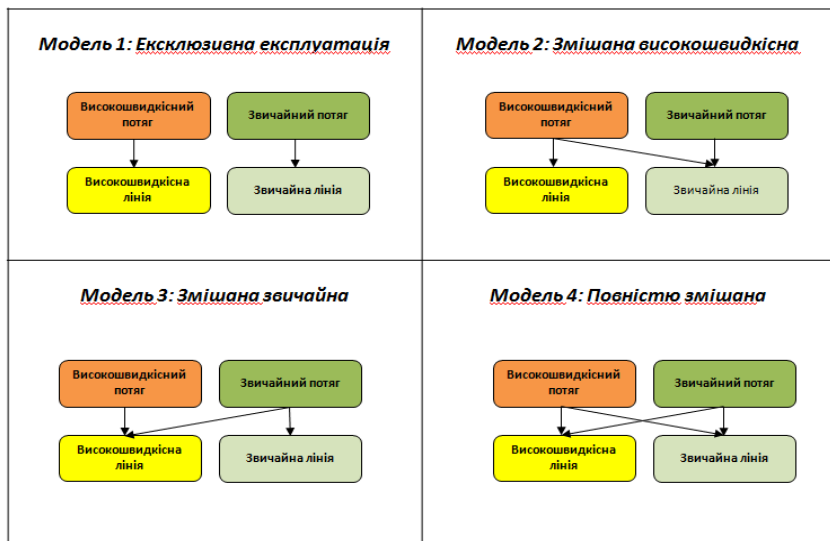


Рис. 1.2. Операційні моделі високошвидкісних залізниць ЄС

Джерело: складено Федяй Н.О. на основі ¹¹.

¹¹ A European high-speed rail network: not a reality but an ineffective patchwork. Special Report. 2018. No 19. URL: https://www.eca.europa.eu/Lists/ECADocuments/SR18_19/SR_HIGH_SPEED_RAIL_EN.pdf

Високошвидкісна залізниця не є принципово новою транспортною технологією, а особливим способом забезпечення залізничного транспорту з більш високими стандартами продуктивності. Ці стандарти засновані на поєднанні послуг та інфраструктури: можливе використання високошвидкісних послуг за традиційної інфраструктури і традиційних послуг за високошвидкісної інфраструктури.

Дж. Кампос і Г. де Рус (2009) пропонують чотири різні моделі експлуатації інфраструктури HSR:

- ексклюзивну модель експлуатації з повним поділом між традиційними і високошвидкісними службами (японська модель Сінкансен);

- змішану високошвидкісну модель із високошвидкісними поїздами, що працюють як за специфічної, так і за традиційної інфраструктури (французька модель TGV);

- змішану звичайну модель з деякими звичайними поїздами, що працюють за високошвидкісної інфраструктури (іспанська модель AVE);

а також;

- повністю змішана модель, де і звичайні, і високошвидкісні поїзди можуть працювати як за звичайної, так і за високошвидкісної інфраструктури (німецька модель ICE).

Е. Перл та Е. Гоєц (2015) замість цього пропонують ще три географічно орієнтовані моделі:

- ексклюзивні коридори між мегаполісами, де проживає понад 10 млн жителів (наприклад, у Японії);

- гібридні мережі, що складаються з нових ліній HSR, які з'єднують звичайні залізничні лінії, (наприклад, у Франції);

- комплексні національні мережі з новою інфраструктурою, що зв'язують основні міста по всій країні (наприклад, в Іспанії).

Перші проєкти ВШМ були розроблені в Японії у 1930-х роках, але будівництву магістралі між містами Токіо і Осака для поїздів типу «поїзд-куля» завадила війна. До проєкту повернулися в середині ХХ ст., коли в регіоні Токіо і вздовж східного узбережжя острова Хонсю різко загострилася транспортна ситуація. Регулярний рух високошвидкісних поїздів в Японії розпочався в 1964 р.

Паралельно з Японією, у 60-х роках ХХ ст. Франція почала проводити розробки зі створення Maglev та поїздів на повітряній подушці Aérotrain. Тоді ж виникла ідея створення швидкісного поїзду TGV для створення конкуренції японській системі Сінкансен. Пасажирське сполучення TGV було відкрито у 1981 р. (через 21 рік від задуму будівництва) між Парижем та Ліоном.

Після перших успіхів Японії та Франції, деякі країни, такі як: Італія та Німеччина (1988 р.), Іспанія (1992 р.), Бельгія (1997 р.), Велика Британія (2003 р.), Південна Корея (2004 р.), Тайвань (2007 р.) почали впроваджувати швидкісний рух, розвиваючи власні технології або застосовуючи вже існуючі розробки. Попри це, розвиток високошвидкісних магістралей у світі до 2000 р. відбувався доволі повільно. Ситуація змінилася у 2008 р., після вкладення у цю сферу значних інвестицій Китаєм. Так, на сьогодні понад половину всіх швидкісних ліній розміщено в Азії. У 2009 р. до високошвидкісного руху долучилися Нідерланди та Туреччина, у 2011 р. – Узбекистан, а у 2018 р. – Марокко та Саудівська Аравія.

Франція

Управлінням залізничним сполученням Франції займається державне підприємство «Національна компанія французьких залізниць» (SNCF), що експлуатує на лініях високошвидкісні поїзди TGV.

Поїзди TGV виготовляє фірма Alstom із використанням окремих вузлів фірми Bombardier (за винятком невеликої серії TGV, що використовується для поштового сполучення між Парижем та Ліоном). Особливість французького швидкісного поїзда TGV у тому, що він може використовуватись як на високошвидкісних лініях, так і на звичайній залізниці.

Поїзди мають постійне формування з локомотивною тягою, при цьому два електровози розміщуються на кінцях поїзда, а між ними розташовуються зчленовані причіпні вагони на проміжних візках. Можливість рухатися як на постійному, так і на змінному струмі розширила полігон курсування TGV на всю мережу національних залізниць, а також у суміжні країни. За 30 років у Франції було створено понад десяток модифікацій високошвидкісних поїздів.

Поїзди TGV здатні рухатися зі швидкістю до 320 км/год, що стало можливим завдяки будівництву спеціальних залізничних

ліній без малих радіусів кривих. Поїзди оснащені потужними тяговими двигунами, зчленованими вагонами, полегшеними візками, а також пристроями автоматичної локомотивної сигналізації, завдяки якій машиністові не потрібно роздивлятися сигнали світлофорів на великих швидкостях.

Рекорд швидкості поїздів TGV – 574,7 км/год був поставлений за допомогою нової технології AGV (automotrice a grande vitesse – «високошвидкісний самохідний вагон»), що передбачає використання розподіленої тяги із розташуванням моторних візків під підлогою між пасажирськими вагонами. Це стало можливим з появою сучасних синхронних двигунів з постійними магнітами. Експлуатаційна швидкість таких поїздів становить 360 км/год, а за рахунок зниження маси складу економія становитиме до 30% порівняно з класичними TGV¹². Цей потяг вважається найбільш економічним та екологічним у світі. Його конфігурація може включати від семи до 14 вагонів.

На виставці залізничної техніки InnoTrans 2018 компанія Alstom представила перший у світі двоповерховий швидкісний поїзд Avelia Horizon: його становитимуть 7–9 вагонів та він розвиватиме швидкість понад 300 км/год. Національна компанія французький залізниць (SNCF) уклала з Alstom договір на купівлю 100 таких поїздів. Уведення в експлуатацію планується у 2023 р.¹³

У Франції всередині країни курсують високошвидкісні потяги TGV (підвиди TGV; iDTGV) та Ouigo Bombardier (французький лоукост).

На міжнародних перевезеннях курсують високошвидкісні потяги:

1) *Thalys*, які поєднують Францію, Бельгію, Нідерланди, Німеччину. Максимальна швидкість цього поїзда становить 300 км/год;

2) *TGV Lyria*, які курсують між Парижем та Швейцарією;

3) *Eurostar*, які обслуговують такі основні маршрути: Велика Британія, Франція – Бельгія.

¹² С полной загрузкой. *Коммерсант*. URL: <https://www.kommersant.ru/doc/1495709>

¹³ Первый в мире двухэтажный скоростной поезд представила французская компания Alstom на выставке железнодорожной техники InnoTrans 2018 / REGNUM. URL: <https://regnum.ru/news/2487227.html>

На сьогодні мережа TGV охоплює міста на півдні, заході та північному сході Франції, а також у Бельгії, Італії та Швейцарії. У Німеччині та Нідерландах діє аналогічна та сумісна з TGV залізнична мережа Thalys, а у Великій Британії – Eurostar.

TGV використовує як спеціально побудовані шляхи LGV, що створені для руху на швидкостях понад 300 км/год, так і звичайні залізничні колії, на яких, для підтримки безпеки, швидкість обмежена до 220 км/год, що дало TGV змогу обслуговувати понад 200 напрямків – як у Франції, так і за її межами. У Франції було побудовано понад 3200 км швидкісних магістралей LGV (деякі ще проєктуються та будуються).

Для зниження частки авіаційних перевезень на ринку SNCF знизила ціни на далекі поїздки, в результаті чого деякі міста, які знаходяться в годинній доступності від Парижу, суттєво підвищили пасажирообіг у цих напрямках. На напрямку Париж – Ліон зростання кількості пасажирів спонукало до уведення двоповерхових поїздів

До складу SNCF входить також автобусна компанія OUIBUS. Автобуси курсують на тих напрямках, де немає залізничної колії, або пасажиропотік невеликий. Часто, щоб дістатися до місця призначення, SNCF продає комбінований квиток «поїзд + автобус».

Успіх французьких високошвидкісних залізниць пов'язують із сильною державною підтримкою на початку розбудови. Так, держава надавала операційні субсидії SNCF, який є оператором високошвидкісних залізниць. Згодом до цього процесу активно долучилася місцева влада, застосовуючи механізми державно-приватного партнерства.

Недоліки:

– обмеження на лініях LGV мінімальної швидкості, що унеможлиблює використання на них поїздів, які не можуть досягати великих швидкостей, через те, що різко скоротиться пропускна здатність траси через використання поїздів із різними швидкостями. Так, повільні поїзди не можуть використовувати швидкісні лінії навіть уночі, коли поїзди TGV не виходять на лінії, тому що тоді проводиться технічне обслуговування ліній;

– використання швидкісних ліній тільки для пасажирських перевезень. Це пов'язано із тим, що використовувати швидкісні

Розвиток економічних та науково-технічних основ транспорту...

лінії для вантажних перевезень небезпечно, оскільки на великій швидкості вантаж через турбулентний потік може втратити стійкість і злетіти з платформи. Крім того, вантажний рухомий склад сильніше розбиває шлях, зважаючи на великі осьові навантаження та жорсткі візки. Виняток становлять ділянки швидкісних ліній, які мало використовуються, такі як ділянка до Тура лінії LGV Атлантика та ділянка Нім/Монпельє LGV Середземномор'я;

- відносно вища вартість квитків на лінії TGV порівняно зі звичайними швидкісними лініями;

- різна змінна напруга на лініях у різних країнах. Так, усі французькі лінії LGV електрифіковані під високою змінною напругою 25 кВ, тоді як у Німеччині діє стандарт 15 кВ, 16 2/3 Гц. Наприклад, лінія LGV в Італії між Римом та Флоренцією спочатку була електрифікована постійною напругою 3 кВ, але найближчим часом її буде змінено на 25 кВ, 50 Гц, що дозволить французьким поїздам послуговуватися нею.

Переваги:

- усі моделі вагонів поїздів TGV, порівняно з іншими системами, спроектовані таким чином, що можуть замінювати один одного, що дає змогу формувати склад із вагонів різних серій;

- через те, що шляхи LGV використовуються лише для швидкісного сполучення, шляхи допускають великі схили, що полегшує планування трас та зменшує вартість будівництва шляхів. Велика кінетична енергія, що накопичується поїздом під час руху на великій швидкості, дозволяє йому долати великі схили без значного збільшення енергоспоживання. Окрім того, під час спуску з таких схилів є можливість відключити тягу, що також підвищує економічність;

- шляхи на LGV можуть перетинатися тільки на різних рівнях, із використанням естакад та тунелів. По-перше, це сприяє підвищенню безпеки поїздок, по-друге, – збільшенню пропускної здатності всієї лінії, оскільки використання горизонтальних розв'язок вимагало би довгих перерв у русі в обидві сторони;

- TGV є достатньо безпечним видом транспорту: за весь час експлуатації не було зареєстровано жодного випадку загибелі людей у результаті аварій;

– можливість використання діючої залізничної інфраструктури завдяки сумісності колії зі звичайними шляхами (для Європи це було перевагою, тому що колії по всій Європі мали однакову ширину (1435 мм) та могли без перешкод поєднуватись зі своєю залізничною мережею).

Німеччина

Сьогодні управлінням залізничним транспортом Німеччини займається державна компанія «DeutscheBahn» (DB)¹⁴ – один із найбільших залізничних операторів у Європі. У свою чергу залізнична мережа Німеччини – одна із найрозвиненіших у Європі, в тому числі й щодо високошвидкісних залізниць: сьогодні у країні побудовано 1658 км високошвидкісних залізничних трас¹⁵. Окрім того, високошвидкісна мережа Німеччини досить добре інтегрована у вже існуючу залізничну мережу. Експерименти із запуском розпочалися у 1986 р., а експлуатація ВШМ розпочалася у 1991 р., через 10 років після того, як цей вид транспорту освоїли французи. Це сталося через юридичні непорозуміння, що викликало значні затримки у запуску першого потягу InterCity Express.

InterCity Express (IEC) – це високошвидкісні потяги, розроблені консорціумом компаній Siemens AG¹⁶ та Bombardier на замовлення DeutscheBahn, і їх перше покоління ще й досі перебуває в експлуатації. Так, *IEC 1* були уведені в експлуатацію у 1991 р., на спеціально створених високошвидкісних ділянках Ганновер – Вюрцбург та Мангейм – Штутгарт на маршруті Гамбург – Мюнхен із максимальною затвердженою швидкістю 280 км/год. У 1998 р. було випущено нове покоління потягів *IEC 2*. Вони представляють собою два напівпотяги, які у процесі експлуатації можна зчіплювати та роз'єднувати, таким чином реагуючи на завантаженість пасажирами. У 2000 р. було випущено нову модифікацію потягів *IEC 3*, принциповою відмінністю яких є те, що двигун розміщувався під підлогою декількох вагонів, що

¹⁴ Deutsche Bahn AG: DB Konzern. URL: <https://www.deutschebahn.com/de/>

¹⁵ High speed rail. Fast track to sustainable mobility / UIC. URL: https://uic.org/IMG/pdf/uic_high_speed_2018_ph08_web.pdf

¹⁶ High-speed trains eco-friendly, easy to maintain, modular. URL: <https://www.siemens.com/global/en/home/products/mobility/rail-solutions/rolling-stock/high-speed-and-intercity-trains.html>

забезпечило ефективніший розподіл навантаження і крутного моменту. Окрім того, однією з модифікацій цієї серії, а саме моделі 406 (ICE 3M), було те, що потяги підтримують чотири різні системи живлення з контактного проводу, що дозволяє використовувати їх на залізницях за межами Німеччини, насамперед у Нідерландах, Бельгії, Швейцарії а також Франції – найближчих сусідах Німеччини. Ця модель надалі трансформувалася в окремий клас потягів Siemens Velaro (*Velaro*) і призначена саме для подолання проблем трансграничного переходу між залізницями різних країн, пов'язаних з електрифікацією. Починаючи з 2015 р. і до сьогодні, а в запланованій перспективі – до 2025 р. в експлуатацію вводиться нова модель *ICE 4 (ICx)*¹⁷. Однією з особливостей цих потягів є збільшення кількості пасажиромісць та покращення ситуації з пожежною безпекою та зменшення впливу на навколишнє середовище. Однак головною інновацією потягів ICx є концепція модульного приводу, що полягає у такому: кожен потяг складається з вагонів без приводів, між якими вставлені так звані Powerscar (силові автомобілі). Один Powerscar містить чотири двигуни, трансформатор, тяговий перетворювач і систему тягового охолодження. По суті, концепція, що кожна машина буде не залежною, не нова, проте в попередніх моделях приводний агрегат створювали лише чотири вагони, тоді як з Powerscar можна варіювати довжину потягу і кількість вагонів, не впливаючи на співвідношення потужність/маса. До того ж використання Powerscar дозволяє легко збільшити потужність приводу в потязі, долучивши для високошвидкісних маршрутів більш потужні машини.

Інфраструктуру німецьких високошвидкісних залізничних магістралей становлять: нові траси, побудовані спеціально для експлуатації високошвидкісними потягами, та модернізовані траси – вже існуючі траси, адаптовані під потреби нових потягів. Оскільки при швидкостях понад 160 км/год гальмівний шлях потягу перевищує 1 км, для управління рухом потягів на високошвидкісних ділянках використовується система автоматичного спостереження за рухом (лінійний вплив/вплив на

¹⁷ Der ICE 4 (vormals ICx) Das neue Rückgrat des DB Fernverkehrs. URL: <https://www.zukunft-mobilitaet.net/3924/zukunft/icx-db-fernverkehr-nachfolger-ice-ic/>

потяг). Ця система забезпечує автоматичний контроль за рухом потягу і надає машиністу інформацію щодо його подальших дій.

Максимальна швидкість потягів ІЕС 3 на високошвидкісних ділянках, спеціально побудованих під високі швидкості, становить 320 км/год, з максимально дозволеною швидкістю 350 км/год. Максимальна швидкість на ділянках із адаптованою залізничною інфраструктурою становить 160 км/год, тоді як максимально дозволеною на цих ділянках є швидкість 230 км/год.

Одним із недоліків німецької системи високошвидкісних пасажирських перевезень є те, що, на відміну від французької системи TGV або японської Shinkansen, на початку вона не створювалася та не запускала як єдина система, незважаючи на те, що в Німеччині один державний залізничний оператор, що могло би значно спростити управлінські аспекти при вирішенні проблем та досягненні цілей. Ця особливість високошвидкісних магістралей Німеччини вплинула на швидкісні можливості потягів. Так, максимальна швидкість потягів ІСх, які вже до 2025 р. повністю замінять покоління потягів ICE 1 та ICE 2¹⁸, лише 230 км/год. Ця швидкість значно нижча за ту, що демонструють попередні моделі потягів ICE та Velaro, розраховані на швидкості 320–350 км/год, проте, враховуючи те, що в Німеччині максимальна швидкість у 250 км/год дозволена на досить небагатьох маршрутах, така трансформація зрозуміла.

Як уже зазначалося, однією з особливостей високошвидкісних магістралей Німеччини вважається електрифікація (частота 16,7 Гц та напруга 15 кВ). Така система живлення притаманна потягам класу ICE 1 та ICE 2, і саме тому потяги цього класу отримали дозвіл на використання у Австрії та Швейцарії, де не виникало проблем трансграничного характеру для охоплення їхньої залізничної мережі високошвидкісними потягами ІЕС. Проте в більшості країн Європи, де розвиток високошвидкісних пасажирських перевезень сьогодні є пріоритетним та триває значно швидше за інші країни, високошвидкісні лінії електрифіковані з частотою 25 кВ та напругою 50 Гц. Отже, DeutscheBahn необхідно

¹⁸ ICE 4 (ICx) Hochgeschwindigkeitszüge von Siemens für die Deutschen Bahn AG. URL: <https://www.hochgeschwindigkeitszuege.com/deutschland/icx.php?vorgaengerdir=deutschland>

було вводити в експлуатацію принципово нові типи вагонів, які можуть змінювати системи живлення. Як уже зазначалося, принципово новими в цьому контексті стали потяги ICE 3 та Velaro, які, окрім Німеччини, експлуатуються в Іспанії, Китаї, Росії, Франції, Великій Британії, Швейцарії, Бельгії, Нідерландах та в Туреччині. Ця модель потягів Siemens Valero підтримує чотири різні системи живлення з контактного проводу: 15 кВ з частотою 16 2/3 Гц; 25 кВ із частотою 50 Гц; 1,5 кВ постійного струму та 3 кВ постійного струму.

Недоліки:

– єдиний залізничний оператор та відсутність конкуренції, хоча сьогодні для державної компанії-монополіста у країнах Європи конкуренцію легко може скласти державна компанія-монополіст сусідньої держави;

– особливості електрофікації;

– німецька системи високошвидкісних пасажирських перевезень від початку не створювалась та не запускалась як єдина система;

– з огляду на особливості швидкісних режимів та можливості залізничної високошвидкісної інфраструктури відбувається зниження середньої можливої (320 км/год) швидкості на магістралях країни до середньої реалістичної (16 км/год).

Переваги:

– єдиний залізничний оператор, зменшення складностей у процесі управління розвитком (розширення ТЕН-т та власне HSR);

– застосування технології Powerscar;

– захист вітчизняними компаніями національних інтересів.

Іспанія

Іспанська високошвидкісна залізниця ***Alta Velocidad Española (AVE)***¹⁹ – найпотужніша мережа високошвидкісного руху у Європі, та друга у світі після Китаю. Її протяжність сьогодні становить 2 852 км. Управляючою компанією є державна компанія ***Red Nacional de Ferrocarriles Españoles (RENFE)***, яка з 1 січня 2005 р. була розформована на: агентство з управління інфраструктурою (вокзали, шляхи, сигналізація тощо) та оператора, що

¹⁹ Promociones y ofertas de AVE – Larga Distancia. URL: http://www.renfe.com/EN/viajeros/larga_distancia/productos/index.html

забезпечує перевезення вантажів та пасажирів. Така реструктуризація була впроваджена на вимогу ЄС з метою створення конкурентного ринку перевезень та усунення монопольного становища державних операторів, і таким чином, просування процесу лібералізації залізничних перевезень.

Перша високошвидкісна магістраль була уведена в експлуатацію у 1992 р. і з'єднала Мадрид та Севілью. Після цього розбудова високошвидкісної мережі відбувалася значними темпами, що вимагало і закупівлі рухомого складу²⁰. Якщо німецький Deutsche Bahn надає перевагу вітчизняному виробнику – консорціуму компаній Siemens AG та Bombardier, то RENFE у 1992 р. першою придбала для AVE потяги, спроектовані французькою машинобудівельною компанією Alstom. Ця серія для AVE отримала назву *S-100*, максимальна швидкість її потягів, – 300 км/год, вони складаються з двох потягів та восьми вагонів із загальною тяговою системою. У 2005 р. RENFE вводить в експлуатацію нову серію потягів *S-102*²¹. Вони були розроблені іспанською компанією Talgo у співробітництві з Bombardier. Максимальна швидкість, яку розвивають потяги цієї серії, – 350 км/год, проте максимальна сертифікована швидкість – 330 км/год. Потяг складається із силових машин спереду та потягу із вісьмома двигунами потужністю 1000 кВт іззаду, завдяки чому досягається максимальна швидкість. Однією з особливостей цього потягу стала конструкція носової частини, що має аеродинамічний дизайн, який нагадує дзьоб качки, тому він і отримав символічну назву «Pato» (з іспанської – качка). Ця конструкція зменшує шумове забруднення, що створює опір повітря на високих швидкостях. У 2001 р. RENFE було оголошено тендер на створення нової серії високошвидкісних потягів для AVE. Його виграла німецька компанія Siemens, – поставивши потяги серії ICE 3, які на той час уже перебували в експлуатації Deutsche Bahn. Проте введення потягів у експлуатацію затягнулося через проблеми з постачальниками деталей, які

²⁰ Hochgeschwindigkeitszüge in Spanien. URL: <https://www.hochgeschwindigkeitszuege.com/spanien/spanien.php>

²¹ Very High Speed Talgo 350 Trainset with Series VII cars / TALGO Inc. URL: <https://web.archive.org/web/20101226074426/http://www.talgousa.com/very-high-speed.aspx>

відмовлялися продавати деталі або ліцензії, оскільки ця серія розроблялася Siemens разом з іншими виробниками потягів. Тому Siemens довелося виготовити всі деталі, яких не вистачало, і на цій основі створити повну нову високошвидкісну платформу Velaro²², яка отримала назву AVE S-103 і була уведена в експлуатацію у 2007 р. Основна особливість такого потягу – переміщення тягового обладнання під підлогу, що дозволяє краще використовувати простір. Максимальна сертифікована швидкість потягів цієї серії – 350 км/год. Але, оскільки максимальна швидкість потягів цього класу могла досягати 350 км/год, системи управління потягами та сигналізації не були готові їх обслуговувати. Таким чином максимальна затверджена швидкість становила 310 км/год. У 2010 р. RENFE знову співробітничав з Talgo та Bombardier і в експлуатацію вводяться оновлені «Pato», що отримують назву S-112²³.

Також в Іспанії експлуатуються потяги Alvia та Avant, які також вважаються високошвидкісними. Максимальна швидкість, яку розвивають ці моделі, – 250 км/год, і пов'язано це із тим, що вони курсують на адаптованих під високошвидкісні перевезення коліях. У систему AVE їх не включено, але їх особливістю є те, що відстань між їх колесами може калібруватися із ширини іберійської колії до стандартної європейської.

Слід зазначити, що потяги AVE використовують власну інфраструктуру: вони курсують по магістралях, спеціально збудованих для потреб високошвидкісного руху. Ширина колії, що експлуатується AVE, – стандартна європейська – 1435 мм, тоді як стандартна залізниця Іспанії має іберійське широкополосне калібрування – 1668 мм. Той факт, що AVE використовує власні, а не адаптовані, лінії, дає потягам розвивати максимальну швидкість до 320 км/год, та перетворює систему AVE на найефективнішу в Європі. Проте система AVE вважається інноваційно найрозвиненішою не лише за рахунок швидкостей. Також до переліку переваг необхідно включити «еталонну систему безпеки та орга-

²² First passengers travel on world record train Velaro» (PDF) / Siemens. June 22, 2007. Retrieved January 16, 2009.

²³ AVE High-Speed Train. URL: <https://www.eurail.com/en/get-inspired/trains-europe/high-speed-trains/ave>

нізації в сфері управління рухом». Крім національного оператора управління інфраструктурою (Administrador de Infraestructuras Ferroviarias ADIF), функцію забезпечення безпеки руху, серед інших, також покладено на систему DaVinci вітчизняної розробки²⁴. Вона запрограмована реагувати на швидкість бічного вітру, що для Іспанії є досить вагомим негативним фактором, який впливає на безпеку руху. Коли рівень вітру перевищує відповідну межу, швидкість потягу автоматично знижується. Крім того, у Валенсії було засновано технологічний навчальний центр ADIF²⁵ із підготовки фахівців із проєктування та будівництва, технічного обслуговування, а також телекомунікацій та інформаційного забезпечення системи AVE.

Типовою ситуацією для всіх країн, які впроваджують ВШМ, є те, що високошвидкісні магістралі становлять жорстку конкуренцію внутрішнім авіаперевізникам, тоді як реальними конкурентами ВШМ є автобуси. Компактна територія Іспанії та досконалі автобуси дають можливість прокладати будь-які автобусні маршрути, що поєднують не лише міста Іспанії, а й також іспанські міста з містами-сусідами у Португалії та Франції²⁶.

Отже, у найближчому майбутньому економічна боротьба за кожного пасажера між авіа-, автомобільним компаніями та залізничними перевізниками лише загостриться²⁷.

Недоліки:

– ще й досі не впроваджено європейські системи управління високошвидкісним рухом ETCS3, що гальмує збільшення швидкостей в деяких моделях AVE.

Переваги:

– значно розвиненіші інтелектуальні системи управління рухом та керування власною залізничною інфраструктурою;

²⁴ Ministerio de de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana. URL: adif.es

²⁵ Behind the scenes: Spain's high-speed railway. URL: <https://www.railway-technology.com/features/spain-ave-rail/>

²⁶ Atlas. High speed rail in Spain. URL: <http://www.ave-altavelocidad.es/Atlas/AtlasAV.pdf>

²⁷ AVE Trains in Spain. URL: <https://www.tripsavvy.com/ave-trains-in-spain-1644596>

– власний освітній центр із підготовки фахівців відповідного профілю;

– високошвидкісні мережі не мають трансграничних перепон ані у сфері електрифікації, ані щодо калібровки залізничної мережі (на відміну від внутрішніх іспанських ліній).

Італія

Італійська державна залізниця Ferrovie dello Stato (FS) має значний досвід щодо розбудови високошвидкісної залізничної мережі, оскільки будівництво транзитної лінії між Римом та Неаполем розпочалося ще у 1914 р. Ця мережа отримала назву «Direttissima» – дуже пряма. Колію було введено в експлуатацію у 1927 р., проте виробництво високошвидкісних потягів значно відставало від розбудови інфраструктури. Друга світова війна, де Італія була одним із основних фігурантів, знівельовала здобутки у цій сфері. Згодом колію було оновлено та продовжено до Флоренції. Другий маршрут, запланований FS, мав з'єднати Турин із Венецією через Мілан, його будівництво розпочалося ще у 1970 р., проте цей проєкт занадто капіталомісткий і будівництво завершено ще не на всіх ділянках маршруту²⁸.

Загальна протяжність високошвидкісної магістралі Італії досить незначна, порівняно з іншими країнами Європи, що позиціонуються як лідери у впровадженні цього виду перевезень пасажирів, – 896 км. У планах Ferrovie dello Stato зазначено розбудову мережі ще на 53 км.

Отже, сьогодні в Італії функціонує дві високошвидкісні магістралі, перевезенням пасажирів на яких займається державна компанія Trenitalia – основний залізничний оператор Італії, який належить FS та італійському уряду. Вона була заснована на початку 2000-х років. Другим гравцем на ринку високошвидкісних пасажирських перевезень в Італії є перший приватний залізничний оператор Nuovo Trasporto Viaggiatori NTV-Italo²⁹. Уведення на ринок приватного перевізника стало результатом лібералізації

²⁸ Hochgeschwindigkeitszüge in Italien. URL: <https://www.hochgeschwindigkeitszuege.com/italien/italien.php>

²⁹ Open Access High Speed Rail In Italy: The Success Story of NTV's Italo. URL: <https://www.pareto-design.com/open-access-high-speed-rail-in-italy-the-success-story-of-ntvs-italo/>

залізничної галузі Італії, керівництво якої, на відміну від інших країн Європи, не лише розформувало єдиного державного оператора залізниць на компанію, що займається управлінням інфраструктурою, та компанію, що надає послуги із перевезення пасажирів та вантажів, а й підтримало уведення приватного гравця на ринок³⁰.

Рухомий склад італійських компаній Trenitalia та Italo представлений декількома типами потягів. Так, у 1983 р. Ferrovie dello Stato у консорціумі компаній під загальною назвою TREVI (TRENolo Veloce Italiano, «Італійський Fast Train»), які утворились із Breda Costuzioni Ferroviarie, FIAT Ferroviaria, Tecnomasio та Firema Trasporti, було замовлено високошвидкісний потяг *ETR 500*. Його особливістю мав стати розвиток максимальної швидкості до 300 км/год. Було розроблено декілька прототипів, і нарешті у період 1992–1999 рр. цей потяг було уведено в експлуатацію. Він складається з двох силових потягів, між яким містяться одинадцять вагонів. У процесі випробувань було з'ясовано, що напруга 3 кВ, що застосовувалася на італійських ВШМ, недостатня для того, аби розігнати потяг до 300 км/год, і для мережевої напруги для майбутніх нових треків було запропоновано обрати напругу у 25 кВ та 50 Гц. Наразі ці потяги належать компанії Trenitalia. У 2004 р. FS замовило у Alstom потяг Pendolino моделі *ETR 610* із технологією нахилу. Ці потяги відповідають новій європейській директиві про сумісництво TSI, що сприяє транскордонному руху. Окрім того, потяги цієї моделі можуть буди адаптовані до різних вимог, а саме: до зміни ширини колії, зміни типу електроживлення, невикористання техніки нахилу. Вже у 2005 р. Trenitalia замовила нову модель потягу Pendolino *ETR 600*. 14 потягів були побудовані компанією Alstom. Вони можуть розвивати швидкість 250 км/год. Потяги цієї моделі курсують на традиційних треках³¹. У 2008 р. розпочато роботи із проектування нового замовлення Trenitalia *ETR 1000*. У розробках взяли участь італійський виробник залізничних

³⁰ High Speed Rail Competition in Italy. A Major Railway Reform with a “Win-Win Game”? URL: <https://www.itf-oecd.org/sites/default/files/docs/high-speed-rail-competition-italy.pdf>

³¹ Hochgeschwindigkeitszüge in Italien. URL: <https://www.hochgeschwindigkeitszuege.com/italien/italien.php>

транспортних засобів Hitachi Rail Italy SpA та міжнаціональна компанія Bombardier Transportation. Так, у 2010 р., після низки запропонованих варіантів, було схвалено ETR 1000. На той час це був найшвидший потяг у Європі, його середня швидкість становила 300 км/год, тоді як максимальна – 400 км/год³². Приватна компанія Italo обрала потяги французького виробництва компанії TGV Alstom моделі AGV575 без технології нахилу. Максимальна швидкість, яку розвиває ця модель, становить 360 км/год. Потяги цієї компанії були запущені у 2012 р.³³.

Усі італійські високошвидкісні магістралі сьогодні мають сертифікацію залізниць, встановлену на максимальну швидкість, не вищу за 300 км/год.

Недоліки:

невелика протяжність мережі та, серед запланованих проєктів, також – лише 53 км.

Переваги:

– розбудова мережі здійснюється в рамках ТЕН-Т (продовження пан-альпійського коридору через порт Генуя);

– справжня лібералізація ринку високошвидкісних залізничних перевезень, уведення приватного гравця на ринок, конкуренція на цьому ринку дала слабо динамічному ринку залізничних перевезень змогу вийти в лідери та скласти конкуренцію авіаперевізникам Італії³⁴.

Китай

Високошвидкісна залізнична мережа Китаю є найбільшою у світі за всіма показниками – протяжністю, швидкістю, кількістю маршрутів, щільністю мережі. Це обумовлено декількома причинами, а саме: густотою населення, великою площею країни, стрімко зростаючою економікою, політичним устроєм країни та

³² Brochure frecciarossa 1000 interno#lago. URL: http://www.fsnews.it/cms-file/allegati/fsnews/Brochure_interno.pdf

³³ AGV für die italienische Bahngesellschaft NTV. URL: <https://www.hochgeschwindigkeitszuege.com/italien/agv-italien.php?vorgaengerdir=italien>

³⁴ High Speed Rail Competition in Italy. A Major Railway Reform with a “Win-Win Game”? URL: <https://www.itf-oecd.org/sites/default/files/docs/high-speed-rail-competition-italy.pdf>

тим, що понад 50% населення проживає у містах (прогнозується, що до 2034 р. це становитиме 75% населення Китаю). Тож сьогодні китайська високошвидкісна мережа – це 26 869 км маршрутів, із швидкісним режимом до 350 км/год.

Слід зазначити, що такі темпи розширення мережі обумовлені також зростанням пасажиропотоків, так, із 2003 р. обсяги перевезення пасажирів китайською високошвидкісною залізницею зростають у середньому на 30% щороку, досягнувши 1,44 млрд пасажирів у 2016 р., що у чотири рази більше, ніж обсяги перевезення пасажирів HSR у Японії, в дев'ять разів цей показник вищий, ніж у Франції та загалом вищий, ніж показник із обсягів перевезення внутрішнім авіаційним транспортом у Північній Америці³⁵.

Сьогодні мережу високошвидкісних залізниць Китаю становлять із восьми поздовжніх та восьми поперечних головних високошвидкісних залізничних маршрутів, що складаються із регіональних пов'язаних ліній і міжміських пасажирських ліній, експлуатацію та обслуговування яких здійснює Китайська залізнична корпорація – China Railway High-Speed (CRH) – під керівництвом Міністерства залізниць.

У кінці 1980-х років Міністерством залізниць Китаю було прийнято рішення про розвиток швидкісної залізниці із швидкісними режимами до 160 км/год, цей процес став підґрунтям для розвитку високошвидкісних залізниць у майбутньому. Так, будівництво першої високошвидкісної пасажирської лінії «Ціншен» було розпочато у 1999 р. а вже у 2003 р. її узяли в експлуатацію.

2008 р. ознаменувався великомасштабним будівництвом по всій території Північно-Східного Китаю, коли HSR було поєднано Бохайвань, міську агломерацію дельти річки Янцзи, міську агломерацію дельти річки Чжуцзян, Чанша – Чжучжоу – Сянтань, Ухань, Ченду – Чунцин, Чжун'юань, Гуаньчжун, міську агломерацію західного берега Тайванської протоки тощо. Глобальне будівництво продовжується у 2010 р. і в 2011 р., коли було відкрито

³⁵ Godfree Roberts. How does China's economy work with 5 year plans? Quora. URL: <https://www.quora.com/How-does-Chinas-economy-work-with-5-year-plans>

HSR Пекін – Шанхай, яка є дуже важливим кроком для розвитку високошвидкісних залізничних магістралей Китаю, оскільки становить одну із головних маршрутів протяжністю 1318 км. Однак у липні 2011 р. швидкісний режим китайських експресів було знижено з 350 км/год до 300 км/год, і причиною цього стала Чжецзяньська катастрофа. Ця причина, а також великий корупційний скандал у міністерстві залізниць, пов'язаний із розкрадання коштів, призупинили процес проектування та будівництва нових HSR, у цей період було приділено увагу перевірці безпеки та стану мережі. Однак уже із 2012 р. розпочався другий масштабний етап розбудови китайської мережі високошвидкісних залізниць, який продовжується і до сьогодні. Так у 2016 р. урядом було ухвалено «Середньостроковий та довгостроковий план розширення залізничної мережі КНР», у тому числі й високошвидкісної. Так, заплановано зростання мережі HSR до 30 000 км на період до 2020 р., охоплення якої сягне 80% великих міст Китаю, а до 2025 р. планується, що її протяжність становитиме 38 000 км³⁶.

З 2004 р. Китай імпортував потяги для своїх високошвидкісних систем: Shinkansen – японської компанії «Kawasaki Heavy Industries», Velaro – німецької компанії «Siemens AG», Regina та Zefiro – канадської компанії «Bombardier Inc.», а також Pendolino – французької компанії «Alstom». Так, у Китаї почався період освоєння передових світових технологій, який сприяв перетворенню цих розробок у власні, що, також через кілька років, досягли успіхів та світового рівня якості. У 2005 р. більшість потягів було побудовано за ліцензією, проте, завдяки передачі технологій, китайці тепер володіють достатніми знаннями для створення своїх високошвидкісних потягів.

Сьогодні усі високошвидкісні потяги китайського виробництва побудовані з іноземними ноу-хау, серія потягів CRH380A – це потяги внутрішньо китайського виробництва, але все ще за підтримки і з елементами перепрограмування компонентів із-за кордону. Проте із серій CR400A і CR400B Китай розпочав випуск своїх перших високошвидкісних поїздів, які почали регулярне

³⁶ Ци Сунь. Развитие высокоскоростных железнодорожных магистралей в Китае и его влияние на туризм. 2017. URL: <http://elar.urfu.ru/handle/10995/56069>

обслуговування у кінці червня 2017 р. Як і очікувалося, Китай хоче використовувати свої високошвидкісні потяги, щоб виступати як глобальний гравець на світовому ринку і конкурувати з ustalеними гравцями³⁷.

Переваги:

- стрімке нарощування мережі HSR;
- централізоване управління реалізацією проєктів;
- стандартизація будівництва;
- великі масштаби будівництва;
- густота населення.

Недоліки:

- нарощування внутрішньокорпоративного боргу China Railway.

Тайвань

У Тайвані працює одна лінія ВШМ – довжиною 345 км, побудована у 2007 р., яка використовує японські поїзди. Після побудови ВШМ відбувся перерозподіл пасажиропотоків з авіаційного транспорту на тих маршрутах, що дублювали лінії ВШМ, а також скоротилися перевезення автомобільним транспортом.

Корея

У Південній Кореї частка ринку високошвидкісних перевезень становить 57% стосовно до інших видів транспорту.

США

Швидкісний рух у США було відкрито у 2000 р. До цього часу США орієнтувалися виключно на авіаперевезення і розгалужену мережу автодоріг.

Сполучені Штати мають внутрішні визначення для високошвидкісних залізниць, які варіюються між юрисдикціями. Так, згідно із Кодексом США, високошвидкісними вважаються перевезення понад 201 км/год. Федеральна адміністрація залізничного транспорту застосовує показник 180 км/год і вищий. Дослідницька служба Конгресу США використовує терміни «швидкісні перевезення» – 240 км/год та «високошвидкісні перевезення» – понад 240 км/год.

На сьогодні у США побудована одна високошвидкісна магістраль. Поїзди працюють на північному сході США від Вашинг-

³⁷ Hochgeschwindigkeitszüge in China. hochgeschwindigkeitszuege. URL: <https://www.hochgeschwindigkeitszuege.com/china/china.php>

тона через Балтімор, Філадельфію та Нью-Йорк до Бостона, долаючи шлях у 734 км за 6 годин 38 хв.

На території США працює лише один високошвидкісний поїзд Acela Express, який належить фірмі Amtrak виробництва Alstom та Bombardier, хоча він використовує лише систему двигунів TGV (цей потяг розроблено спеціально для Америки). Його максимальна швидкість становить 240 км/год. Поїзд використовується на звичайних лініях, через що він, за обладнання засобами для нахилу кузова, може краще вписуватися на високій швидкості у криві малого радіуса.

Поїзд становить серйозну конкуренцію літакам. Так, на частку «Acela Express» припадає близько половини всього пасажиропотоку між Вашингтоном і Нью-Йорком, а також 37% пасажиропотоку між Нью-Йорком і Бостоном. У середньому ж за рік високошвидкісні поїзди «Acela» перевозять близько 3 млн пасажирів.

Велика Британія

Сполучення Eurostar відкрилося в 1994 р., з'єднавши континентальну Європу з Лондоном через Євротунель. Ця лінія частково використовує LGV Північна Європа у Франції. Перший етап будівництва швидкісної лінії у Великій Британії було завершено у 2003 р., а другий – у 2007 р. Тепер найшвидші поїзди проходять маршрут від Лондона до Парижа усього за 2 год 15 хв, а маршрут Лондон – Брюссель – за 1 год 51 хв.

Вантажні високошвидкісні перевезення.

У світі дуже мало високошвидкісних вантажних перевезень. Усі швидкісні поїзди призначені для перевезення пасажирів, тому для вантажних перевезень використовують поїзди, що спочатку були призначені для перевезення пасажирів.

Французький TGV La Poste довгий час був єдиним високошвидкісним поїздом, який перевозив пошту до Франції для La Poste, з максимальною швидкістю 270 км/год – між 1984 р. та 2015 р.

Восени 2018 р. дочірня компанія FS Group із перевезень вантажів Mercitalia запустила свою першу послугу високошвидкісних перевезень вантажів. Послуга Mercitalia Fast призначена для задоволення потреб компаній експрес-кур'єрів, логістичних операторів, виробників і дистриб'юторів.

Керований переобладнаним поїздом ETR500, нічний сервіс Mercitalia Fast поставлятиме експрес-посилки та преміальні вантажі між терміналом Маддалон – Марціаніз близько Казерти та Болонья Інтерпорт, використовуючи високошвидкісну лінію північ–південь країни. При середній швидкості руху поїзда 180 км/год час у дорозі становитиме всього 3 год 30 хв.

Поїзд пристосований для перевезення каркасів ємністю 1 кв. м із корисним навантаженням 220 кг, що зробить навантаження і розвантаження швидким, ефективним та безпечним. Він становить 12 вагонів, здатних перевозити еквівалент 18 зчленованих вантажівок або два вантажних судна Boeing 747. Як очікується, щоденний потяг дозволить розвантажити головну автомагістраль А1 з півночі на південь приблизно на 9 000 вантажних автомобілів на рік, скоротивши викиди CO₂ на 80%. порівняно з автоперевезеннями³⁸.

У Китаї використовують високошвидкісні лінії для перевезення вантажів, але при цьому швидкісні перевезення становлять від 200 до 250 км/год, тоді як лінії, що перевозять пасажирів, працюють на швидкості понад 300 км/год³⁹.

У Німеччині також використовують високошвидкісні лінії для вантажних перевезень уночі.

Загальна характеристика розвитку HSR у світі

Зважаючи на аналіз розвитку високошвидкісного руху в світі, варто зазначити, що *глобальна високошвидкісна мережа не є однорідною з точки зору швидкості*. Це означає, що не всі високошвидкісні лінії працюють з однаковою швидкістю, що пов'язане, *по-перше*, із тим, що існує невідповідність між розрахунковою і робочою швидкостями. Найновіші лінії розраховані на швидкість 350 км/год (і навіть 400 км/год), тобто інфраструктура може витримати таку швидкість, однак максимальна комерційна швидкість найчастіше нижча за розрахункову швидкість, оскільки рухомий склад для неї не підходить. *По-друге*, деякі лінії

³⁸ Mercitalia launches high speed freight service. URL: <https://www.railwaygazette.com/news/high-speed/single-view/view/mercitalia-launches-high-speed-freight-service.html>

³⁹ Anderlini Jamil. China on track to be world's biggest network. *Financial Times*. Retrieved 12 April 2010.

Розвиток економічних та науково-технічних основ транспорту...

призначені для швидкостей, нижчих за 250 км/год. Причинами цього можуть бути змішані вантажо-пасажирські перевезення, що зменшують максимальну швидкість та знижують пропускну здатність лінії.

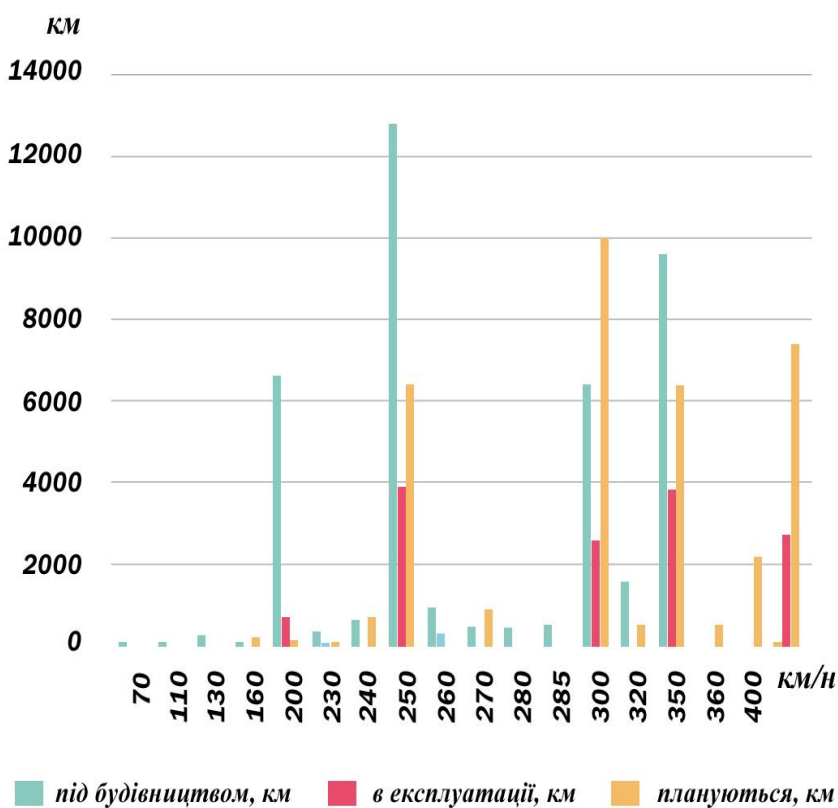


Рис. 1.3. Мережа високошвидкісних залізниць у світі на 2018 р.

Джерело: UIS⁴⁰.

Країни, де запроваджено високошвидкісний рух, представлено в табл. 1.2.

Таблиця 1.2

⁴⁰ High speed rail / UIC. URL: https://uic.org/IMG/pdf/uic_high_speed_2018_ph08_web.pdf

Характеристика високошвидкісних залізничних магістралей

	Країна	Довжина діючої колії, км	У процесі будівництва, км	Щільність мережі, м/км ²	Макс. швидкість км/год	Електрифікація	Колія
1	Китай	25000	16155	2,61	350	25 кВ 50 Гц	1435
2	Японія**	2765	681	8,18	320	25 кВ 50 Гц 25 кВ 60 Гц	1435
3	Південна Корея*, **, ***	1104,5	376	10,46	305	25 кВ 50 Гц	1435
4	Тайвань**	345	0	9,37	300	25 кВ 60 Гц	1435
5	Турція**	802	1208	0,95	300	25 кВ 50 Гц	1435
6	Австрія*	352	208	3,48	250	15 кВ 16,7 Гц	1435
7	Бельгія**	326	0	5,29	300	25 кВ 50 Гц	1435
8	Франція*, **	3220,2	125	5,84	320	25 кВ 50 Гц	1435
9	Німеччина*, **	3038	330	8,51	300	15 кВ 16,7 Гц	1435
10	Італія**	999	116	4,48	300	3 кВ постійного струму 15 кВ 16,7 Гц змінного струму	1435
11	Польща*	143	322	0,43	200	3 кВ постійного струму	1435
12	Іспанія**	3100	1800	6,13	310	25 кВ 50 Гц	1435
13	Швейцарія	92	23	1,94	250	15 кВ 16,7 Гц	1435
14	Нідерланди**	175	0	4,18	300	15 кВ, 25 кВ 50 Гц змінного струму	1435
15	Велика Британія*, **	1377	230	5,67	300	25 кВ 50 Гц	1435
16	США*, **, **	54,6	160	0,01	240	12 кВ 25 Гц 12 кВ 60 Гц 25 кВ 60 Гц	1435
17	Швеція	1706	0	3,79	205	15 кВ 16,7 Гц	1435
18	Росія*	845	0	0,04	250	3 кВ постійного струму	+1520
19	Узбекистан*	741	0	0,77	250	25 кВ 50 Гц	+1520
20	Фінляндія***, *	609,5	95	1,8	220	25 кВ 50 Гц	1524
21	Норвегія	64	54	0,2	210	15 кВ 16,7 Гц	1435
22	Данія	5	60	0,12	200	25 кВ 50 Гц	1435

* Класична та модернізована лінія.

** Виділена високошвидкісна лінія.

*** Нова основна лінія.

Джерело: узагальнено Чмирьовою Л.Ю. на основі⁴¹.

⁴¹ List of high-speed railway lines. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_high-speed_railway_lines

Розвиток економічних та науково-технічних основ транспорту...

МСЗ окремо виділяють статистику ліній, або ділянок ліній, яких коли б експлуатаційна швидкість дорівнювала би або була вища за 250 км/год за країнами. Станом на червень 2018 р. таких країн було 16 (табл. 1.3)

Таблиця 1.3

Експлуатаційна швидкість залізничних ліній, швидкість на яких дорівнювала би або була вища за 250 км/год за країнами

Регіон	Країна	Довжина ліній, км				Усього
		В експлуатації	У процесі будівництва	Планується	Довгострокове планування	
1	2	3	4	5	6	7
Азія	Бахрейн та Катар	-	-	-	180	180
Азія	Китай (пасажирські лінії)	26,869	10,738	1,268	257	39,132
Азія	Індія	-	-	508	4,126	4,634
Азія	Індонезія	-	-	712	-	712
Азія	Іран	-	-	1,351	1,499	2,850
Азія	Ізраїль	-	-	85	-	85
Азія	Японія (система Сінкансен)	3,041	402	194	-	3,637
Азія	Казахстан	-	-	-	1,011	1,011
Азія	Малайзія та Сингапур	-	-	350	-	350
Азія	Саудівська Аравія	-	453	-	-	453
Азія	Південна Корея	887	-	49	-	936
Азія	Тайвань – Китай	354	-	-	-	354
Азія	Тайланд	-	-	615	2,262	2,877
Азія	Турція	724	1,395	1,127	3,447	6,693
Азія	В'єтнам	-	-	-	1,600	1,600
Європа	Австрія	268	281	71	-	620
Європа	Бельгія	209	-	-	-	209
Європа	Чехія	-	-	-	810	810
Європа	Данія	-	56	-	-	56
Європа	Естонія, Латвія, Литва (Балтійська залізниця)	-	-	-	740	740
Європа	Франція	2,814	-	-	1,713	4,527
Європа	Німеччина	1,658	185	-	210	2,053
Європа	Італія	896	53	-	152	1,101
Європа	Норвегія	-	-	-	333	333
Європа	Польща	224	-	484	598	1,306
Європа	Португалія	-	-	-	596	596
Європа	Росія	-	-	770	2,208	2,978
Європа	Іспанія	2,852	904	1,061	-	4,817

Розділ 1. Глобальні тенденції, виклики та перспективи...

Закінчення табл. 1.3.

1	2	3	4	5	6	7
Європа	Швеція	-	11	-	739	750
Європа	Швейцарія	144	15	-	-	159
Європа	Нідерланди	120	-	-	-	120
Європа	Велика Британія	113	230	320	-	663
Інші	Австралія	-	-	-	1,749	1,749
Інші	Бразилія	-	-	-	511	511
Інші	Канада	-	-	-	290	290
Інші	Єгипет	-	-	-	1,210	1,210
Інші	Мексика	-	-	-	210	210
Інші	Марокко	-	200	-	1,114	1,314
Інші	Південна Африка	-	-	-	2,390	2,390
Інші	США	735	192	1,710	449	3,086
Азія (17)		31,875	12,988	6,259	14,382	65,504
Європа (19)		9,298	1,735	2,706	8,099	21,838
Інші країни (8)		735	392	1,710	7,925	10,760
Усього (44)		41,908	15,115	10,675	30,404	98,102

* *В експлуатації*: працюючі високошвидкісні лінії.

У процесі будівництва: наразі будуються високошвидкісні лінії.

Планується: затверджене, але не розпочате будівництво.

Довгострокове планування: не затверджене, просто заплановане.

Джерело: узагальнено Чмирьовою Л.Ю. на основі UIS⁴².

Із табл. 1.2 та рис. 1.4 видно, що більшість країн мають різні параметри систем електрифікації, що особливо відчутно для країн Європи. Відмінності в інфраструктурі країн Європи створюють значні проблеми в розвитку єдиної європейської залізничної мережі, викликають великі затримки поїздів, знижуючи швидкість доставки пасажирів і вантажів, чим і послаблюють позиції залізниць на ринку транспортних послуг. Подібна ситуація склалася через те, що національні залізниці, які функціонували раніше незалежно, стали потенційними конкурентами в міжнародному масштабі. Тому створені в різний час технічні системи (зокрема тягового електропостачання) мали істотні відмінності, що викликало різноманіття залізничних систем у європейських країнах і використовуваних на континенті систем електропостачання.

⁴² High speed. URL: <https://uic.org/highspeed>

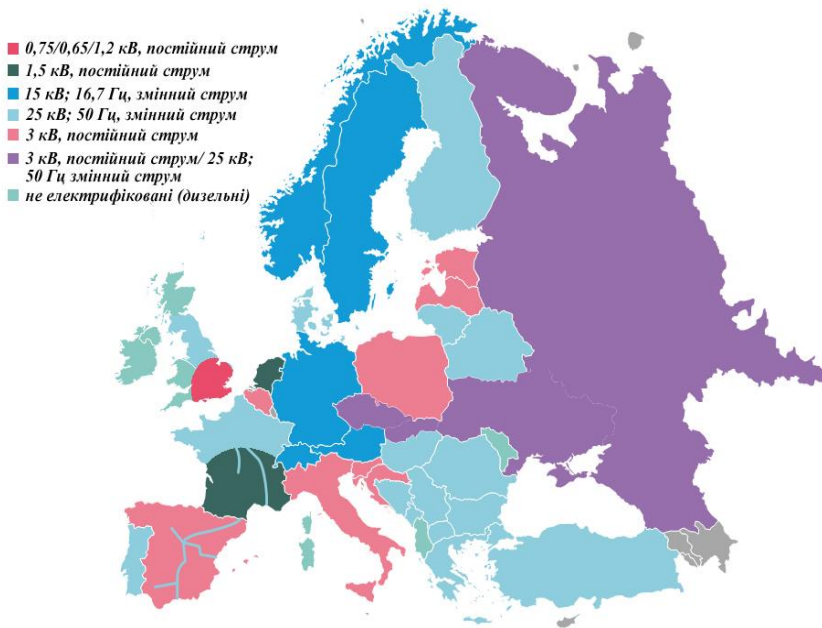


Рис. 1.4. Системи електрифікації залізниць Європи

Джерело: UIS⁴³.

Тож, у Центральній та Північній Європі домінує система змінного струму напругою 15 кВ і частотою 16,7 Гц. У Португалії, Данії, Фінляндії, у більшості східноєвропейських країн, а також на півночі Великої Британії, Франції, Іспанії та Бельгії застосовується система електропостачання змінного струму напругою 25 кВ і частотою 50 Гц. Вона виникла пізніше за інші системи і тому отримала основне поширення на нових або раніше не електрифікованих залізницях. В Італії, Польщі, на півночі Чехії та Словаччини основною є система постійного струму напругою 3 кВ. Наявність такої великої кількості систем тягового електропостачання значною мірою ускладнює інтеграційні процеси, що відбуваються на залізничній мережі Європейського континенту⁴⁴.

⁴³ Rolling stock / UIC. URL: https://uic.org/IMG/pdf/uic_high_speed_2018_ph08_web.pdf

⁴⁴ Сиченко В. Електропостачання швидкісних та високошвидкісних магістралей. *Українські залізници*. 2015. № 56 (2324). С. 32–39.

Аналіз довжини високошвидкісних перевезень показує тенденції до збільшення в основному за рахунок великих обсягів будівництва в Азії, зокрема у Китаї (рис.1.5).

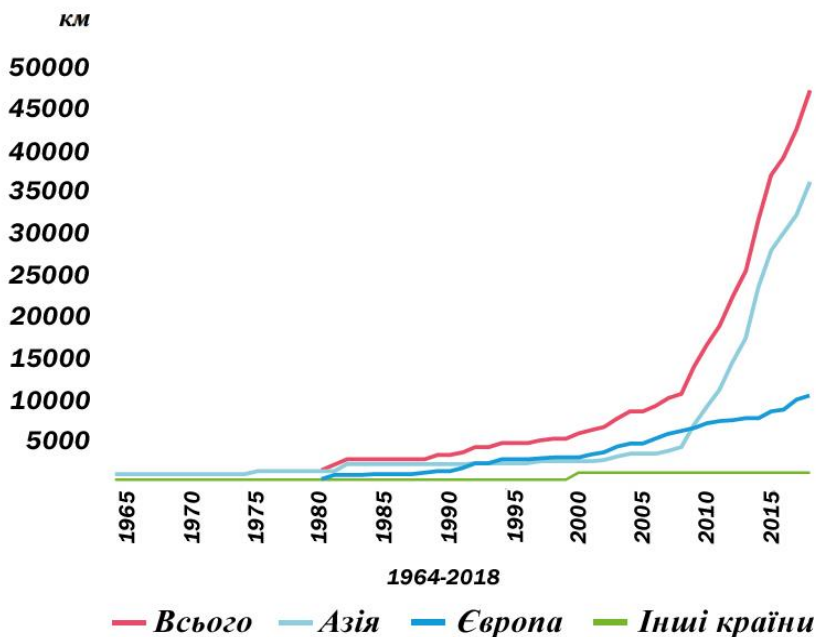


Рис. 1.5. Довжина мережі високошвидкісної залізниці в світі
Джерело: UIS⁴⁵.

Швидке зростання мережі в Китаї доводить, що цей вид транспорту є економічно вигідним для густонаселених регіонів, проте не є транспортом для заможних верств населення.

У Європі ж, попри постійне зростання мережі високошвидкісних перевезень, цей процес відбувається досить повільно. Незважаючи на те, що з 2000 р. ЄС інвестував 23,7 млрд євро у високошвидкісну залізничну інфраструктуру, не існує реалістичного довгострокового плану ЄС щодо високошвидкісних залізниць. Наразі немає єдиної європейської високошвидкісної залізничної мережі. Існують розриви між національними лініями, так зване «клаптеве шиття», які не мають між собою належного зв'язку. При цьому у Євро-

⁴⁵ Fast track to sustainable mobility / UIC. URL: https://uic.org/IMG/pdf/uic_high_speed_2018_ph08_web.pdf

Розвиток економічних та науково-технічних основ транспорту...

пейської Комісії немає правових інструментів і повноважень для того, щоб змусити держави-члени будувати лінії за спільними стандартами.

Також у світі спостерігається тенденція до швидкого зростання показників пасажирообігу (табл. 1.4) та обсягів перевезень високошвидкісною залізницею. За показником пасажирообігу Китай також посідає лідерство у світі.

Таблиця 1.4

Високошвидкісний пасажирообіг у світі,

пас. км, млрд

Країна	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Китай (China Railway):2016	46,3	105,8	144,6	214,1	282,5	386,3	464,1
Japan (JR group):2016	76,9	79,6	84,2	87,4	89,2	97,4	98,6
Korea (Korail):2016	11,0	13,6	14,1	14,5	14,4	15,1	16,3
Taiwan (Taiwan High Speed Rail Corp.):2016	7,5	8,1	8,6	8,6	8,6	9,7	10,5
France (SNCF):2016	51,9	52,0	51,1	50,8	50,7	50,0	49,1
Germany (DB AG):2016	23,9	23,3	24,8	25,2	24,3	25,3	27,2
Spain (Renfe Operadora):2016	11,7	11,2	11,2	12,7	12,8	14,1	15,1
Italy (Trenitalia):2013	11,6	12,3	12,3	12,8	12,8	12,8	12,8
Other European Companies	7,3	10,5	14,8	15,2	18,2	20,0	22,0
Total	248,2	316,6	365,7	441,3	513,5	630,6	715,7

Джерело: узагальнено Чмирьовою Л.Ю. на основі UIS⁴⁶.

⁴⁶ Railway Handbook 2017. URL: https://uic.org/IMG/pdf/high_speed_passenger-km_20171130_.pdf

З європейських країн найбільші обсяги пасажирообігу демонструють французькі залізниці (7%) (рис. 1.6). Що ж стосується найбільш завантажених напрямків у світі, то це високошвидкісні лінії між Токіо та Осакою (Японія) та між Парижем та Ліоном (Франція).

Тож ми бачимо, що поїздки високошвидкісною залізницею більш конкурентоспроможні у районах з більш високою щільністю населення або там, де дорого коштують пально-мастильні матеріали.

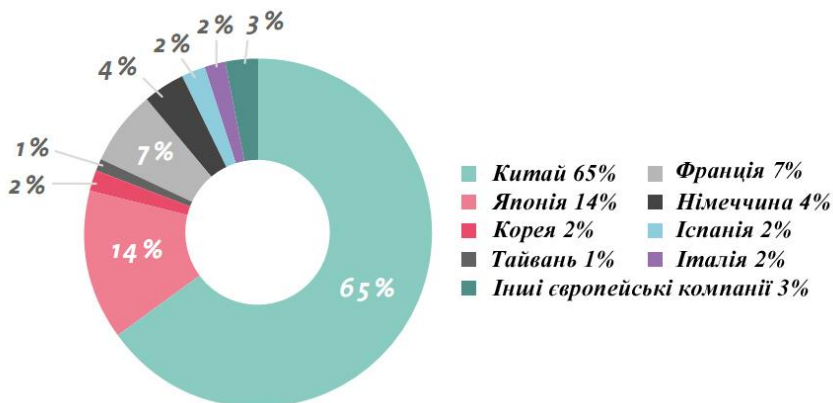


Рис. 1.6. Розподіл ринку високошвидкісного руху у 2016 р., пас.км

Джерело: UIS⁴⁷.

В Європі активно відбувається процес лібералізації залізничних послуг, що створює внутрішньодержавну конкуренцію. Наприклад, в Італії, поряд із діючою високошвидкісною залізницею (TRENITALIA) почав діяти новий оператор NTV (Nuovo Trasporto Viaggiatori), що знизило ціну на високошвидкісні перевезення на 30%, збільшило обсяг перевезень та сприяло оновленню рухомого складу. Аналогічна ситуація відбувається в Південній Кореї, що тільки починає процес лібералізації високошвидкісного руху. Конкуренцію в Південній Кореї становлять діючий залізничний оператор KORAIL та нова компанія SRT, акції якої частково (41%)

⁴⁷ Commercial appeal of High Speed Rail / UIC. URL: https://uic.org/IMG/pdf/uic_high_speed_2018_ph08_web.pdf

належать Korail. У 2017 р. Korail та SRT перевозили відповідно близько 60 та 19 млн пасажирів у високошвидкісному сполученні. Такі країни Азії, як Китай та Японія, не допускають конкуренції на своєму ринку.

Тож можна зазначити, що станом на 2018 р., такі країни, як Бельгія, Нідерланди та Тайвань, уже повністю використали можливості розширення своєї високошвидкісної мережі, тоді як Іспанія, Італія, Франція, Німеччина та Японія продовжують розвиток, хоча основна частина мережі вже сформована. Такі країни, як Велика Британія, Південна Корея та Китай, мають амбітні плани щодо розширення мережі HSR, а в деяких країнах, таких як Саудівська Аравія, Марокко, США та Росія, процес уведення швидкісного руху тільки розпочато. Нарешті, деякі країни Східної Європи і Азії тільки планують впровадити високошвидкісну залізницю в майбутньому.

1.3. Загальна характеристика розвитку електромобілів та безпілотників у світі та в Україні⁴⁸

До сьогодні залізничні перевезення вважалися найбільш безпечними та екологічно чистими, але сьогодні електромобілі та безпілотники також долучаються до цього процесу. Використання електромобіля передбачає нульові викиди в атмосферу, що є основною перевагою з огляду на глобальне потепління, яке дедалі більше негативно впливає на планету.

Зважаючи на той факт, що рівень автомобілізації у світі продовжує збільшуватись, при оцінці інноваційних видів транспорту неможливо обійти електромобілі та безпілотники.

Електромобілі

Транспортна галузь повинна орієнтуватися на передові технології, з огляду на екологічні вимоги, джерела енергії, вимоги до безпеки. Найбільш перспективною інновацією при вирішенні питань створення енергоефективних та екологічно безпечних автомобільних транспортних засобів є новітні технології електричного та гібридного приводу.

⁴⁸ Підрозділ 1.3 підготовлено за участю Л.Ю. Чмирьової.

Коефіцієнт корисної дії сучасних електричних двигунів сягає 95% (для порівняння, ККД бензинового двигуна в оптимальному режимі не перевищує 30%, дизельного – 40%, паливних елементів на водні – 60%). Транспортні засоби з електричною тягою не створюють шкідливих викидів в атмосферу.

Перспективи зростання попиту на електромобілі залежать від можливостей якісного стрибка характеристик акумуляторних літій-іонних батарей збільшення їх ємності, прискорення зарядки, здешевлення виробництва (вартість акумуляторів становить половину вартості автомобіля), більшої безпечності та довговічності, а також їх заміни. За дослідженнями Bloomberg New Energy Finance, до 2030 р. вартість акумуляторів для електромобілів може зменшитись на 77% завдяки активному розвитку цього сегмента, розробці нових технологій (у технології постійно відбуваються прориви щодо вартості та ємності акумуляторів) і великому обсягу виробництва (наразі спостерігається бум щодо будівництва заводів з виробництва акумуляторів для електромобілів: кілька заводів буде побудовано в Європі, як мінімум, два – у США, дев'ять – у Китаї). Так, через зростання виробництва літій-іонних акумуляторів ціна на батареї електрокара знизиться до 70 дол. за квт-год до 2030 р. 2017 р. акумуляторні батареї коштували й середньому близько 208 дол. за квт-год⁴⁹. Очікується, що до 2021 р. собівартість однієї квт-год батареї має зменшитись з нинішніх 542 до 139 дол. США. Електрокари можуть стати дешевшими, ніж автомобілі на бензині, вже після 2025 р.⁵⁰, коли ціни на них можуть становити менше 30 тис. дол. США, а ціни на бензинові авто зростуть через більш жорстку регуляторну екологічну політику (рис. 1.7).

Необхідно зазначити, що продажі електрокарів на світовому ринку розпочато у 2009 р. марками Mitsubishi i-MiEV family та у 2010 р. Nissan Leaf. У 2015 р. у США випустили 17 млн нових автомобілів, із них електрокарів – лише 115 тис., менше ніж 1%. У

⁴⁹ Електрокарів все більше: як українці пересідають на сучасні авто. URL: <https://ukr.segodnya.ua/economics/avto/besplatnaya-rastamozhka-ezhednevno-v-ukraine-registriruyut-20-elektrokarov--1171961.html>

⁵⁰ Повідомили, коли електрокар стане дешевшим, ніж авто на бензині. URL: <http://mmr.net.ua/autoworld/news/46389>

2016 р. продажі нових електромобілів в Європі зросли на 5% і становили 102,6 тис. шт.⁵¹.

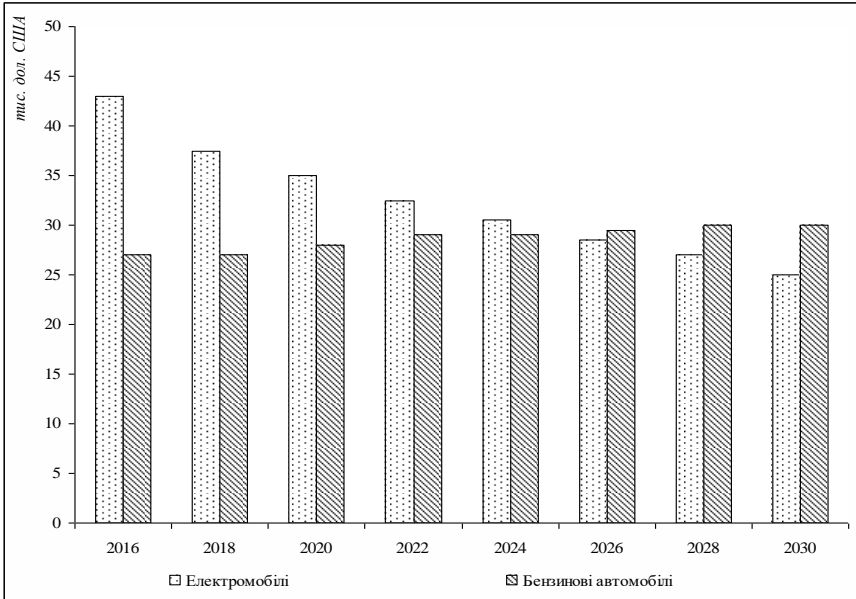


Рис. 1.7. Прогнозні ціни на електромобілі та автомобілі з бензиновим двигуном

Джерело: за даними агентства Bloomberg⁵².

За інформацією шведської дослідницької компанії EV-Volumes, число електромобілів у Європі в першому півріччі 2018 р. перевищило мільйон. Так, за перші шість місяців 2018 р. продажі електромобілів, у тому числі гібридів з паливними двигунами, зросли на 42%. Однак загалом електромобілі в європейських автопродажах становили лише 2%.

У Європі існують урядові програми, за якими компенсація на придбання електромобіля сягає 15% вартості. Наприклад, кількість

⁵¹ Продажі електромобілів в Європі злетіли до історичного максимуму. URL: <https://www.epravda.com.ua/news/2017/02/10/620448/>

⁵² Stringer D, Rathi A. The Electric Car Battery Boom Has Screeched to a Halt, For Now. URL: <http://mmr.net.ua/autoworld/news/4638> <https://www.bloomberg.com/news/articles/2020-06-17/the-electric-car-battery-boom-has-screched-to-a-halt-for-now>

електрокарів у Великій Британії становить 150 тис. автомобілів. І зростання показників за рік становить 50%⁵³.



Рис. 1.8. Кількість електромобілів у Європі

Джерело: за даними шведської дослідницької компанії EV-Volumes.

Лідером з продажу електромобілів в Європі у 2018 р. була Норвегія: у першому півріччі тут було продано 36,5 тис. електромобілів, що на 32% більше, ніж у 2017 р. На другому місці – Німеччина, третє місце посідає Велика Британія⁵⁴, тоді як у 2019 р. це місце, хоча й з невеликим відривом, зайняла Німеччина.

У 2017 р. продажі нових електромобілів та гібридних автомобілів у світі становили понад 1,2 млн (виросли на 57% порівняно з 2016 р.). На первинному світовому ринку легкових автомобілів їх частка становила майже 2%. За даними Bloomberg New Energy Finance, у 2018 р. у світі продано 1,3 млн електромобілів (без урахування гібридів), з яких 60% – це китайський ринок, тоді як, за даними міжнародної консалтингової компанії Frost&Sullivan, у 2018 р. у світі було продано близько 2 млн електромобілів. У першому півріччі 2019 р. уперше в історії скоротились продажі електромобілів, що було пов'язано із скороченням програм субсидування купівлі електрокарів в Китаї. Проте, незважаючи на це, за

⁵³ Підбірка найкращих електромобілів 2018 року. Чи варто придивлятися собі електрокар? URL: <https://tsn.ua/auto/obzory/pidbirka-naykraschih-elektromobiliv-2018-roku-chi-varto-pridivlyatis-sobi-elektrokar-1175475.html>

⁵⁴ Число електромобілів у Європі перевищило мільйон. URL: <https://ukr.segodaya.ua/economics/avto/chislo-elektromobiley-v-evrope-perevalilo-za-million-1165710.html>

перші дев'ять місяців 2019 р. світовий ринок електромобілів показав приріст на 35 %.

За прогнозами компанії Bloomberg, у 2037 р. у світі буде продаватися електрокарів більше, ніж автомобілів з двигуном внутрішнього згоряння (рис. 1.9).

За інформацією прес-служби Федерації роботодавців автомобільної галузі, в Україні у III кв. 2018 р. відбулося зростання реєстрацій електромобілів на 40% порівняно з II кв. 2018 р. і на 117% – порівняно з III кв. 2017 р. За цей період в Україні зареєстровано 3798 автомобілів з електричним приводом, що на 54% більше, ніж за аналогічний період минулого року. Всього зареєстрованих електромобілів в Україні станом на 1 вересня 2018 р. становить 8267 шт.

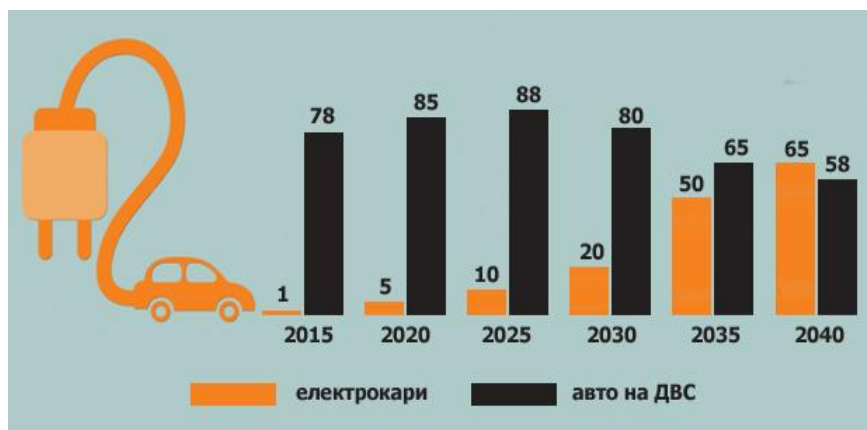


Рис. 1.9. Продаж автомобілів, млн шт.

Джерело: Bloomberg⁵⁵.

Найбільше власників електрокарів – у Київській та Одеській областях. На частку електрокарів припадає менше одного відсотка. Хоча, попри це, Україна увійшла у 2018 р. у п'ятірку країн із розвитку ринку електромобілів. За прогнозами Центру Разумкова,

⁵⁵ На зависть Ілону Маску. Почему електромобильную революцию завершит Китай (инфографика). URL: http://www.dsnews.ua/vlast_deneg/nazavist-ilonu-masku-pochemu-elektromobilnuyu-revolutsiyu-23102017220000

ринку і найчастіше вже були в експлуатації⁵⁸. Ціни на машини у офіційних дилерів стартують від 35 тис. дол., тоді як уживаний Nissan Leaf обійдеться в 13 тис. доларів. Тобто електрокари з пробігом обходяться вдвічі дешевше⁵⁹.

Тож попит підвищився в основному за рахунок імпорту уживаних машин, як зазначають експерти Асоціації автовиробників України (Укравтопром). В основному це старі електромобілі із США. Дилери скуповують машини на аукціонах, часто це електрокари з полонками, які ремонтують уже в Україні, а потім виставляють на продаж.

По-перше, зростання попиту на б/у електромобілі в Україні призвело до підняття цін на аукціонах, тому скасування податків вплинуло на ціни несуттєво⁶⁰.

По-друге, за оцінками директора Всеукраїнської асоціації автомобільних імпортерів та дилерів Олега Назаренко, раніше на кордоні «сірі дилери» декларували ціну електрокара нижче за реальну і платили менше податків, а тепер податки скасували⁶¹.

Віковий діапазон більшості зареєстрованих електромобілів становить у середньому 4,2 року.

Найпопулярнішими електрокарами в Україні були моделі марки Nissan (2492 од., або 65,6% усіх реєстрацій), за ними йдуть електрокари Tesla (267 одиниць, або 7%) та BMW (251 од., або 6,6%)⁶². Також до десятки найпопулярніших електрокарів увійшли:

⁵⁸ Підбірка найкращих електромобілів 2018 року. Чи варто придивлятися собі електрокар? URL: <https://tsn.ua/auto/obzory/pidbirka-naykraschih-elektromobiliv-2018-roku-chi-varto-pridivlyatis-sobi-elektrokar-1175475.html>

⁵⁹ Попит на електрокари в Україні продовжує рости. *Економічна правда*. URL: <https://www.epravda.com.ua/news/2019/11/11/653587/>

⁶⁰ Число електромобілів у Європі перевищило за мільйон. URL: <https://ukr.segodnya.ua/economics/avto/chislo-elektromobiley-v-evrope-perevalilo-za-million-1165710.html>

⁶¹ Електрокарів все більше: як українці пересідають на сучасні авто. URL: <https://ukr.segodnya.ua/economics/avto/besplatnaya-rastamozhka-ezhednevno-v-ukraine-registriruyut-20-elektrokarov--1171961.html>

⁶² TESLA не на першому місці: які електрокари українці купують найбільше. Інфографіка. URL: <https://www.5.ua/ekonomika/tesla-ne-na-pershomu-mists-i-aki-elektrokar-ukraintsi-kupuiut-naibilshe-infohrafika-179905.html>

Renault, Mercedes-Benz B Electric Drive; Smart Fortwo; Tesla Model X; KIA Soul EV; Volkswagen e-Golf; Toyota RAV-4 EV; Fiat 500e (рис.1.11, 1.12).

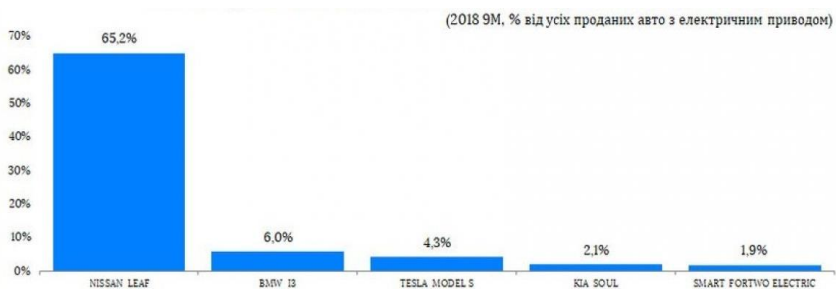


Рис. 1.11. Топ-5 моделей авто з електричним приводом за кількістю реєстрацій

Джерело: ⁶³.



Рис. 1.12. Топ-5 авто з електричним приводом за кількістю реєстрацій

Джерело: ⁶⁴.

Велику роль для електромобілів відіграють акумуляторні батареї, що існують у різній комплектації. Наприклад, авто Nissan Leaf має об'єм батареї 230 кВт. За оцінками експерта автомобільної галузі Євгена Муджирі, такий акумулятор може прослужити 15 років, хоча офіційно вважається, що термін його експлуатації

⁶³ ТОП-10 Найпопулярніших електромобілів в Україні. URL: <https://www.5.ua/ekonomika/top10-naipopuliarnishykh-elektromobiliv-v-ukraini-175160.html>

⁶⁴ Там само.

становить 7–8 років. Ціна ж нового акумулятору для такого електрокара становитиме 5–7 тис. дол. Так, наприклад заряду цього акумулятора вистачає на 150 км, а за перші три години акумулятор заряджається на 80%.

Однією з переваг електрокарів є економія на його зарядці. На сьогодні в Україні є безоплатні зарядні станції, але, як правило, там завжди величезні черги. Тож більшість власників електрокарів заряджають свої машини вночі вдома і платять за лічильником. Найбільшою проблемою при цьому залишається те, що мешканці багатоквартирних будинків не мають законного права протягнути кабель на паркувальне місце і встановити там розетку для електромобіля⁶⁵.

Ще одним варіантом зарядити електромобіль є платні станції зарядки. Зараз ціна на таких заправках коливається від 48 грн за кВт, усе залежить від швидкості зарядки. Якщо сьогодні заправка на звичайних авто в середньому коштуватиме 1000 грн, то на електроавтомобілях – це 35 грн за 100–150 км.

Водночас зі зростанням кількості електрокарів в Україні стало більше і зарядних станцій. За даними Schneider Electric, у країні наразі понад 1500 розеток для електрокарів, тоді як у 2017 р. їх кількість становила 800 од., з яких 95% були повільними (потужністю до 20 кВт). Якщо рік тому власники «зелених» машин самі обладнали зарядні станції, то тепер на ринок виходять великі компанії. У містах будують дедалі більше швидкісних зарядних станцій, які заряджають автомобіль за 15–20 хвилин.

Наприклад, у Києві компанія ДТЕК обладнала мережу швидкісних зарядок для електромобілів STRUM. Також з'явилися швидкісні станції між містами, але поки їх усього 5–10%. Деякі мережі АЗС теж почали орієнтуватися на електрокари. Так, із Києва, дозаряджаючись по дорозі, можна доїхати до Львова чи Харкова. Однак, **щоб зарядити свій автомобіль на деяких заправках, потрібно бронювати час.**

У квітні 2018 р. Нацкомісія з регулювання у сфері енергетики роз'яснила, що власникам швидкісних розеток для електрокарів не

⁶⁵ Електрокарів все більше: як українці пересідають на сучасні авто. URL: <https://ukr.segodnya.ua/economics/avto/besplatnaya-rastamozhka-ezhednevno-v-ukraine-registriruyut-20-elektrokarov--1171961.html>

потрібна ліцензія⁶⁶. Потужний поштовх розвиток електрокарів може отримати з появою високоякісних зарядних станцій потужністю 50 або 70 кВт – таких, які нині використовуються в Європі. На них зарядка триватиме від 15 хв (для Nissan Leaf) до 1 години (для Tesla).

На сьогодні існує проблема підключення зарядних станцій до електричної мережі з великою потужністю.

У межах реалізації напрацьованого Мінінфраструктури України комплексу заходів «пакета електрокарів в Україні» у 2017 р. передбачається створення умов для швидкого і легкого підключення до електромереж без надвитрат, виділення окремих місць, які будуть обладнані зарядками, на парковках біля торговельних центрів, кінотеатрів, спорт-клубів, поряд із будівлями органів державної влади, а також обов'язкова вимога для всіх парковок: як мінімум, 5–10% місць мають бути обладнані електрозарядками.

Попри економію коштів при зарядці, електромобілі є досить затратними в обслуговуванні:(рис 1.13) заміна повітряних фільтрів у салоні, охолоджувачів батарей, шин тощо.

Нульові ставки на розмитнення електрокарів діють до кінця 2018 р. З 1 січня 2019 р. за ввезення електромобіля треба заплатити 17% від його вартості до бюджету.

Міністерство інфраструктури подало до парламенту законопроект, який **розширить пільги на увезення і виробництво електрокарів ще на 10–15 років.**

До 2028 р. платник податку на доходи фізосіб може включити до податкової знижки витрати на придбання електромобіля, а покупців електрокарів пропонується звільнити від сплати збору на обов'язкове пенсійне страхування⁶⁷.

Мінінфраструктури планує до 2020 р. довести частку електромобілів у загальних продажах авто в Україні до рівня не

⁶⁶ Півроку скасування податків на електрокари: українці скуповують «зелені» авто. URL: <https://www.segodnya.ua/ua/economics/avto/polgoda-otmeny-nalogo-na-elektrokary-skupayut-li-ukraincy-zelenye-avto-1146559.html>

⁶⁷ Електромобілі дешевшають. URL: https://zib.com.ua/ua/print/125206-elektromobili_zvilnyat_vid_akciznogo_zboru.html

Розвиток економічних та науково-технічних основ транспорту...

менше 15%⁶⁸, а також через 5–7 років планується налагодити власне виробництво електрокарів.

	 5 Електромобіль	 Гібрид	 Газ	 Дизель	 Бензин
 Вартість авто	900 000	800 000	650 000	650 000	650 000
 Пробіг за рік, км	10 000	10 000	10 000	10 000	10 000
 Витрати	2 210 при 13 кВт/100 км	15 000 при 5 л/100 км	13 000 при 10 л/100 км	21 000 при 7 л/100 км	30 000 при 10 л/100 км
 Обслуговування	6 000 (шини, оливач)	8 000 (шини, оливач, моторна олива)	8 000 (шини, оливач, моторна олива)	8 000 (шини, оливач, моторна олива)	8 000 (шини, оливач, моторна олива)
 Загальна сума витрат	908 210 грн	823 000 грн	671 000 грн	679 000 грн	688 000 грн

Рис. 1.13. Середні витрати на різні види автомобілів (електрокари, гібрид, газ, дизель та бензин)

Джерело:⁶⁹

Обмежує розповсюдження електромобілів їх значно вища ціна порівняно з аналогами із бензиновими або дизельними двигунами, а також гібридними силовими установками, невеликий запас ходу через малу ємність батарей-акумуляторів, повільна зарядка батарей, велике енергоспоживання взимку (вдвічі більше при сильних морозах, ніж у теплу пору року), обмежена кількість зарядних станцій.

У грудні 2018 р. компанія Ілона Маска The Boring Company завершила роботу із обладнання підземного транспортного тунелю-гіперпетлі, основне завдання якого полягає в тому, щоб швидко і комфортно перевозити автомобілі та електромобілі користувачів, минаючи наземні пробки, а також випробовувати технологію для створення новітніх передових підземних магістралей.

⁶⁸ «Я вважаю, що майбутнє за електротранспортом» – міністр інфраструктури України Володимир Омелян. URL: <https://usionline.com/2017/05/05/ya-vvazhayu-shho-majbutnye-za-elektrotransportom-ministr-infrastrukturi-ukrayini-volodimir-omelyan/>

⁶⁹ Міфи та реальність про електроавтомобілі. Інфографіка та корисні поради від експерта. URL: <https://www.5.ua/suspilstvo/mify-ta-realnist-pro-elektroavtomobili-ekspert-171764.html>

На сьогодні система транспортного підземного тунелю пролягає від штаб-квартири Tesla до невеликого комплексу офісів у Хоторні (Каліфорнія). Тунель має довжину 2,3 км та ширину 4,3 м. Його протестували, використовуючи оновлену версію електромобіля Tesla Model X, але система вже може використовувати будь-який автономний електромобіль, не тільки Tesla. Електромобілі – важлива частина подібних систем, адже у випадку зі звичайними машинами доведеться враховувати наявність вихлопних газів, створюючи складні системи вентиляції, проте в майбутньому планується підтримка абсолютно всіх автомобілів.

Система тунелів передбачає спеціальні колісні кріплення і рейки, з якими і з'єдналася модель електромобіля Model X. На сьогодні такий формат перевезень є унікальним, електромобілю вдалося розігнатися до швидкості в 65 км/год. Заплановані Ілоном Маском 161 км/год будуть втілені при відкритті наступного, більш тривалого і широкого транспортного тунелю.

Сильною стороною такого підходу до транспортування є відсутність обмеження швидкості, що дозволяє ефективно контролювати рух електромобіля в тунелі, унеможливаючи його сходження з рейок⁷⁰. Оскільки машини пересуватимуться за допомогою рейок, вони перебуватимуть у безпеці і зможуть рухатися на швидкості, що перевищує дозволені 241 км/год на поверхні⁷¹.

Вартість прокладки становила 10 млн дол., що для такого роду робіт є незначною. При цьому The Boring Company використала глину, що накопичилася у процесі буріння, для будівництва вежі. Вивезення подібного роду відходів при прокладанні тунелів під землею може становити близько 15% вартості буріння, тож замість того, щоб платити за перевезення вилученого матеріалу за межі будівельного майданчика, The Boring Company перетворює його в цегляні блоки прямо на місці видобутку. Складають та зберігають

⁷⁰ The Boring Company провела первый публичный тест подземного туннеля в Калифорнии. URL: <http://www.fainaidea.com/technologii/transport/the-boring-company-provela-pervyj-publichnyj-test-podzemnogo-tunnelya-v-kalifornii-156533.html>

⁷¹ В Лос-Анджелесе открылся первый тоннель The Boring Company. URL: https://zn.ua/TECHNOLOGIES/v-los-andzhelese-otkrylsya-pervyy-tonnel-the-boring-company-303544_.html

цегляні блоки також на цьому самому місці з метою подальшого продажу. За оцінкою компанії, при ціні за цеглину усього 10 центів вивезення сміття повністю окупить, причому ця вартість набагато нижча, ніж у торгових будівельних мережах.

Але на шляху до подальшого розвитку таких технологій існують і проблеми. Так, прохідницькі щити дуже повільні, тож однією з головних цілей компанії наразі є створення машини підвищеної швидкості, але, як вважає Ілон Маск, це дуже складне питання. Тим не менш він висловив упевненість, що поліпшення бурильної машини The Boring Company в кінцевому підсумку зумовить 15-кратне збільшення швидкості.

The Boring Company підписала контракт з Chicago Infrastructure Trust на будівництво системи експрес-петлі до міжнародного аеропорту О'Хара в Чикаго. Тунель (Loop) буде використовуватися для перевезення до 16 пасажирів у невеликій капсулі, що працює на тих же електричних полозах, а ходову Tesla ModelX буде модифіковано. Очікується, що така система відправлятиме зі станції капсули кожні 30 секунд, що обійдеться дешевше, ніж звичайний транспорт від аеропорту.

Плани The Boring Company поширюються також на Лос-Анджелес, де планується побудувати лінію від західних кварталів до стадіону Доджер, а також 56-кілометрову лінію подвійних тунелів від Вашингтона до Меріленда, якою пасажирів між двома точками можна буде доставляти приблизно за 15 хвилин⁷².

Безпілотні автомобілі

Безпілотні автомобілі – один із останніх трендів, який у найближчому майбутньому може змінити світ. За статистикою Boston Consulting Group, у 2021 р. частка продажів частково-автономних автомобілів у світі становитиме 5%. Однак вже до 2035 р. вона зросте до 25%, з яких третина машин будуть повністю самокерованими⁷³. Дослідження PwC показують, що повністю

⁷² Ілон Маск представив первый туннель The Boring Company. URL: <https://3dnews.ru/979882>

⁷³ Чи зможуть безпілотні автомобілі доїхати до України. URL: https://cfts.org.ua/blogs/chi_zmozhut_bezpilotni_avtomobili_dokhati_do_ukrani_220

автоматичний транспорт з'явиться на вулицях найбільших міст уже до 2040 р.⁷⁴.

«Традиційна» автопромисловість дедалі більше співпрацює з ІТ-індустрією, наприклад, з Microsoft чи Deutsche Telekom. Приміром, німецька BMW співпрацює з виробником мікропроцесорів Intel, постачальником комплектувальних деталей для авто Delphi, ізраїльським розробником систем допомоги водіння Mobileye та німецьким виробником автокомпонентів Continental.

Безпілотні автомобілі розробляють такі цифрові гіганти, як Google, Apple чи китайський інтернет-велетень Baidu. Тести безпілотних автівок проводять у Каліфорнії, Ізраїлі, Китаї та Німеччині⁷⁵.

Перші прототипи безпілотних автомобілів уже випробовують, але рухатися зовсім без людини вони ще не можуть. Безпілотні автомобілі можна умовно розділити на дві групи: які передбачають контроль з боку водія і які можуть їздити виключно самостійно. На сьогоднішній день всі моделі, що випускаються серійно, належать до першої категорії, тобто відповідальність за прийняття рішень і дії у кризових ситуаціях залишається на водієві. Це, наприклад, Tesla і деякі Mercedes та Audi.

За дослідженням компанії Tesla, на автопілот доводиться один летальний випадок на кожні 200 млн км, а люди-водії потрапляють у смертельні ДТП частіше – один раз на кожні 150 млн км. У міру збільшення кількості безпілотних машин та їх інтеграції у загальну дорожню мережу, безпека руху теоретично зростатиме – кількість летальних ДТП може скоротитися на 50%, 70% або навіть до 95%.

Консалтингова компанія ATKeagney стверджує, що ринок безпілотного транспорту загалом через 20 років коштуватиме 560 млрд дол. Спеціалісти впевнені, що безпілотний транспорт не лише зекономить користувачам мільярди доларів витрат на страхування та купівлю бензину, а й стимулюватиме розвиток в інших сферах: телекомунікаціях, створенні розумних будинків та технологій штучного інтелекту.

⁷⁴ Яке майбутнє чекає на нас з появою автомобілів зі штучним інтелектом. URL: <https://www.imena.ua/blog/ai-car-in-future/> 16.11.2018

⁷⁵ Безпілотні автомобілі: реальність і фантастика. URL: <https://www.obozrevatel.com/ukr/news/92605-bezpilotni-avtomobili-realnist-i-fantastika.htm>

Автори дослідження відзначають, що розвиток безпілотних автівок тільки, наприклад, у США зможе зекономити близько 1,3 трлн дол. на рік. Скорочення кількості ДТП зекономить 488 млрд дол., а економія на паливі становитиме майже 170 млрд дол. Безпілотні авто витрачають менше бензину із тієї простої причини, що автомобілі можуть підтримувати між собою зв'язок та обрати найбільш оптимальний маршрут і швидкість для переміщення до місця призначення⁷⁶.

Нині вже кілька компаній тестують автономні машини на дорогах загального користування. Так, восени 2016 р. у Піттсбурзі та Сан-Франциско з'явилися тестові самокеровані автомобілі Uber, які використовувалися як таксі. У березні 2017 р. Uber скасувала випробування своїх безпілотних автомобілів, тому що в Аризоні за участю одного з них сталася аварія⁷⁷, але вже у 2018 р. компанія Uber відновила випробування безпілотних автомобілів. У квітні 2018 р. Міністерство транспорту Китаю заявило, що з травня 2018 р. влада усіх міст і провінцій країни зможе давати дозволи на випробування безпілотних автомобілів.

У січні 2018 р. Ford повідомив про те, що співпрацюватиме із Postmates, щоб вивчити питання, як автономні автомобілі можуть бути інтегровані у службу доставки. Ford співпрацюватиме з мережею супермаркетів Walmart і сервісом доставки Postmates, щоб налагодити перевезення товарів за допомогою безпілотників. До комерційного виробництва такого виду транспортних засобів Ford планує приступити ближче до 2021 р.

Безпілотні авто Ford уже тестують у кількох американських містах. Зокрема, їх випробовують на дорогах Майамі та у Вашингтоні. Раніше у місті Енн-Арборштату Мічиган проводилися випробування автомобільних безпілотників для доставки піци⁷⁸.

⁷⁶ Яке майбутнє чекає на нас з появою автомобілів зі штучним інтелектом. URL: <https://www.imena.ua/blog/ai-car-in-future/> 16.11.2018

⁷⁷ Міфи про безпілотні автомобілі, які роками хвилюють уми автомобілістів. URL: <https://news.finance.ua/ua/news/-/413503/mify-pro-bezpilotni-avtomobili-yaki-rokamy-hvylyuyut-umy-avtomobilistiv> 29.10.2017

⁷⁸ Безпілотні авто Ford будуть розвозити продукти з Walmart. URL: https://blog.allo.ua/ua/bezpilotni-avto-ford-budut-rozvoziti-produkti-z-walmart_2018-11-47/

Восени 2018 р. компанія Volvo презентувала нову модель безпілотного електромобіля без керма та педалей під назвою «360с»⁷⁹.

У жовтні 2018 р. компанія Waymo, що наприкінці 2016 р. відокремилась від проєкту безпілотних автомобілів Google, який почав тестувати безпілотні автомобілі на дорогах загального користування ще у 2009 р., повідомила, що її безпілотні автомобілі проїхали дорогами загального користування у США близько 16 млн км. Разом із тим віртуальні моделі безпілотників проїхали майже 11 млрд км. Випробування відбувалися на дорогах 25 американських міст – як в умовах теплого і сонячного клімату в Аризоні, так і в засніжених горах Каліфорнії⁸⁰.

Здебільшого безпілотники пересуваються самостійно, проте уряди країн і регіонів, де подібні випробування дозволені, вимагають, щоб за кермом перебував водій, здатний взяти на себе керування у позаштатній ситуації⁸¹.

Не відстає від світових тенденцій і громадський транспорт. У Німеччині курсує перший у світі трамвай, яким керує штучний інтелект. Такий трамвай оснащено радаром, сканерами та камерами, які передають усі дані на бортовий комп'ютер, що оцінює ситуацію на дорозі. Таким чином відстежуючи ситуацію на вулиці, трамвай зупиняється на відповідних зупинках і чекає, поки до салону зайдуть усі пасажери.

Водночас представники транспортного управління Дубаї виділили близько 410 тис. дол. для дослідження перспективності безпілотних автобусів. Шестимісні автопілотні автобуси, що планують запустити по вулицях міста Дубаї, створені американською компанією Next Future Transportation. Вони оснащені електродвигунами та можуть розганятися до 80 км/год.

⁷⁹ Яке майбутнє чекає на нас з появою автомобілів зі штучним інтелектом. URL: <https://www.imena.ua/blog/ai-car-in-future/>

⁸⁰ Безпілотні автомобілі Waymo проїхали 10 млн миль дорогами загального користування. URL: <https://hromadske.ua/posts/bezpilotni-avtomobili-waymo-proyihali-10-mln-mil-dorogami-zagalnogo-koristuvannya>

⁸¹ Безпілотні автомобілі Baidu випустять на дороги Пекіна. URL: <https://hromadske.ua/posts/bezpilotni-avtomobili-baidu-vypustiat-na-dorohy-pekina>

У 2016 р. у Америці уперше доставили комерційний товар на безпілотній вантажівці. Роботизована вантажівка компанії Otto рухалася дорогою зі швидкістю 90 км/год. Саме з такою середньою швидкістю фура подолала відстань у 200 км між двома містами.

У березні 2018 р. безпілотні фури компанії Tesla доставили акумулятори для машин Tesla із заводу в місті Спарк (Невада) на складальний конвеєр у Фрімонті (Каліфорнія). Перший прототип цієї вантажівки було представлено ще у 2017 р., з того моменту Tesla отримала замовлення на вантажівку від Pepsi, Walmart та Anheuser-Busch. Фура, як обіцяють у Tesla, зможе проїжджати 500 миль (804 км) при повному завантаженні (36 т) і на максимальній для неї швидкості. За словами Маска, довжина більшості вантажних маршрутів – 250 миль, тому вантажівка може дійхати до пункту призначення і повернутися назад без підзарядки⁸².

В Україні Запорізька приватна компанія розробила безпілотний Lanos, який здатний пересуватися без участі живого водія. Це перший легковий безпілотник, представлений українцями: Lanos обладнаний системою навігації Pilotdrive, яку раніше тестували на позашляховику Jeep Cherokee і КрАЗ.

Система орієнтується за допомогою камер, датчиків, радарів і тепловізора, тому автомобіль може пересуватися навіть у нічний час. Автопілот розпізнає розмітку дороги, її ширину, вміє пересуватися в умовах бездоріжжя. Датчики безпілотника мають охоплення у 360 градусів, що виключає виникнення сліпих зон. Сенсорні системи розпізнають дорожні знаки, пішоходів і навіть тварин, що вибігають на проїжджу частину.

Під час руху безпілотник використовує електронні навігаційні карти, на які може наносити розпізані об'єкти під час руху. Вся інформація з комп'ютера надходить на диспетчерський пункт.

Поки автомобіль тестують, за рухом стежить оператор, який готовий взяти керування на себе. У дорозі за кермом обов'язково перебуватиме водій, оскільки українськими правилами дорожнього руху рух безпілотників не передбачено⁸³.

⁸² Беспилотная фура Tesla впервые доставила груз. URL: https://lenta.ru/news/2018/03/08/first_trip/

⁸³ Українська компанія заявила про створення безпілотного автомобіля на базі ЗАЗ Lanos. URL: <https://zaxid.net/news/https://zaxid.net/news/>

1.4. Загальна характеристика розвитку Maglev у світі⁸⁴

Магнітна транспортна левітація, або Maglev, є сучасною формою транспортування, що зупиняє, спрямовує та стимулює транспортні засоби (особливо поїзди) за допомогою електромагнітної сили⁸⁵. Поїзди Maglev є важливими транспортними системами для майбутніх перспектив регіонів, націй та держав. Системи Maglev представляють транспортну інновацію, що спрямована на вирішення проблем мобільності у світі. Водночас вони також можуть функціонувати як платформа розробки технологій (наприклад, надпровідників, нових матеріалів).

З другої половини XIX ст. дослідники зосередили увагу на наземних перевезеннях «без рейок і коліс». Були запропоновані різні концепції (табл.1.5). З другої половини XX ст. розпочалося випробування магнітолевітаційного транспорту на експериментальних треках у різних країнах: Німеччині, Великій Британії, Японії, СРСР, Південній Кореї, Китаї та ін.

У 1971 р. перший поїзд німецької компанії Трансрапід став здійснювати поїздки випробувальною ділянкою і незабаром досяг швидкості 250 км/год. У 1979 р. на Першій міжнародній транспортній виставці у Гамбурзі була представлена лінія довжиною 908 м, якою успішно перевезли 5 тис. пасажирів. У першій половині 1980-х років була побудована експериментальна траса компанії Трансрапід у долині річки Емс протяжністю 32 км і швидкістю руху поїздів 400–450 км/год. У 1984–1995 рр. у Бірмінгемі (Велика Британія)⁸⁶ діяла перша у світі комерційна лінія на магнітному підвісі між аеропортом і залізничною станцією довжиною 600 м зі швидкістю руху поїзда 42 км/год, яка пропрацювала 11 років.

У 1984 р. в Емсланді компанією Трансрапід було побудовано випробувальний одноколіїний трек із поворотними петлями на кожному кінці загальною протяжністю 31,5 км. Максимальна швидкість руху, яку вдалося розвинути на прямій ділянці дороги

⁸⁴ Підрозділ 1.4 підготовлено за участю О.М.Стасюк.

⁸⁵ Using The Wayback Machine. URL: https://web.archive.org/web/20141208203143/http://magnetbahnforum.de/index.php?en_what-is-maglev

⁸⁶ The magnetic attraction of trains. URL: <http://news.bbc.co.uk/2/hi/science/nature/488394.stm>

Розвиток економічних та науково-технічних основ транспорту...

під час випробувань, – 501 км/год. Усе управління рухом здійснювалося з диспетчерського пункту.

Таблиця 1.5

Основні етапи досліджень розвитку транспорту «без колеса та колій»

Роки	Дослідник	Результат досліджень
1852	L.O. Girard	Левітація з використанням тиску води
1870	John Thornycraf	Принцип пневматики
1876	J.S. Ward	Левітація і двигун з повітрорудками. Також були запропоновані інші концепції на базі дирижабля
1889		Модельний поїзд, левіталізований під тиском води, заснований на ідеї L.O. Girard, був продемонстрований на Паризькій виставці 1889 р.
1905	Robert Goddar	Ідея потягу, що спирається на магнітне поле
1912	Emile Bachelet	Електродинамічна левітація: патент США, для левітації передавального апарату
1935	Herman Kemper	Німецький патент левітаційних систем з поїздом без коліс. Жан Бертін «Аеротрейн» був вивчений і випробуваний у Франції. Розвиток було припинено в 70-х роках, оскільки TGV (train a grande vitesse), був обраний технічним рішенням французького уряду. Подібні розробки були здійснені у США та Бразилії
1966	J. Powell, G. Danby	Перша практична система для магнітолевітаційного транспорту з використанням надпровідних магнітів
1970-ті		В Японії та Німеччині розпочалися дослідження з перевезень на Maglev
Сере- дина 1990-х		Корпорація General Atomics розробила систему постійного магнетизму.
Сього- дення		Сьогодні тільки Otis People Mover використовує повітряну подушку

Джерело: узагальнено Стасюк О.М. на основі ⁸⁷.

⁸⁷ Hermann Kemper / Maglev. URL: <https://www.maglevboard.net/en/facts/inventors/118-hermann-kemper>; Maglev: Magnetic Levitating Trains. URL: <https://sites.tufts.edu/eesenior/designhandbook/2015/maglev-magnetic->

У 1980-х роках у Берліні була побудована система Maglev (M-Bahn) загальною довжиною 1,6 км, яка з'єднувала три станції метро від залізничного вузла Gleisdreieck до виставкового комплексу на Potsdamer Strasse. Після довгих випробувань у серпні 1989 р. лінія була відкрита для руху пасажирів. Проїзд був безкоштовний, вагони керувалися автоматично, без машиніста, лінія працювала тільки у вихідні дні. У районі, куди було проведено лінію, передбачалося провести масове будівництво. Лінія була побудована на Естакадній ділянці колишньої лінії метро U2, де рух було перервано через поділ Німеччини і руйнування під час війни. У липні 1991 р. лінію передано у промислову експлуатацію і включено в систему метро Берліна. Після повалення Берлінської стіни й фактичного подвоєння населення Берліна виникла необхідність з'єднати транспортні мережі Сходу і Заходу. Лінія Maglev переривала важливу лінію метро, що не давало змогу забезпечити високий пасажиропотік. Пізніше було ухвалене рішення демонтувати магнітну дорогу і відновити метро.

Великий внесок у розвиток магнітолевітаційної транспортної системи зробила Японія, що розпочала дослідження цієї технології у 1962 р. У 1979 р. Японія представила швидкість 517 км/год (321 миль/год) на тестовій доріжці у Міядзакі⁸⁸. Японія експлуатує два самостійно розроблені потяги Maglev HSST (лінія Лінімо) та JR-Maglev. Розвиток технології Maglev нерозривно пов'язаний швидкостями перевезень, де Японія поки що посідає світове лідерство – 603 км/год (табл. 1.6).

У СРСР у 1979 р. у місті Раменському (Московська область) була побудована експериментальна ділянка для випробувань вагонів на магнітному підвісі у вигляді естакади довжиною 600 м, згодом її продовжено до 980 м. У період з кінця 1970-х по 1980-ті роки було створено п'ять дослідних зразків вагонів від ТП-01 до ТП-05. Будівництво першої лінії було розпочато в 1987 р. у Вірменії і, за планом, мало завершитись у 1991 р. Потяги повинні

levitating-trains; MAGLEV Worldwide Status and Technical Review. *Electrotechnique du Futur*. 14&15 decembre 2011. 54 p.

⁸⁸ Найшвидший потяг у світі. Швидкісні поїзди. URL: <http://kupitspining.ru/uk/mirnye/samyy-bystryi-poezd-v-mire-skorostnye-poezda-skorost.html>

Розвиток економічних та науково-технічних основ транспорту...

були розвивати швидкість 250 км/год. Проте по факту побудовано лише естакаду⁸⁹.

Таблиця 1.6

Історія розвитку швидкостей Maglev

Роки	Країна	Пojзд	Швидкість
1971	Західна Німеччина	Prinzipfahrzeug	90 km/h (56 миль/год)
1971	Західна Німеччина	TR-02 (TSST)	164 km/h (102 миль/год)
1972	Японія	ML100	60 km/h (37 миль/год)
1973	Західна Німеччина	TR04	250 km/h (160 миль/год)
1974	Західна Німеччина	EET-01	230 km/h (140 миль/год)
1975	Західна Німеччина	Komet	401 km/h (249 миль/год)
1978	Японія	HSST-01	308 km/h (191 миль/год)
1978	Японія	HSST-02	110 km/h (68 миль/год)
1979-12-12	Японія	ML-500R	504 km/h (313 миль/год)
1979-12-21	Японія	ML-500R	517 km/h (321 миль/год)
1987	Західна Німеччина	TR-06	406 km/h (252 миль/год)
1987	Японія	MLU001	401 km/h (249 миль/год)
1988	Західна Німеччина	TR-06	413 km/h (257 миль/год)
1989	Західна Німеччина	TR-07	436 km/h (271 миль/год)
1993	Німеччина	TR-07	450 km/h (280 миль/год)
1994	Японія	MLU002N	431 km/h (268 миль/год)
1997	Японія	MLX01	531 km/h (330 миль/год)
1997	Японія	MLX01	550 km/h (340 миль/год)
1999	Японія	MLX01	552 km/h (343 миль/год)
2003	Японія	MLX01	581 km/h (361 миль/год)
2015	Японія	L0	590 km/h (370 миль/год)
2015	Японія	L0	603 km/h (375 миль/год)

Джерело: узагальнено Стасюк О.М. на основі⁹⁰.

⁸⁹ Советский маглев: будущее, которое не случилось. URL: [https://habr.com/company/mailru/blog/410545/\\$](https://habr.com/company/mailru/blog/410545/$);

Советский маглев: 25 лет под целлофаном. URL: <https://www.porpmech.ru/technologies/58629-sovetskiy-maglev-25-let-pod-tsellofanom/#part0>

⁹⁰ History of the Development of the HSST Maglev Transportation System in Japan. URL: http://faculty.washington.edu/jbs/itrans/hsst_his.htm; Speed Records. URL: <https://web.archive.org/web/20131207011316/http://magnetbahnforum.de/index.php?Speed-Records>

У 1993 р. Південна Корея завершила розробку власного потягу на магнітній підвісці, який був представлений на Daejeon Expo-93 та розроблений далі у повноцінний Maglev, який здатний рухатися зі швидкістю до 110 км/год (68 миль/год). Система Maglev була спільно розроблена Корейським інститутом машинобудування і матеріалів (KIMM) і Hyundai Rotem⁹¹.

Активізував свою діяльність щодо розробок та впроваджень щодо магнітно-левітаційної системи Китай. Друга у Китаї Maglev-лінія побудована в місті Чанша за власною технологією. Ця лінія не високошвидкісна, її довжина становить 18,55 км із трьома станціями⁹². У кінці 2017 р. у системі пекінського метрополітену була відкрита перша автоматизована лінія S1 невисокошвидкісного Maglev вітчизняної розробки довжиною 10,2 км⁹³.

У 1997 р. К.-Г. Блешиком та Й. Клушпієм була заснована Міжнародна рада Maglev (ІМВ)⁹⁴.

Найбільш активні розробки Maglev проводять Німеччина, Японія, Китай та Південна Корея. Японія, Південна Корея, США, Німеччина у транспортних стратегіях передбачають розвиток транспортних систем на магнітному підвісі зі швидкістю понад 450 км/год.

Існує три основні типи використання транспортної системи Maglev:

- 1) міський Maglev (Urban maglev Rotem та Лінімо) для більш низьких швидкостей;
- 2) високошвидкісний Maglev (High Speed Maglev, німецький Трансрапід та японський JR Maglev);
- 3) логістика (Logistics вантажний контейнер Maglev та промислові пасажирські транспортні системи).

⁹¹ Maglev Train to Debut at Incheon in 2012. URL: https://www.koreatimes.co.kr/www/news/nation/2009/07/113_5419.html; Airport maglev demonstration line. URL: <https://www.railwaygazette.com/news/single-view/view/airport-maglev-demonstration-line.html>

⁹² Trial operation of magnetic levitation line in Changsha to start. URL: <http://en.people.cn/n3/2016/0505/c90000-9053671.html>

⁹³ В тестовому режимі начата експлуатація першої в Пекині маглев-лінії S1. URL: http://russian.news.cn/2017-12/31/c_136862706.htm

⁹⁴ The International Maglev Board. URL: <https://www.maglevboard.net/en/>

Світовий досвід застосування технологій магнітної левітації обмежується виключно шляхом створення пасажирського транспорту. При цьому діючі комерційні лінії використовують різну систему Maglev:

1) **Японія** – *Japan Railway Maglev* (JR-Maglev) японська система швидкісних поїздів на магнітній підвісці, розроблена Японським дослідницьким інститутом залізничної техніки (Japan Railway Technical Research Institute) спільно з оператором Японської залізниці з 1970-х років. Дозволяє поїзду розвивати швидкість понад 600 км/год (до 505 км/год в експлуатаційному режимі), успішно пройшла стадію випробувань і готова до впровадження. Система *Linimo Maglev* на сьогоднішній день слугує місцевою лінією приміського транспорту. Наразі у передмісті Яманасі побудовано випробувальний трек, на якому в квітні 2015 р. досвідчений склад модифікації Сінкансен L0 встановив абсолютний рекорд швидкості для залізничного транспорту – 603 км/год, перевищивши свій попередній рекорд 581 км/год, встановлений у 2003 р. Зі швидкістю, що перевищує 600 км/год, поїзд рухався на відрізку довжиною 1,8 км⁹⁵.

2) **Китай** – *Transrapid Maglev System* – одна із найшвидших наземних транспортних систем у світі та найшвидший комерційний Maglev High Speed Maglev System у використанні. Сьогодні система розроблена та побудована в основному компаніями Siemens та Thyssen Krupp (Німеччина). Transrapid Maglev system не потребує коліс, діє без осей, без передач та більш енергоефективний, ніж будь-який інший сучасний високошвидкісний поїзд і менш шумний. Не спричинює екологічно шкідливих викидів, що є однією з причин того, чому система вважається екологічною. Споживання енергії при високій швидкості нижче, ніж споживання традиційною високошвидкісною залізницею за однакової швидкості. Наразі відсутні переваги споживання на низьких швидкостях (порівняно з High Speed Rail). Transrapid Maglev поїзд має випробувальний трек – 31,5 км у Емсланді(Німеччина), (TVE), а з 2004 р. працює у Шанхаї (Китай);

⁹⁵ Японский поезд-маглев на испытаниях превысил скорость 600 км/ч.
URL: <https://www.rbc.ru/rbcfreenews/5535f5a59a7947173c8d6c77>

3) *Південна Корея* – *EcoBee* (*ecological, bee*, від слів «екологічність» та «бджола») – лінія повністю розроблена за власною технологією. Корейський варіант поїздів Maglev має особливий унікальний дизайн, особливу конструкцію, що дозволяє легше долати підйоми та спуски, подвійну гальмівну систему (електричну і механічну), електромагніти нового покоління⁹⁶. В основу технології магнітного підвісу покладено три основні підсистеми: левітації, стабілізації та прискорення.

Функціонуючі Maglev та проекти, які перебувають на різних етапах щодо використання систем Maglev, спираються на одну з трьох існуючих технологій магнітного підвісу поїздів – існує дві основні технології магнітного підвісу й одна експериментальна, що наразі залучена до створення високошвидкісної транспортної системи Hyperloop⁹⁷:

1) на надпровідних магнітах (Electrodynamic suspension електродинамічна підвіска, EDS). На базі технології EDS побудовані японські поїзди JR-Maglev. На відміну від технології EMS, де застосовані звичайні електромагніти і котушки, що проводять електричний струм тільки в той момент, коли подається живлення, надпровідні електромагніти можуть проводити електричний струм навіть після того, як джерело живлення буде відключене, наприклад, у разі відключення електроенергії. Охолоджуючи котушки, в системі EDS можна заощадити досить багато енергії. Головною перевагою системи EDS є висока стабільність. Ніякої електроніки для контролю і коригування відстані між поїздом і полотном не потрібно. Достатня для левітації сила виникає тільки на великих швидкостях. З цієї причини поїзд на системі EDS повинен бути оснащений колесами, які зможуть забезпечувати рух

⁹⁶ В Южной Корее появятся «летающие поезда». URL: <https://rg.ru/2014/05/14/poezd-site.html>

⁹⁷ Dr. Richard F. Post Maglev: A New Approach. URL: <https://web.archive.org/web/20050309114627/http://www.skytran.net/press/sciam01.htm>;

Thompson Marc T., Thornton Richard D. Flux-Canceling Electrodynamic Maglev Suspension: Part II Test Results and Scaling Laws (PDF). *IEEE Transactions on Magnetics*. May 1999. Vol. 35, No. 3;

Юхневич М. Поезда на магнитной подвеске. URL: https://rep.bntu.by/bitstream/.../Poezda_na_magnitnoj_podveske.pdf

при низьких швидкостях (до 100 км/год). Відповідні зміни також повинні бути внесені по всій довжині полотна, оскільки поїзд може зупинитися в будь-якому місці через технічні неполадки. При низьких швидкостях у передній і задній частинах магнітів у полотні виникає сила тертя, яка діє проти них;

2) на електромагнітах (Electromagnetic suspension електромагнітна підвіска, EMS). Потяги, побудовані на базі технології електромагнітного підвісу (EMS) використовують для левітації електромагнітне поле, сила якого змінюється в часі. При цьому практична реалізація цієї системи дуже подібна до роботи звичайного залізничного транспорту. Тут застосовується T-подібне рейкове полотно, виконане з провідника (в основному – металу), але поїзд замість колісних пар використовує систему електромагнітів. Система левітації працює завдяки батареям, що встановлені на борту поїзда, які підзаряджаються лінійними генераторами, вбудованими в опорні магніти. Таким чином, у разі зупинки потяг зможе досить довго левітувати на батареях. На базі технології EMS побудовано поїзд «Трансрапід»;

3) система Inductrack (Inductrack System – пасивна підвіска постійного магніту). Третьою, найбільш близькою до реалізації технологією є варіант EDS із постійними магнітами Inductrack, для активації яких не потрібна енергія. До недавнього часу дослідники вважали, що постійні магніти не володіють достатньою для левітації поїзда силою. Однак цю проблему вдалося вирішити шляхом розміщення магнітів у так званий «масив Хальбаха». Магніти при цьому розташовані таким чином, що магнітне поле виникає над масивом, а не під ним, і здатні підтримувати левітацію поїзда на дуже низьких швидкостях – близько 5 км/год. Правда, вартість таких масивів із постійних магнітів дуже висока.

У травні 2016 р. HyperloopTransportationTechnologies, Inc. (версія 1.0) компанії JumpStartFund оголосила про створення базової технології системи Hyperloop™ – на пасивній магнітній левітації, що на початку була розроблена доктором Річардом Постом та його командою в Національних лабораторіях Лоуренса Лівермора (LLNL) у рамках системи Inductrack⁹⁸.

⁹⁸ Hyperloop Transportation Technologies, Inc. Reveals Hyperloop™ Levitation System. URL: <https://www.prnewswire.com/news->

Сучасний стан магнітолевітаційного транспорту обмежується комерційними лініями пасажирського Maglev, що побудовані й функціонують лише в трьох країнах – Китаї, Японії та Південній Кореї (табл. 1.7).

Китай

Найбільш активно магнітолевітаційний транспорт сьогодні розвивається в Китаї.

Транспрайд Maglev Шанхай (Maglev Train Shanghai Transrapid) є першою успішною комерційною високошвидкісною магнітною лінією у світі. Шанхайська лінія Maglev з'єднує існуючу станцію метро Long Yang Road з міжнародним аеропортом Пудун (рис. 1.14).

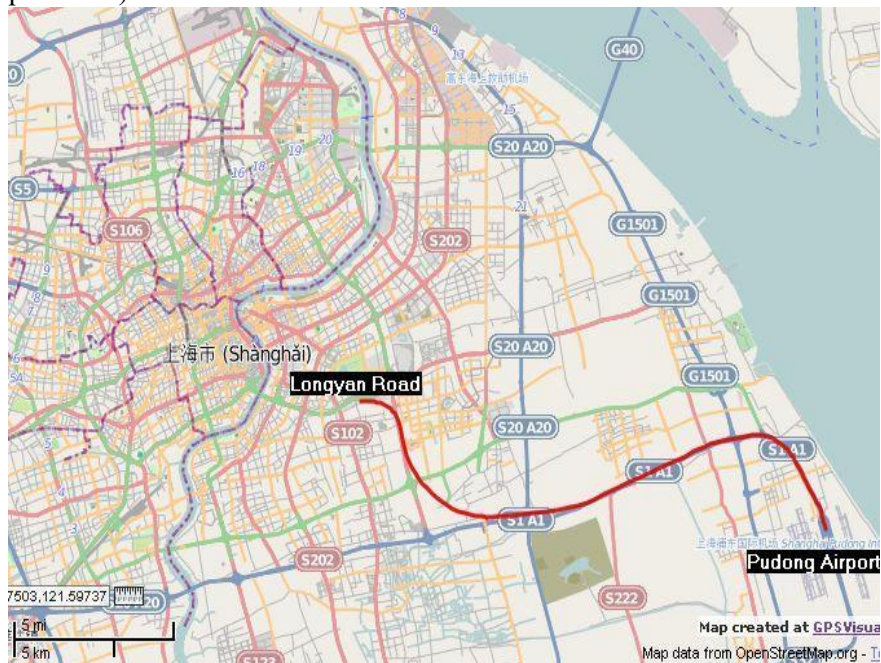


Рис. 1.14. Високошвидкісна комерційна лінія Maglev у Китаї
Джерело: ⁹⁹.

releases/hyperloop-transportation-technologies-inc-reveals-hyperloop-levitation-system-300264946.html

⁹⁹ GPS tracking of the journey in a Maglev train to Shanghai Pudong Airport.
URL: <http://maglevgps.yolasite.com/>

Загальна характеристика ліній Maglev

Країна	Назва лінії	Швидкість поїздів, км/год	Оператор	Протяжність ліній, км
Китай	Шанхайська лінія Maglev	431	Shanghai Maglev Transportation Development Co., Ltd	30,5
	Чанша Maglev		Хунань Maglev транспорт	18,55
	Пекін S1 Line	105	Beijing Mass Transit Railway Operation Co.	10,2
	Розроблено сім проєктів Maglev			
Японія	Linimo Urban Maglev	100	Aichi Rapid Transit Co., Ltd. та Aichi Kōsoku Kōtsu Kabushiki Kaisha	8,9
	Яманасі Maglev	603		тестова лінія
	The Chūō Maglev Shinkansen (проєкт)	505	JR Central	286
Корея	Інчхон Maglev	111	Incheon Transit Corp.	6,1
	Daejeon			1
	Підготовлено два проєкти щодо продовження існуючої лінії			

Джерело: складено Сктасюк О.М.

Будівництво лінії розпочалося у березні 2001 р., а в експлуатацію вона уведена в січні 2004 р. Значна частина траси прокладена по заболоченій місцевості. Кожна опора естакади розташовується на бетонній подушці, що у деяких місцях досягає товщини 85 м. Трансрапід Maglev Шанхай, протяжністю 30,5 км (19,0 милі) – це магістраль з двома шляхами та з двома станціями – на Long Yang Road та у міжнародному аеропорту Пудун, плюс дві підстанції та один центр управління операціями, що дозволяє долати відстань менше, ніж за вісім хвилин. Поїзди зазвичай досягають швидкості 350 км/год за дві хвилини. Максимальна швидкість досягається при нормальній роботі 431 км/год (268 миль/год). Під час тестового запуску в листопаді 2003 р. поїзд Maglev досяг максимальної

Розділ 1. Глобальні тенденції, виклики та перспективи...

швидкості у 501 км/год¹⁰⁰. При такій швидкості відстань між Пекіном і Шанхаєм можна буде подолати всього за дві години, а подорож із Лондона до Парижа становитиме трохи більше півгодини¹⁰¹.

Лінія експлуатується Shanghai Maglev Transportation Development Co., Ltd і працює з 06:45 до 21:30, із сервісом кожні 15–20 хвилин, 15 годин на добу, сім днів на тиждень із обслуговуванням/ремонтom, запланованим у нічні години.

Таблиця 1.8

Характеристики експлуатації лінії

Відправлення (Origin)	Pudong Airport
Місце призначення (Destination)	Longyang Rd.Metro Station
Експлуатаційні години (Operating Hours)	Pudong Airport Longyang Road 7:02-21:42 Longyang Road Pudong Airport 6:45-21:40
Інтервал/хв. (Interval/min)	15 mins before 7:02 PM 20 mins after 7:02 PM
Вартість/юанів (Fare/RMB)	Single Trip: 50 for Economy, 100 for VIP / Round Trip: 80 for Economy, 160 for VIP
Максимальна швидкість (Maximum speed), км/год	300 km/h (7:02-8:47, 11:02-14:47, 17:02-21:42) 430 km/h (9:02-10:47, 15:02-16:47)

Джерело: узагальнено Стасюк О.М. на основі¹⁰².

Цей проєкт розглядається в Китаї не тільки з місцевої точки зору, а й як важливий демонстраційний проєкт на базі нових технологій перевезення XXI ст.

¹⁰⁰ Shanghai Maglev Transportation Development Co., Ltd. URL: <http://www.smtdc.com> SMT;

China claims train blue riband. URL: <https://www.theguardian.com/world/2003/jan/01/china.johngittings>

¹⁰¹ Самый быстрый в мире поезд на магнитных подушках сделают в Китае. URL: <https://ecotechnica.com.ua/transport/1598-samyj-bystryj-v-mire-poezd-na-magnitnykh-podushkakh-sdelayut-v-kitae.html>

¹⁰² Shanghai Maglev. Pudong Airport. URL: https://web.archive.org/web/20150217050443/http://en.shairport.com/2012-11/09/content_15904433.htm

Квиток в один бік коштує 50 юанів (8 дол. США), а квиток в обидва кінці коштує 80 юанів (12,80 дол. США), тоді як VIP-квитки коштують удвічі більше за стандартний тариф.

Китайська компанія CRRC, найбільший у країні виробник залізничної техніки, приступає до будівництва нового поїзда на магнітних подушках, здатного розвивати швидкість до 600 км/год. Крім основного надшвидкісного потягу, CRRC також має намір тестувати на спеціально побудованому випробувальному треку довжиною 5 км і менш швидкісні версії на 200 км/год і на 400 км/год, які планується продавати за межами країни. У компанії заявляють, що в нових поїздах вдасться скоротити споживання енергії на 10%, порівняно зі споживанням енергії поїздами Maglev, які сьогодні експлуатуються у країні. Один з таких поїздів курсує між станцією шанхайського метро Long Yang і міжнародним аеропортом Пудун¹⁰³.

Спочатку було оголошено, що проєкт продовжуватиметься до 2010 р., а лінія буде подовжена до аеропорту Хунцяо і далі на південний захід до Ханчжоу – столиці провінції Чжецзян, після чого її довжина мала становити 175 км. Однак у 2008 р. будівництво було призупинено і терміни перенесені до 2014 р. Але, оскільки у жовтні 2010 р. було запущено в експлуатацію високошвидкісну залізницю Шанхай – Ханчжоу, продовження лінії Maglev вважають нереальним, хоча про припинення будівництва не оголошувалося.

Друга лінія Maglev у Китаї була побудована між міжнародним аеропортом Чанша Хуанхуа, станцією Ланглі та Південним залізничним вокзалом Чанша. Її протяжність 18,55 км, близько 90% яких знаходяться в окрузі Чанша, вона проходить через 12 сіл (громад), міста Хуансін, Ганьшань та Хуанхуа. Тривалість поїздки – близько десяти хвилин¹⁰⁴. Випробування поїздів розпочалися в

¹⁰³ Самый быстрый в мире поезд на магнитных подушках сделают в Китае. URL: <https://ecotechnica.com.ua/transport/1598-samyj-bystryj-v-mire-poezd-na-magnitnykh-podushkakh-sdelayut-v-kitae.html>

¹⁰⁴ Changsha maglev project in progress. URL: http://www.chinadaily.com.cn/m/hunan/changshacounty/2014-11/27/content_18988472.htm

грудні 2015 р., а з травня 2016 р. лінія відкрилася для пасажирів і було розпочато регулярні перевезення¹⁰⁵.

Пекін S1 Line. Пекінське метро використовує технологію низькошвидкісного Maglev, що дозволяє максимальну швидкість 105 км/год, розроблену Університетом оборонних технологій. Шестиколісні магнітні поїзди були побудовані залізничною транспортною компанією Таншань, дочірньою компанією CRRC. Лінія була відкрита в грудні 2017 р. Її експлуатує операційна компанія Beijing Mass Transit Railway Operation Co. S1 Line представляє певну спробу Пекіну вирішити екологічні проблеми, пов'язані з використанням автомобілів та швидкою урбанізацією, шляхом модернізації міських залізничних систем. Побудова лінії S1 відбулася взамін незрозумілому на початках плану створення декількох приміських залізничних ліній у Пекіні¹⁰⁶.

Японія

The Chūō Maglev Shinkansen¹⁰⁷ – це запропонована магнітна лінія в Японії, що зв'яже Токіо, Нагоя та Осаку (рис. 1.15). З'єднання Токіо і Нагоя забезпечуватиме більш пряму лінію та час проїзду між двома містами за 40 хвилин, зменшуючи його приблизно на 50% порівняно з існуючою лінією Tokaido Shinkansen. При цьому максимальну швидкість таких Maglev обмежать на позначці 505 км/год¹⁰⁸.

Проект розроблявся Центральною японською залізничною компанією (JR Central), яка здійснюватиме нагляд за всіма будівельними та фінансовими аспектами проєкту. Central Japan Railway

¹⁰⁵ Trial operation of magnetic levitation line in Changsha to start. URL: <http://en.people.cn/n3/2016/0505/c90000-9053671.html>;

Maglev trains herald a new future for China's transport sector. China Daily Information Co. URL: <https://www.chinadaily.com.cn/a/201909/20/WS5d842a32a310cf3e3556c889.html>

¹⁰⁶ Nation New maglev line to connect western Beijing. URL: <http://en.people.cn/90882/7574518.html>;

New maglev projects on track for launch next year. URL: http://china.org.cn/china/2014-07/09/content_32898465.htm

¹⁰⁷ Work starts on Chuo maglev. URL: <https://www.railwaygazette.com/news/high-speed/single-view/view/work-starts-on-chuo-maglev.html>

¹⁰⁸ Японский маглев установил новый рекорд скорости. URL: https://24tv.ua/ru/japonskij_maglev_ustanovil_novyj_rekord_skorosti_n567823

намір запустити швидкісні поїзди на магнітній подушці між містами Токіо і Нагоя до 2027 р. Будівельні роботи займуть майже 10 років; проходження близько 85% лінії очікується в тунелі. Підготовчі роботи з будівництва двох станцій (етап 1) на обох кінцях розпочалися у грудні 2014 р. Перший етап передбачає будівництво 285,6-кілометрової надпровідної лінії Maglev. Перший етап включатиме шість станцій. Будівництво тунелю Minami Alps у префектурі Яманаші розпочалося у грудні 2015 р., а будівництво підземної станції Синагава розпочалося в січні 2016 р.

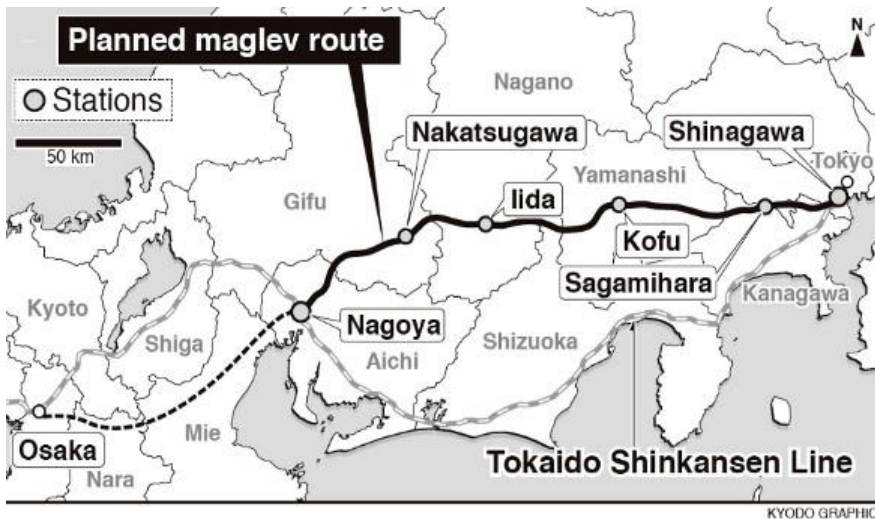


Рис. 1.15. Проектна високошвидкісна лінія Maglev в Японії
Джерело: ¹⁰⁹.

Загальний обсяг інвестицій на першому етапі оцінюється у розмірі 5,52 трлн JPY (приблизно 52 млрд дол. США), що також включає вартість рухомого складу, а загалом вартість проекту становитиме приблизно 82 млрд дол. США на будівництво.

Пізніше планується розширити лінію до Осаки. Це другий етап, який має розпочатися у 2027 р. і завершитися до 2045 р., що згодом знизить навантаження авіалінії між двома містами. Чу Сінкансен

¹⁰⁹ The futur Maglev between Tokyo and Osaka Also called the Linear Chuo Shinkansen. URL: <https://www.japan-rail-pass.com/japan-by-rail/travel-tips/maglev-tokyo-osaka>

або Центральна лінія з Токіо до Осаки зможе перевезти 1000 пасажирів уздовж траси 176 миль (286 км) за 67 хв¹¹⁰.

JR Central – компанія з дуже великим доходом. Тільки за останній фінансовий рік вона заробила чистих 2,95 млрд дол. США. Тому наявні активи і кредитні угоди швидше за все зможуть покрити вартість будівництва. Більше того, японські аналітики відзначають, що за бажання JR Central може виготовити свій потяг набагато швидше. Крім цього, сама JR Central вважає, що якість сервісу, який надається в рамках поїздки на їх Maglev, зможе переконати людей менше покладатися на авіакомпанії. При цьому прогнозована вартість квитків на L-Zero буде всього на 700 єн вища за нинішню вартість квитка на поїзди, що наразі задіяні на залізницях Японії¹¹¹.

Негативна тенденція спаду рівня населення в Японії, де, за прогнозами до 2027 р., кількість населення може знизитися з 127 до 117 млн осіб, а до 2060 р., – можливо, до 80 млн, що, відповідно, може негативно вплинути на реалізацію проєкту¹¹².

У грудні 2003 р. триколісний потяг (JR-Maglev MLX01) досяг максимальної швидкості 581 км/год (361 миль/год) на керованому транспортному засобі. Японські потяги Maglev технічно здатні досягати набагато більших швидкостей. Цей рекорд в Японії протримався 12 років.

Перевірки на великі відстані проводяться на тестовій лінії Яманасі Maglev (рис. 1.16), яка була побудована саме для проєкту Чу Сінкансен та розробки поїздів нової серії L0 (L Zero) Maglev.

У квітні 2015 р. серія L0 (L Zero) поїзда Maglev фіксувала максимальну щоденну відстань 4064 км, а також зареєструвала максимальну швидкість світового рекорду 603 км/год на маршруті¹¹³. Довжина поїзда Series L0 становить усього 28 м, включаючи

¹¹⁰ Can megafast maglev revive Japan's rail reputation? URL: <https://edition.cnn.com/travel/article/japan-record-breaking-maglev-train/index.html>

¹¹¹ JR Central. URL: <https://asia.nikkei.com/Companies/Central-Japan-Railway-Co>

¹¹² Японский «левитирующий» поезд. URL: <https://hi-news.ru/technology/yaponskij-levitiruyushhij-poezd-proxodit-uspeshnye-ispytaniya.html>

¹¹³ Chuo Shinkansen Maglev Line. URL: <https://www.railway-technology.com/projects/chuo-shinkansen-maglev-line/>

15-метровий локомотив з дуже загостреним «носом» для максимального зниження опору повітря на надвисокій швидкості¹¹⁴.

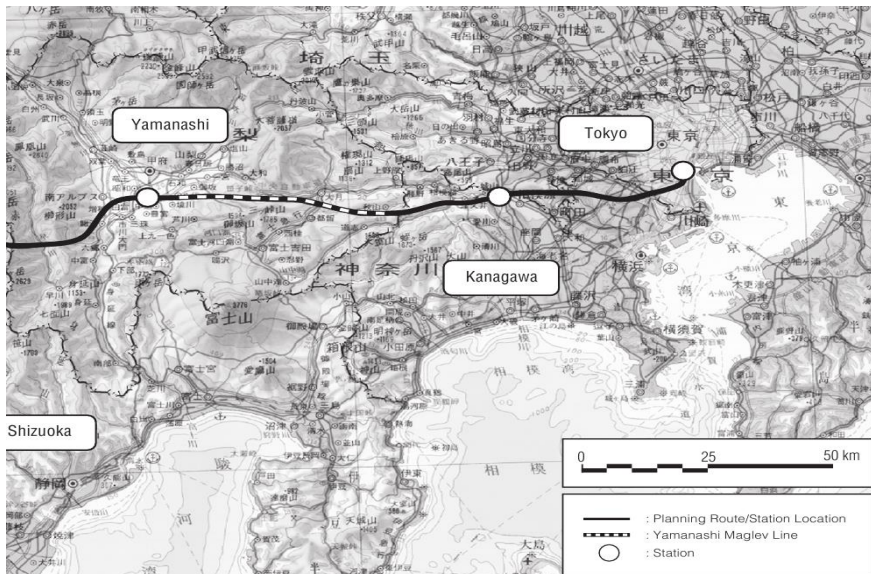


Рис. 1.16. Тестова лінія Яманасі Maglev в Японії

*Джерело:*¹¹⁵.

Потяги JR-Maglev використовують систему електродинамічної підвіски (EDS). Однією з причин, чому японці використовують систему EDS, є ширший проміжок повітря. Японська проблема полягає в тому, що у випадку землетрусу магніти системи Transrapid можуть торкнутися статора, оскільки електродвигун EMS знаходиться від нього на відстані лише 1 см і повинен постійно контролюватися. Натомість японська система має повітряну щілину близько 10 см і є самостійною¹¹⁶.

¹¹⁴ В Японії завершилися іспити нового поезда на магнитной подушке. URL: <http://bibo.kz/hochu-znat/788128-v-kitae-razrabatyvayut-super-poezd-s-teoreticheskoy-skorostyu-2900-km-ch.html>

¹¹⁵ Mamoru Uno. Chuo Shinkansen Project using Superconducting Maglev System. URL: <http://www.ejrcf.or.jp/jrtr/jrtr68/pdf/14-25.pdf>.

¹¹⁶ Chuo Maglev Shinkansen. URL: https://web.archive.org/web/20141208191856/http://magnetbahnforum.de/index.php?en_faf_chuomaglev

На відміну від електромагнітної підвіски (EMS) поїздам, створеним за технологією EDS, потрібні додаткові колеса під час руху на малих швидкостях (до 150 км/год). При досягненні певної швидкості колеса відокремлюються від землі і поїзд «летить» на відстані кількох сантиметрів від поверхні. У разі аварії колеса також дозволяють здійснити більш м'яку зупинку поїзда. Однак за вартістю будівництва і експлуатації EDS-система реалізована JR-Maglev дорожче за EMS-систему Transrapid¹¹⁷.

Японія планує продавати свої високошвидкісні технології Maglev, розглядаючи їх як частину спроби відродження третьої за величиною економіки світу через експорт інфраструктури¹¹⁸.

Linimo Urban Maglev¹¹⁹ – формально високошвидкісна лінія Aichi Tobu Kyuugo, інша назва лінії Лінімо. Лінія магнітної левітації в місті Нагоя слугує місцевою лінією приміського транспорту. Комерційна автоматизована система «Urban Maglev» розпочала свою роботу в березні 2005 р. в Аїті, Японія. Лінія охоплює 8,9 км (5,6 миль) та має дев'ять станцій. Траса складається з двох металевих рейок у формі перевернутого U, в якому утримується магнітне поле. За перші три місяці експлуатації цю лінію «міський Maglev» використовували понад 10 млн пасажирів.

Власником та оператором Linimo Urban Maglev є Aichi Rapid Transit Co., Ltd. та Aichi Kōsoku Kōtsu Kabushiki Kaisha. Поїзд має максимальну швидкість 100 км/год і не призначений для роботи на високій швидкості, оскільки це система поїздів та причепів. Поїзди розроблені Chubu HSST Development Corporation. Технологія HSST, заснована на магнітній тязі, є технічно простішою, ніж та, що необхідна для високошвидкісного надпровідного магніту, який розробляється Центральним та Японським залізничним науково-дослідним інститутом (RTRI). Лінімо вважається першим у світі

¹¹⁷ Maglev. URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/JR-Maglev>

¹¹⁸ Japan's maglev train breaks world speed record with 600km/h test run. URL: <https://www.theguardian.com/world/2015/apr/21/japans-maglev-train-notches-up-new-world-speed-record-in-test-run>

¹¹⁹ Linimo Urban Maglev. URL: <https://www.maglevboard.net/en/facts/systems-overview/linimo-urban-maglev/>;
Japan's Maglev Train. URL: http://www.gizmohighway.com/transport/japan_maglev_train.htm

комерційним автоматизованим «Urban Maglev». Проблемами лінії є обмежена проектна місткість – 244 пасажери; також з міркувань безпеки лінія повинна бути закрита, якщо швидкість вітру перевищує 25 м/с.

Південна Корея

Інчхон Maglev – магнітна лінія у Південній Кореї. Це друга у світі міська лінія Maglev, що працює на комерційній основі після лінії Лінімо в Японії. Програма Urban Maglev у Кореї почалася в грудні 2006 р. Цілі програми – розвинути конкурентоспроможний міський Maglev¹²⁰. У проєкті взяли участь 20 державних установ та приватних компаній, у тому числі Корейський інститут машинобудування та матеріалів, Корейська мережа залізниць та Hyundai Rotem, що виробляє рухомий склад, засоби захисту та обладнання для заводів і є частиною Hyundai Motor Group. У 2006 р. Hyundai Rotem спочатку розробив магнітний поїзд за своєю власною технологією. Будівництво розпочалося у 2010 р., а сама лінія була відкрита в лютому 2016 р. Довжина лінії становить 6,1 км, включаючи шість станцій і депо уздовж лінії. Потяг розвиває максимальну швидкість 111 км/год. Оператором є Південно-корейська компанія Incheon Transit Corp. Як другий комерційний оператор Maglev компанія Hyundai Rotem планує експорт власної технології Maglev Train за кордон, у тому числі у США, Росію, Малайзію та Індонезію, які висловили свою зацікавленість у наданні послуг¹²¹. Ця лінія Maglev спеціально використовує електромагнітну підвіску (EMS) і двигун лінійного асинхронного двигуна (LIM). Планується ще два етапи – 9,7 км та 37,4 км. Після завершення проєкту Maglev у Кореї, він стане круговою лінією¹²².

Daejeon – перший Maglev, що використовує електромагнітну підвіску HML-03, зроблений Hyundai Heavy Industries для Daejeon Expo в 1993 р. Після п'яти років досліджень та виготовлення двох прототипів

¹²⁰ S. Korea unveils first urban maglev train. URL: <http://en.people.cn/90777/8627473.html>

¹²¹ Korea debuts urban magnetic levitation train. URL: <https://raillog-korea.kr.messefrankfurt.com/busan/en/visitors/news/industry-news/ind-news-1602030.html?nc>

¹²² Review on Incheon International Airport & Urban MagLev Interface. URL: www.maglev.ir/eng/documents/papers/.../maglev2011/DPO-10.pdf

– HML-01 і HML-02 – він був відкритий для широкого загалу. Дослідження для міських Maglev, що використовують електромагнітну підвіску, розпочалося урядом у 1994 р. Перший міський Maglev UTM-02 був відкритий у Daejeon 21 квітня 2008 р. після 14 років розробки та створення одного прототипу UTM-01. Потяг Maglev курсує на 1 км доріжки від Парку Експо та Національного музею наук. Однак UTM-02 усе ще є другим прототипом остаточної моделі¹²³. Остання модель UTM міського Maglev Rotem – UTM-03 використовується на лінії аеропорт «Інчхон» Maglev. Загальна вартість Expo Authority – 487,97 млн дол. США¹²⁴.

Магнітолевітаційні транспортні системи Maglev Systems слід розглядати та оцінювати в контексті існуючої інфраструктури, наявних ресурсів та майбутніх потреб суспільства. Зважаючи лише на перспективи та бар'єри технологій, Maglev, не беручи до уваги відповідний економічний контекст, не може визначити реалістичне, правильне рішення для майбутнього.

Потрібно зазначити, що після того, як з'ясувалося, що Maglev можна використовувати не тільки як надшвидкісні потяги, а й як заміну міським трамваям та метро, інтерес до магнітолевітаційного транспорту помітно зріс.

Оскільки системи Maglev викликають зацікавленість у всьому світі, експерти очікують, що вартість будівництва знизиться, оскільки нові методи будівництва будуть інноваційними, а також через економію на масштабі. На сьогодні існує суспільна зацікавленість та попит на розробку майбутньої архітектури шляху.

1.5. Перспективи розвитку Hyperloop у світі¹²⁵

Для сучасних традиційних транспортних технологій основними лімітуючими факторами і гальмом прогресу слугують недостатні граничні швидкості транспортних засобів, низькі транспортна ефективність, пропускна і провізна здатність транспортних магістралей. На сьогодні постала потреба у розробках високотех-

¹²³ Maglev. URL: <http://www.railsystem.net/maglev/>

¹²⁴ Taejon, South Korea 1993 Expo '93, The Challenge of a New Road to Development. URL: <http://jdpecon.com/expo/wftaejon1993.html>

¹²⁵ Підрозділ 1.5 підготовлено за участю О.М. Стасюк.

нологічних інноваційних видів транспорту, здатних поєднати переваги, які надає авіаційний транспорт з позицій швидкості, а також комфорт та доступність наземних видів транспорту. Таким чином, сьогодні економічно і технічно прийнятним рішенням підвищення швидкості наземного транспорту є створення, поряд із системою «колесо-рейка», системи магнітного підвісу і заміни навколишнього середовища на штучно створену вакуумну систему.

Проект транспортної системи, заснованої на використанні штучно створеного вакуумного середовища для руху транспортного засобу за принципом магнітної або аеролевітації, безумовно відноситься до проєктів, що базуються на проривних для традиційних видів транспорту технологіях, оскільки проєктовані та заявлені характеристики нового продукту в разі перевершують відповідні характеристики традиційного наземного транспорту. Сучасними прикладами таких «проривних» технологій є поява мобільного зв'язку відносно провідного, цифрових пристроїв зберігання інформації проти аналогових та ін.

Усі «проривні» пропозиції і проєкти в галузі транспорту переслідують досягнення нового рівня послуг, зважаючи на такі підходи, як: безпечність, швидкість, масовість і низький рівень собівартості, швидкість та гнучкість надання послуг, їх адресність, більшу зручність, незалежність від погоди тощо, визначаючи таким чином транспорт п'ятого покоління.

Транспорт п'ятого покоління – це не тільки електромобілі, автомобілі на водні та всі інші види автомобілів, а й надшвидкісні потяги Hyperloop.

Hyperloop – це концепція дуже швидкісного, фіксовано-керованого перевезення наземного транспорту.

Концепція Hyperloop уперше була описана Ілоном Маском у 2013 р. та полягає у використанні труби з низьким тиском і спеціально розроблених капсул, які перевозять людей або вантаж на швидкості, що перевищує 700 миль/год¹²⁶. Ілон Маск розглядає Hyperloop як п'ятий вид транспорту поряд із літаками, поїздами, автомобілями і кораблями. Це буде абсолютно новий клас мобіль-

¹²⁶ Musk E. Hyperloop Alpha. *Tech. rep.*, SpaceX. 2013. 58 p. URL: https://www.spacex.com/sites/spacex/files/hyperloop_alpha.pdf

ності. Єдина транспортна система, що наближається до цієї швидкості, – це Maglev в Азії.

Ілон Маск вдався до нового підходу, надавши свою ідею як технологію з відкритим вихідним кодом для покращення іншими командами. Його підхід – це проведення конкурсів на відкритій основі як гарний спосіб просунути концепцію Hyperloop у подальшому. Маск виклав своє бачення дизайну Hyperloop і заохочував інших також зробити у це свій внесок. SpaceX розпочав конкурс Hyperloop Pod¹²⁷ у 2015 р.

Метою конкурсу є підтримка розробки функціональних прототипів і заохочення інновацій, виклик студентським командам для розробки і створення кращої високошвидкісної капсули. У 2015–2017 рр. відбулося три етапи: конкурс дизайну – у січні 2016 р. і два змагання на виїзді – у січні 2017 р. (переможці – Delft Hyperloop, WARR Hyperloop) і в серпні 2017 р. (переможці – команда WARR з Мюнхенського технічного університету, яка показала найкращий результат: капсула WARR масою близько 80 кг зуміла всередині тунелю розвинути швидкість у 324 км/год (201 миль на годину).

Третій конкурс був проведений у серпні 2018 р. і команда WARR Hyperloop з Мюнхенського технічного університету виграла головний приз, установивши новий рекорд і обійшовши власний попередній. Їх самохідна платформа досягла максимальної швидкості 284 миль на годину (457 км/год).

WARR Hyperloop став одним із трьох фіналістів для участі в конкурсі. Командам було доручено розробити капсулу для переміщення по трубі завдовжки три чверті милі (1,2 км). Головним критерієм була максимальна швидкість, а єдиною іншою вимогою – те, щоб всі капсули були самохідними. Разом із WARR іншими кваліфікованими командами були Дельфтський університет з Нідерландів і EPF Loop зі Швейцарії¹²⁸. На ранніх стадіях змагання зафіксували понад 1000 претендентів.

¹²⁷ Конкурс «SpaceX Hyperloop Pod» – це щорічні змагання міжнародних команд, які розробляють капсулу для Hyperloop, що проводиться в штаб-квартирі SpaceX у місті Готорн за підтримки SpaceX та The Boring Company (штат Каліфорнія) починаючи з 2015 р.

¹²⁸ WARR Hyperloop pod hits 284 mph to win SpaceX competition. URL: <https://www.theverge.com/2018/7/22/17601280/warr-hyperloop-pod-competition-spacex-elon-musk>

Грунтуючись на цих успіхах, SpaceX продовжує змагання. Як і раніше, змагання оцінюватимуться за одним критерієм: максимальна швидкість з успішним уповільненням (без збоїв). Усі капсули повинні бути самохідними. Ключовими оновленнями правил конкурсу 2019 р. стало те, що¹²⁹:

1) команди повинні використовувати свою власну систему зв'язку. SpaceX не надаватиме систему зв'язку on-Pod, відому як Network Access Panel (NAP);

2) піддони повинні бути спроектовані та випробувані та мають просунутися у межах 100 футів від далекого кінця труби до зупинки. Щорічний конкурс серед команд Hyperloop дає змогу стежити за прогресом. Незалежно від того, яка команда перемагає у конкурсі, концепція Hyperloop поступово просувається вперед. Конкурентне змагання проектних команд у створенні вакуумно-левітаційної капсули (транспортної системи) дозволить уже в найближчі роки домогтися створення якісно нової системи транспортних послуг, яка, у свою чергу, впливатиме на трансформацію соціально-економічних зв'язків як усередині країн, так і в глобальному просторі.

Hyperloop – це не тільки нові технології. На момент анонсування Ілоном Маском ідеї окремі елементи технології вже існували – лінійні електродвигуни, вакуумні насоси, магнітна левітація. Hyperloop не потрібно створювати з нуля. Головне, що всі ці технології слід реалізувати разом, що є складним завданням, над яким зараз працює багато компаній.

Після презентації проекту Hyperloop фахівці компанії Ansys, які спеціалізуються на комп'ютерному моделюванні, вирішили протестувати технологію. Після проведення всіх потрібних вимірів і моделювання всіляких ситуацій вони дійшли висновку, що проект дійсно можна реалізувати. Їх результати дали поштовх для його подальшої реалізації¹³⁰.

¹²⁹ Hyperloop. URL: <https://www.spacex.com/hyperloop>

¹³⁰ Все о Hyperloop – чей проект, как работает, что уже сделано. URL: https://blog.allo.ua/hyperloop-transport-budushhego_2017-09-39/

Проект зацікавив багато команд. Серед них особливо виділяються дві основні компанії: Hyperloop Transportation Technologies (HTT) і Virgin Hyperloop One (H1)¹³¹.

Hyperloop Transportation Technologies (HTT) була створена для реалізації проекту транспортної системи Hyperloop. З моменту свого заснування HTT швидко виросла, включивши понад 800 висококваліфікованих інженерів, архітекторів, науковців, розробників комп'ютерів, планувальників транспорту і фахівців з будівництва, які спільно працюють над плануванням, проєктуванням і побудовою цього абсолютно нового виду транспорту.

Штаб-квартира HyperloopTT знаходиться в Лос-Анджелесі (Каліфорнія). HTT має офіси в Абу-Дабі та Дубаї (ОАЕ); Братиславі (Словаччина); Тулузі (Франція); Контагем (Бразилія) і Барселоні (Іспанія). HyperloopTT підписала угоди в США, Словаччині, ОАЕ (Абу-Дабі), Чехії, Франції, Індії, Індонезії, Бразилії, Кореї та Україні.

HTT має ексклюзивну угоду з Національною лабораторією Лоуренса Лівермора та використовує їх систему пасивної магнітної левітації як основу недорогої, безпечної конструкції і дизайну в Hyperloop™. HyperloopTT забезпечила свої технологічні інновації та інтелектуальну власність численними патентами, включаючи товарні знаки, випущені більш ніж у 33 країнах.

Стратегічними партнерами є:

- щодо досліджень: LLNL, CEA Tech;
- щодо дизайну: Priestman Goode, MAD Architects, Mormedi;
- щодо інженерії: Dar Al-Handasah, ATKINS, Leybold;
- щодо виробництва: Arti Haizea Group, Pakadar;
- щодо послуг: Paul Hastings, Munich Re, TÜV SÜD;
- щодо цифрового супроводу: Nvidia, SonyPictures¹³².

Virgin Hyperloop One – це компанія із штаб-квартирою в Лос-Анджелесі, заснована Шервіном Пішеваром і президентом з

¹³¹ Все, что вы хотите знать о Hyperloop: ответы на часто задаваемые вопросы. URL: <https://www.popmech.ru/technologies/398662-vse-chto-vy-hotite-znat-o-hyperloop-otvety-na-chasto-zadavaemye-voprosy/>

¹³² HyperloopTT Reveals Full-Scale Passenger Capsule. URL: <https://hyperloop.global>

інженерних розробок Джошем Гігелем¹³³. Компанія повністю побудувала працюючу систему Hyperloop, включає провідних світових експертів у сферах проєктування, технологій і транспортних проєктів, які працюють над реалізацією Hyperloop у tandemі з глобальними партнерами та інвесторами.

Компанія успішно експлуатує повномасштабну капсулу Hyperloop на електричній тязі та електромагнітній левітації в умовах, близьких до вакууму, і працює над реалізацією принципово нового виду транспорту, що є більш швидким, безпечним, дешевим, ніж існуючі. Пасажири або вантаж завантажуються у транспортний засіб Hyperloop, який, поступово прискорюючись, за допомогою електричної тяги через трубу низького тиску ковзає над рейкою за допомогою магнітної левітації на швидкостях літака на великі відстані завдяки наднизькому аеродинамічному опору.

Virgin Hyperloop One підтримується ключовими інвесторами, у тому числі DP World, Caspian VC Partners, Virgin Group, Sherpa Capital, Aby-DabyCapitalGroupSNCF, GE Ventures, Formation 8, 137 Ventures, WTI та ін.¹³⁴

Наразі компанія працює з урядами, партнерами та інвесторами по всьому світу, щоб реалізувати Hyperloop упродовж років, а не десятиліть¹³⁵.

На виставці CES 2018 Virgin Hyperloop One публічно представила свою капсулу першого покоління і продемонструвала версію програми для пасажирів, яка призначена для подорожей у реальному часі, на вимогу, в усій транспортній екосистемі. Пасажири зможуть планувати, бронювати і оплачувати Hyperloop-подорож та інші види транспорту, включаючи громадський та приватний, використовуючи додаток. Додаток є останньою версією, яку буде випущено з використанням набору для розробки

¹³³ Introducing Virgin Hyperloop One. URL: <https://hyperloop-one.com/introducing-virgin-hyperloop-one>

¹³⁴ DP World and Virgin Hyperloop One Introduce DP World Cargospeed. URL: <https://hyperloop-one.com/dp-world-and-virgin-hyperloop-one-introduce-dp-world-cargospeed>

¹³⁵ Virgin Hyperloop One Chosen To Represent United States As Apex Of Global Innovation At World's Fair, Expo 2020, In Dubai. URL: <https://hyperloop-one.com/virgin-hyperloop-one-chosen-represent-united-states-apex-global-innovation-worlds-fair-expo-2020-dubai>

мобільних додатків HERE Technologies для бізнесу, який забезпечує детальні можливості визначення місця розташування, картографії та навігації для 136 країн, інформацію про громадський транспорт для більш ніж 1300 міст і тривимірні карти приміщень і об'єктів¹³⁶.

Саме тому як новий вид наземного транспорту Hyperloop займаються не лише SpaceX та Ілон Маск, а й ряд компаній (табл. 1.9), серед яких вже згадані вище Hyperloop Transportation Technologies (HTT) та Virgin Hyperloop One (VHO), а також Trans Pod, DGW Hyperloop, Hardt Global Mobility, rLoop, Hyper Poland, Hyper Chariot, Zeleros, The Boring Company, які працюють над перетворенням ідеї в діючу комерційну систему. Вони досліджують Hyperloop з різних позицій, наприклад, розробки капсули, труби, з точки зору його впливу на навколишнє середовище, витрат, питань безпеки, регуляторних та політичних питань та визначення подальших досліджень, пов'язаних із технологією.

Перелік наведених компаній не повинен розглядатися як вичерпний, оскільки створюються нові команди, а інші припиняють свою діяльність. Проте було би корисно провести подальші дослідження, щоб визначити не лише основних розробників, а більшою мірою зрозуміти весь процес створення транспортної системи Hyperloop. Це може включати: додаткових розробників Hyperloop; організації, що беруть участь у розробці великих інфраструктурних проєктів, та компанії-підприємці/інвестори (наприклад, Virgin, що інвестувала в Hyperloop One); інженерних консультантів для вивчення аспектів планування та будівництва, включаючи тунелювання; аерокосмічні підприємства; промислові підприємства; експертів щодо автономних систем управління та комунікаційних технологій транспортного засобу; експертів з питань безпеки у Hyperloop; страхування тощо¹³⁷.

¹³⁶ Virgin Hyperloop One Shares First Look at the Hyperloop End-to-End Passenger Experience and Publicly Unveils Test Pod Fresh from Historic Test Run. URL: <https://hyperloop-one.com/virgin-hyperloop-one-shares-first-look-hyperloop-end-end-passenger-experience-and-publicly-unveils-test-pod-fresh-historic-test-run>

¹³⁷ Hyperloop Opportunity for UK Supply Chain. Final Report (September 2018). URL: https://s3-eu-west-1.amazonaws.com/.../2018/.../00601_Hyp...

Основні компанії, що працюють над розробкою Hyperloop

№ п/п	Назва компанії	Офіційний сайт	Країна
1.	Hyperloop Transportation Technologies (HTT)	https://hyperloop.global	США
2.	Virgin Hyperloop One (VH1)	https://hyperloop-one.com/	США
3.	TransPod	https://transpod.com/en/	Канада
4.	DGW Hyperloop	http://www.dgwhyperloop.com/	Індія
5.	Hardt Global Mobility	https://hardt.global/	Нідерланди
6.	rLoop	https://www.rloop.org/	Global online community
7.	Hyper Poland	https://www.hyperpoland.com/	Польща
8.	Hyper Chariot	https://www.hyperchariot.com/	США
9.	Zeleros	https://zeleros.com/	Іспанія
10.	The Boring Company	https://www.boringcompany.com/	США

Джерело: складено Стасюк О.М., Чмирьовою Л.Ю. та Федяй Н.О.

Основними компонентами системи Hyperloop Transportation є ¹³⁸:

- 1) капсула,
- 2) труба,
- 3) двигун,
- 4) маршрут.

Капсула. Всі команди, які брали участь у конкурсах Hyperloop Pod, займалися розробкою капсул, працювали над їх дизайном тощо. Крім них, SpaceX займається розробкою власної капсули. Варто зазначити також, що над розробкою капсул працюють також і всі згадані вище компанії.

¹³⁸ Rohan Jacob, Rachel Phillip, Sonu Sunny, Joso George. Review of Hyperloop: The Fifth Mode of Transport. *International Journal of New Technology and Research*. March 2017. Vol. 3, Is. 3. P. 101–103. URL: https://www.ijntr.org/download_data/IJNTR03030045.pdf

Так, наприклад, капсули Quintero One HyperloopТТ спроектовані таким чином, щоб створити безпечне і гармонійне середовище для пасажирів, з індивідуальним інтер'єром. Внутрішній діаметр пасажирських і вантажних магістральних труб Hyperloop від НТТ становить чотири метри. Кожна капсула має довжину 30 метрів і може перевозити від 28 до 40 пасажирів. Система HyperloopТТ призначена для вильоту капсул кожні 40 секунд і розрахована на максимальну швидкість 1 223 км/год. Система HyperloopТТ здатна переміщувати 164 000 пасажирів на день на одній лінії з повною ефективністю¹³⁹.

Капсула QuinteroOne майже повністю побудована з вібраніуму™ HyperloopТТ – спеціально виготовленого двошарового інтелектуального композитного матеріалу. Капсула була побудована на аерокосмічних об'єктах партнера HyperloopТТ Airtificial у Південній Іспанії – нової компанії, утвореної в результаті злиття Carbures та інжинірингової компанії Inupsa. Дизайн капсули був створений у співпраці із всесвітньовідомим консультантом із дизайну транспорту Priestman Goode і отримав Золоту нагороду на Лондонській премії дизайну 2017 р. Quintero One Hyperloop Passenger Capsule має такі технічні характеристики:

довжина – 32 метри (105 футів),
внутрішня довжина кабіни – 15 метрів (50 футів),
вага – 5000 кг (5 т).

Інші елементи:

- 82 панелі з вуглецевого волокна,
- 72 датчики,
- 75 000 заклепок,
- 7 200 м² (1,8 акра) волокна¹⁴⁰.

Hyperloop ТТ розробила новий інтелектуальний матеріал Vibranium™, який називають найбезпечнішим у світі. Це композит-

¹³⁹ Hyperloop Transportation Technologies начала строительство своего трека во Франции. URL: <https://ecotechnica.com.ua/transport/3325-hyperloop-transportation-technologies-nachala-stroitelstvo-svoego-treka-v-frantsii.html>

¹⁴⁰ Hyperloop Transportation Technologies Reveals Full-Scale Passenger Capsule. URL: <https://www.prnewswire.com/news-releases/hyperloop-transportation-technologies-reveals-full-scale-passenger-capsule-300722775.html>

ний матеріал на основі вуглеволокна, який буде використовуватися лише як один із внутрішніх захисних шарів¹⁴¹.

Труба. Наразі діє дві тестові лінії Hyperloop – це полігон Devloop у пустелі біля Лас-Вегаса, що належить Virgin Hyperloop One, і випробувальний трек Tesla/SpaceX (труба приблизно в одну милю (1,6 км) довжиною та 6 футів (1,83 м) у зовнішньому діаметрі), який розташований поруч зі штаб-квартирою аерокосмічної компанії у Каліфорнії.

Devloop – це повномасштабний трек і представляє не петлю, а пряму 500-метрову трубу діаметром 3,3 метра, досить велику, щоб вмістити реальних пасажирів. На його обслуговуванні зайняті близько 500 співробітників¹⁴².

Крім цього, Hyperloop Transportation Technologies (HTT) приступила до будівництва свого власного випробувального треку Hyperloop у Тулузі (Франція), який стане третім у світі. Будівництво випробувального треку Hyperloop відбудеться у два етапи. Спочатку буде сконструйована закрита система довжиною близько 320 метрів. У 2019 р. компанія планувала побудувати трасу довжиною близько кілометра, що підноситься над землею на висоті п'ять метрів¹⁴³.

Virgin Hyperloop One (VH1) встановила історичний показник швидкості при тестуванні – майже 387 км/год (240 миль/год, 107 м/сек) під час третьої фази випробувань на DevLoop. Компанія досягла більшої швидкості та випробувала новий шлюз, який допомагає тестовим капсулам здійснити перехід між атмосферними та вакуумними умовами. Всі компоненти системи були успішно протестовані, включаючи:

- шлюзовий шлагбаум

¹⁴¹ Hyperloop Transportation Technologies показала капсулу Hyperloop із вибраніума. URL: <https://keddr.com/2018/10/hyperloop-transportation-technologies-pokazala-kapsulu-hyperloop-iz-vibraniuma/>

¹⁴² В США побудували тестову площадку для сверхскоростного поезда Hyperloop. URL: <https://nv.ua/techno/popscience/v-ssha-postroili-testovuju-ploshchadku-dlja-sverhskorostnogo-poezda-hyperloop-966657.html>

¹⁴³ Hyperloop Transportation Technologies начала строительство своего трека во Франции. URL: <https://ecotechnica.com.ua/transport/3325-hyperloop-transportation-technologies-nachala-stroitelstvo-svoego-treka-v-frantsii.html>

- високоефективний електродвигун,
- покращений контроль та силову електроніку,
- індивідуальну магнітну левітацію та управління,
- підвіску та вакуум.

Компанія Transpod (Канада), що займається розробкою Hyperloop, також планує побудувати випробувальний трек у 3,5 км, який коштуватиме 20 млн євро. Повномасштабний 6–10-кілометровий маршрут планується побудувати безпосередньо у Канаді.

У Швейцарії планують побудувати перший в Європі випробувальний трек Hyperloop, призначений для перевезення вантажів. Планується, що вантажі у ньому переміщуватимуться зі швидкістю до 900 км/год.

Проект буде реалізовано в комуні Колломбей-Мураз кантону Вале. Проект перебуває у віданні некомерційної дослідної установи EuroTube у партнерстві з Швейцарськими федеральними залізницями.

Будівництво траси довжиною у три кілометри планувалося на другу половину 2019 р. Теоретично капсули в трубі можуть переміщатися зі швидкістю до 1100 км/год, але максимальна швидкість на ділянці Вале становитиме 900 км/год¹⁴⁴.

У Нідерландах планується створити тунель довжиною у п'ять км, який коштуватиме близько 120 млн євро. Його будуватимуть разом із приватними інвесторами.

Але створювати тестові тунелі будуть не тільки в Нідерландах. Аналогічна робота проводитиметься у США, Великій Британії, Іспанії та деяких інших країнах. Щоб технологія стала посправжньому масовою, необхідно переконати в безпеці Hyperloop ще й потенційних пасажирів¹⁴⁵.

Маршрут. Virgin Hyperloop One (попередні назви Hyperloop One і Hyperloop Technologies), що активно займається розвитком ідеї високошвидкісних поїздів, провела Hyperloop One Global Challenge – перше свого роду змагання, націлене на виявлення і відбір місць

¹⁴⁴ Первый европейский Hyperloop построят в Швейцарии. URL: <https://korrespondent.net/world/4043392-pervyi-evropeiskiy-Hyperloop-postroiati-v-shveitsariyu>

¹⁴⁵ Hyperloop постепенно превращается из теории в реальный проект. URL: <https://habr.com/post/410817/>

розташування по всьому світу, із потенціалом для розробки та будівництва перших у світі мереж Hyperloop¹⁴⁶.

Virgin Hyperloop One Global Challenge стартував у травні 2016 р. із пропозицією щодо створення мереж Hyperloop, які зв'язують міста та регіони по всьому світу. Було зареєстровано понад 2600 команд, але коло учасників зменшили до 35 найсильніших пропозицій.

У вересні 2017 р. Hyperloop One оголосила 10 переможців конкурсу Hyperloop One Global Challenge. Серед країн, чії команди виграли, – США, Велика Британія, Канада, Мексика та Індія. Переможцям запропоновано тісно співпрацювати з Virgin Hyperloop One щодо досліджень життєздатності та втілення ідеї Hyperloop від пропозиції до реальності¹⁴⁷.

Було обрано десять виграшних маршрутів (табл. 1.10).

Таблиця 1.10

Десять виграшних маршрутів

Сполучені Штати Америку	Чикаго – Коламбус – Піттсбург
	Маямі – Орlando
	Шаєнн – Денвер – Пуєбло
	Даллас – Ларедо – Х'юстон
Канада	Торонто – Монреаль
Мексика	Мехіко – Гвадалахара
Велика Британія	Единбург – Лондон
	Глазго – Ліверпуль
Індія	Бенгалор – Ченнаї
	Мумбаї – Ченнаї

Джерело: узагальнено Стасюк О.М. на основі¹⁴⁸.

Крім необхідності вирішення технічних питань, існує ще одна проблема. Це вимоги регуляторів, тобто узгодження з ними технології та її реалізації. Адже в будь-якій країні потрібно отримати дозвіл будувати для комерційного використання системи, якщо така система передбачає можливість відправки людей у капсулі тунелем зі швидкістю 1000 км/год. Природно, що

¹⁴⁶ Hyperloop One Global Challenge launches to develop the world's first hyperloop networks. URL: <https://electrek.co/2016/05/10/hyperloop-one-global-challenge-worlds-first-hyperloop-networks/>

¹⁴⁷ Hyperloop One Global Challenge winners include India, US, UK, Canada, and Mexico. URL: <https://thenextweb.com/tech/2017/09/14/1076816/>

¹⁴⁸ Global-Challenge. URL: <https://hyperloop-one.com/global-challenge>

регулятори повинні переконатися в безпеці транспортної мережі, а для цього потрібні експертиза, технічний аналіз і багато іншого.

HyperloopTT стала першою у світі компанією, що зможе запропонувати застраховану комерційну систему. У співпраці з MunichRe, найбільшою у світі перестраховальною компанією, а також глобальною сертифікаційною та інспекційною компанією TÜVSÜD, урядами та партнерами HyperloopTT створює перші нормативні положення і необхідну правову основу для систем Hyperloop по всьому світу.

Огляд ринку технологій Hyperloop

Ринок технологій Hyperloop сегментований на основі типу перевезення, транспортної системи і географії. На основі типу перевезення ринок класифікується як пасажирські та вантажні перевезення. Транспортні системи включають труби, рухові установки, капсули і маршрут. Географічно ринок розвивається у Північній Америці, Європі, Азіатсько-Тихоокеанському регіоні.

Згідно з оцінками¹⁴⁹, глобальний ринок технологій Hyperloop у 2022 р. становитиме 1350 млн дол. США, а до 2026 р. він досягне 6 000 млн дол. США, збільшившись з 2023 р. по 2026 р. на 45,2%.

Згідно з іншими прогнозами¹⁵⁰, світовий ринок надшвидких транспортних систем Hyperloop в 2020 р. оцінюватиметься в 2086,5 млн дол. США і до 2024 р. досягне 55693,5 млн дол. США, збільшившись у середньому на 127,30% за чотири роки. Очікується, що з 2020 р. по 2024 р. ринок виросте приблизно в 127 разів, а між 2024 р. і 2028 р. – у 14 разів, якщо брати до уваги оптимістичний погляд.

Підвищення інтересу урядів до розвитку транспортної інфраструктури з метою регулювання зростаючого трафіку та уникнення заторів на високорозвинених торгових маршрутах є

¹⁴⁹ Hyperloop Technology Market by Carriage Type (Passenger and Cargo/Freight) and Transportation System (Tube, Propulsion, Capsule, and Route) – Global Opportunity Analysis and Industry Forecast, 2022–2026. URL: <https://www.alliedmarketresearch.com/hyperloop-technology-market>

¹⁵⁰ Global Superfast Transport System Market: Focus on Components, Ecosystem and Leading Companies – Analysis and Forecast (2020, 2024, and 2028). URL: <https://www.prnewswire.com/news-releases/global-superfast-transport-system-market-focus-on-components-ecosystem-and-leading-companies---analysis-and-forecast-2020-2024-and-2028-300745689.html>

одним з основних факторів, що визначають розвиток ринку надшвидкої транспортної системи Hyperloop. Ринок надшвидких транспортних систем в основному визначається перевагами надшвидких перевезень, які можуть перевершити існуючі види транспорту, такі як залізниці, повітряні траси й особистий транспорт або будь-які інші громадські транспортні засоби. Однак технічні проблеми, такі як підтримка вакууму низького тиску усередині труби, розробка капсул, які можуть переміщувати пасажирів і вантаж на високій швидкості, а також проблеми безпеки пасажирів у разі технічного збою під час подорожі, як очікується, перешкоджатимуть загальному зростанню надшвидкого ринку транспортної системи в прогнозованому періоді.

Оскільки ринок надшвидких транспортних систем наразі перебуває на дуже ранній стадії, йому не вистачає належного розуміння і нормативних мандатів, що, як вважають, уповільнить швидкість його розвитку. Очікується, що зі створенням консорціумів або асоціацій темпи створення інновацій зростуть, що полегшить зручний обмін знаннями між постачальниками технологій і розширить співпрацю урядових установ і регулюючих органів для розроблення керівних принципів і правових рамок.

Зі зростанням популярності надшвидкої транспортної системи у таких країнах, як США, Китай, Індія та ОАЕ, завдяки своїм перевагам над іншими видами транспорту, очікується, що транспортна галузь швидко трансформуватиметься, прокладаючи шлях до зростання ринку надшвидких транспортних систем Hyperloop. Крім того, в умовах мінливого економічного сценарію країни повинні розвивати свою транспортну інфраструктуру для задоволення зростаючої кількості населення¹⁵¹. Однак, оскільки ринок усе ще перебуває на початковій стадії, зростання залежить виключно від розробки і впровадження надшвидкого транспорту Hyperloop у поточних проектах. У результаті очікується поява ряду

¹⁵¹ Global Superfast Transport System Market: Focus on Components, Ecosystem and Leading Companies – Analysis and Forecast (2020, 2024, and 2028). Report Buyer Ltd. URL: <https://www.reportbuyer.com/product/5612795/global-superfast-transport-system-market-focus-on-components-ecosystem-and-leading-companies-analysis-and-forecast-2020-2024-and-2028.html>

можливостей для інших учасників ринку, які готові внести значні інвестиції.

1.6. Порівняльна оцінка видів транспорту п'ятого покоління у світі¹⁵²

Нещодавні розробки HSR зменшили переваги Maglev щодо досягнення високих швидкостей (табл. 1.11), отже відмінності в часі проходження на типових відстанях між станціями стають меншими.

Таблиця 1.11

Найшвидші поїзди у світі, станом на 2017 р., що перебувають в експлуатації

	Країна	Вид поїзда	Швидкість, яку може розвивати поїзд
1	Китай (на одиначній 30- кілометровій трасі)	Шанхай Maglev	430 км/год
2	Китай	CR400AF, CR400BF, CRH2 C, CRH3 C, CRH380A & A.L., CRH380B, BL & CL, CRH380D & DL	350 км/год
3	Франція	SNCF TGV Duplex, SNCF TGV Réseau, SNCF TGV POS, TGV Euroduplex	320 км/год
4	Франція та Велика Британія	Eurostar e320	320 км/год
5	Японія	Серія E5 Сінкансен, серія E6 Сінкансен, серія H5 Сінкансен	320 км/год
6	Німеччина	ICE 3 Клас 403, 406, 407	320 км/год
7	Іспанія	AVE Клас 103	310 км/год
8	Південна Корея	KTX-I, KTX-II, KTX-III	305 км/год
9	Італія	ETR 500, ETR 1000	300 км/год

Джерело: складено Чмирьовою Л.Ю.

¹⁵² Підрозділ 1.6. підготовлено за участю О.М.Стасюк, Л.Ю. Чмирьової, Н.О. Федяй.

Проте, якщо оцінювати середні швидкості у звичайній експлуатації, то тут рекорд належить поїздам на китайській лінії Ухань – Гуанчжоу, що розвивають середню швидкість до 313 км/год. Середня швидкість високошвидкісних поїздів у Японії наразі становить 243 км/год, у Німеччині – 232 км/год, а у Франції – 277 км/год.

У тестових умовах світовий рекорд щодо швидкості для звичайних поїздів на електричній тязі встановив під час випробувань у 2007 р. поїзд TGV, продемонструвавши швидкість у 574,8 км/год. Для прикладу, японський поїзд на магнітній подушці зміг встановити світовий рекорд швидкості, розігнавшись у ході тестових випробувань у 2015 р. до 603 км/год¹⁵³.

Що ж до існуючих видів транспорту у світі то максимальну на сьогодні комерційну швидкість демонструє авіаційний транспорт (988 км/год), а якщо брати до уваги системи транспорту, які перебувають у розробці, то безперечна перевага буде за транспортом Hyperloop (1200 км/год).

Найчастіше на вибір виду транспорту впливає час, витрачений на поїздки від дверей до дверей, розміщення станцій та аеропортів, ціни на квитки, частота обслуговування.

Географічне розташування України, спільні кордони з країнами ЄС та інтеграція транспортних систем України до європейської зумовлює дослідження *факторів, які впливають на вибір пасажиром виду транспорту* (рис. 1.17). *На коротких відстанях – до 300 км* безперечну перевагу має автомобільний транспорт з приватними автомобілями (85%), тому що він дає можливість здійснення поїздки від дверей до дверей, зручно обирати час та маршрут поїздки тощо. Крім того автомобілізація у світі й надалі набирає обертів.

Також конкуренцію високошвидкісному рухові становлять автобусні перевезення (3%), які є недорогими та мають більше зупинок на маршруті. У таких випадках створюють більш дешевий сервіс, наприклад, у Франції компанія SNCF створила послугу Ouigo з дуже низькою ціною та пільговими дитячими квитками. Частка залізничного транспорту в цьому сегменті становить 12%.

¹⁵³ У Японії поїзд встановив світовий рекорд швидкості / УНІАН. URL: <https://www.unian.ua/world/1069530-u-yaponiji-pojizd-vstanoviv-svitoviy-rekord-shvidkosti.html>

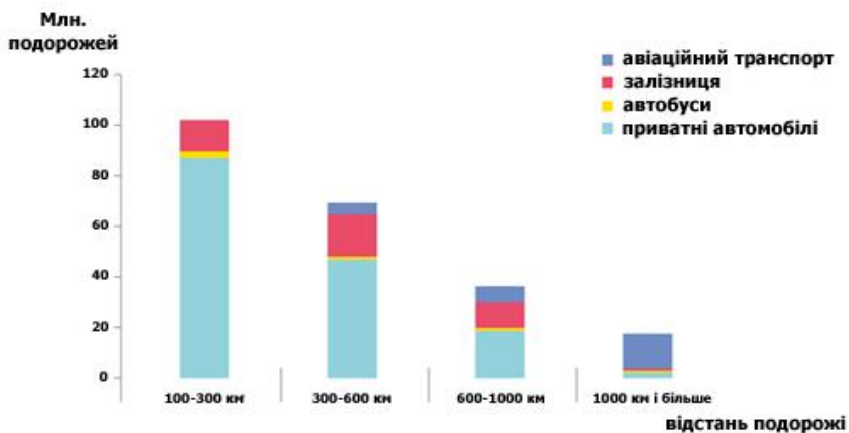


Рис. 1.17. Частки ринків у Франції за видами транспорту

Джерело: UIS¹⁵⁴.

У діапазоні від 300 км до 600 км теж переважає автомобільний транспорт (68%), а також велику частку ринку перевезень займає HSR (24%). Невелика частка, а саме 6%, припадає на авіаційний транспорт, а сегмент автобусних перевезень займає 2%.

При перевезеннях на відстані від 600 км до 1000 км частки видів транспорту суттєво змінюються, відсоток подорожуючих автомобільним транспортом становить близько 50%, залізничним – 30%, авіаційним – 18%, а автобусним – 2%. Згідно з оцінкою, у цьому сегменті найголовнішими конкурентами виступають HSR та авіаційний транспорт (незважаючи на автомобільний). Тож якщо:

- час поїздки залізницею становить менше за дві години, на ринку повністю домінують високошвидкісні залізниці, а авіакомпанії найчастіше відмовляються від конкуренції. Прикладом може слугувати траса Париж – Брюссель;

- якщо тривалість поїздки залізницею становить від 2 до 3,30 год, то переважає залізниця;

- якщо час руху поїздом становить від 3,30 до 5 год, переважає авіаційний транспорт;

- якщо час руху становить понад 5 год, то залізниця поступається авіаційному транспорту.

¹⁵⁴ Global market shares / UIC. URL: https://uic.org/IMG/pdf/uic_high_speed_2018_ph08_web.pdf

Розвиток економічних та науково-технічних основ транспорту...

На відстанях, які перевищують 1000 км, найбільш швидким і комфортним є авіаційний транспорт (80%). Частка автомобільного транспорту на таких відстанях становить 15%, а на залізничному та автобусному – по 2,5%.

Велике значення для високошвидкісного руху має **розташування та доступність станцій**, тому що мандрівники хочуть максимально наблизитись до кінцевого пункту подорожі. Тож з економічної та екологічної точок зору високошвидкісний рух матиме успіх при великих обсягах перевезень, щоб компенсувати викиди парникових газів і початкові фінансові вкладення у будівництво, а також при невеликій кількості проміжних зупинок, щоб забезпечити швидкі поїздки для клієнтів. При цьому кількість проміжних станцій та їх місцезнаходження має бути оптимізовано. Через те, що час доїзду та виходу теж є частиною поїздки від дверей до дверей, витрати часу треба звести до мінімуму. Схема нижче показує середній проїзд пасажирів від дверей до дверей на відстань 250–400 км.

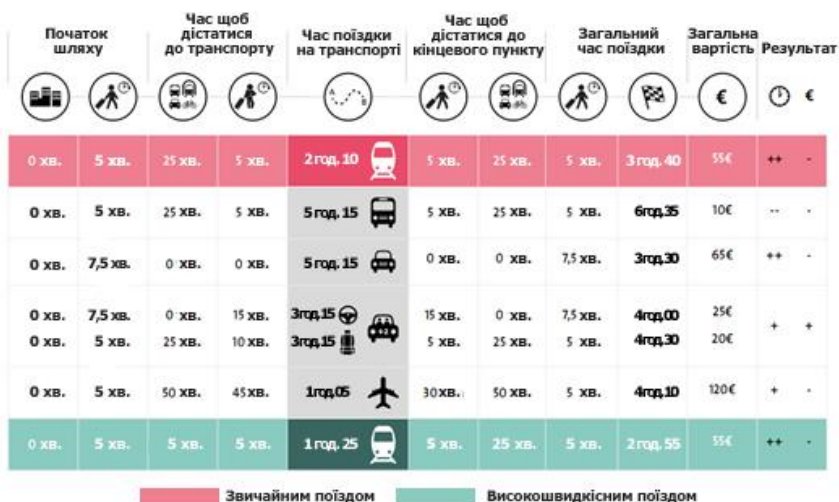


Рис. 1.18. Витрати часу та коштів на подорож від дверей до дверей за видами транспорту

Джерело: UIS¹⁵⁵.

¹⁵⁵ High speed stations / UIC. URL: https://uic.org/IMG/pdf/uic_high_speed_2018_ph08_web.pdf

Тож, попри те, що комерційні швидкості високошвидкісних поїздів менші, ніж у літаків, ВШП надають більші переваги у перевезеннях від дверей до дверей на короткі відстані порівняно з авіаційним транспортом. Це пов'язано з тим, що зазвичай залізничні станції з'єднують центри міст, а повітряний транспорт з'єднує аеропорти, які, як правило, розташовані далеко від міських центрів.

МЖД було проведено дослідження у трьох країнах (Франції, Іспанії та Великій Британії) відносно того, що впливає на вибір поїздки (рис. 1.19).



Рис. 1.19. Фактори, що впливають на вибір виду транспорту
Джерело: UIS¹⁵⁶.

¹⁵⁶ Criteria chosen in the modal choice / UIC. URL: https://uic.org/IMG/pdf/uic_high_speed_2018_ph08_web.pdf

Дослідження показало, що із 2000 опитаних респондентів 80% назвали вартість поїздки найважливішим фактором, що впливає на вибір транспорту, для 69% важливим фактором став час, витрачений на подорож, а для 33% – графік руху. Найменш популярними факторами, що впливають на вибір транспорту, є захист навколишнього середовища та обслуговування на борту транспортного засобу, відповідно, 5 та 8%.

Щодо вартості дослідження МСЗ показало, що високошвидкісний залізничний транспорт обходиться дешевше, ніж авіаційний, навіть порівняно з лоукостами.

Недоліки та переваги за видами транспорту п'ятого покоління

Переваги та недоліки HSR

Переваги HSR

1. Висока продуктивність унаслідок:

– переміщення з високими швидкостями, що дозволяє зекономити час;

– менші витрати часу на подорож від дверей до дверей. Хоча авіаційний транспорт досягає вищих швидкостей, ніж залізниця, найчастіше загальний час подорожі залізницею менший. Це пов'язано із тим, що при використанні авіаційного транспорту більше часу витрачається на доїзд/виїзд до/з аеропорту, реєстрацію, обробку багажу.

2. Безпека HSR, пов'язана зі скороченням зіткнення з автомобілями та людьми, що досягається завдяки використанню ліній на різних рівнях.

3. Надійність, що дає системі можливість працювати за будь-якої погоди.

4. Доступність, що дозволяє користуватися послугою спонтанно.

5. Доступ до міських центрів. Поїзди у цьому сенсі кращі на коротких та середніх відстанях, оскільки залізничні станції, як правило, розташовані до міських центрів ближче, ніж аеропорти.

6. Комфорт пасажирів, що передбачає свободу переміщення у поїзді (можливість стояти, ходити тощо), можливість взяти більше багажу, менша вібрація, більша кількість проміжних станцій.

7. Висока пропускна здатність – до 400 000 пасажирів за день

8. Відсутність заторів.

9. Екологічність. Переваги HSR у сенсі споживання енергії та викидів парникових газів порівняно з конкурентами є одним з основних факторів зменшення викидів вуглецю у транспортному секторі. Дослідження UIC щодо HSR у Франції та Китаї дійшло висновку, що вуглецевий слід HSR може бути у 14 разів меншим, ніж автомобільного транспорту, і до 15 разів менший, ніж авіаційного, навіть якщо вони вимірюються протягом повного циклу, що включає планування, будівництво та експлуатацію різних режимів транспорту. Як результат, вибір пасажирями HSR замість авіаційного та автомобільного транспорту зменшує викиди CO₂. Саме тому мета Європейського Союзу до 2050 р. – залізниці мають обслуговувати більшість пасажиропотоку на середніх відстанях, що прописано у Білій книзі з транспорту.

10. Використання відновлювальної енергії. HSR, як на 100% електрифікована система, сумісна з відновлюваною енергією без необхідності подальших технологічних поліпшень. Наразі HSR є єдиним видом транспорту, який споживає значні частки відновлюваної енергії на ринку міжміських і міжнародних перевезень. Основним фактором скорочення викидів CO₂ є декарбонізована структура електроенергії.

Однією з переваг використання електричної енергії є те, що, на відміну від інших видів транспорту, високошвидкісні підприємства можуть легко використовувати основні види відновлюваної енергії (наприклад, поновлювані електростанції на місці) або купувати «зелені» сертифікати через закупівлю сертифікатів відновлюваної енергії. (GO або REC – ринкові інструменти, запроваджені європейськими директивами для стимулювання інвестицій в екологічно чисті електростанції).

У цьому контексті деякі залізничні компанії нещодавно почали закупівлі «зеленої» електроенергії, оскільки прагнуть збільшити свою частку відновлюваної електроенергії. Наприклад, у Скандинавії, Швейцарії та Австрії існують залізничні мережі, які працюють на електриці, повністю вільній від вуглецю.

Виробництвом своєї власної поновлюваної енергії відзначаються певна інфраструктура та надання послуг HSR. При цьому вона ж ними і споживається. Інноваційним прикладом слугує залізничний

тунель Шотен у Бельгії, насамперед призначений для захисту дикої природи в лісовій зоні та зниження шуму від залізниці і шосе. Керуючий інфраструктурою Infrabel встановив на даху залізничного тунелю високошвидкісної лінії Антверпен – Амстердам 16000 сонячних панелей. Загальна довжина тунелю – 3,4 км, загальна площа – 50 000 м², загальна встановлена потужність тут близько 4 МВт і тунель виробляє 3,3 ГВтч електроенергії у рік. Енергія використовується для забезпечення як потужності для інфраструктури (наприклад, залізничних станцій, освітлення, підйому і сигналізації), так і для руху поїздів. Електроенергія, вироблена сонячними батареями, забезпечує потреби близько 4000 поїздів на рік¹⁵⁷.

Тож подальші розробки щодо розвитку високошвидкісних перевезень у світі спрямовані на: зменшення вібрацій, шуму, викидів CO₂, підвищення ефективності використання енергії.

Недоліки HSR

1. Неможливість на практиці реалізувати максимальні розрахункові швидкості, що пов'язано насамперед із:

- особливостями рухомого складу;
- великою кількістю проміжних зупинок, що не дає поїзду можливості розігнатися, бо гальмівний шлях займає багато часу;
- змішаним рухом на деяких лініях. Більшість швидкісних ліній змішаного трафіку не практикують одночасні пасажирські та вантажні перевезення, незважаючи на те, що їх саме для цього і будували. Найчастіше пасажирські потяги їздять удень, а вантажні – вночі. Наприклад, перша лінія японського Сінкансену була побудована для змішаних перевезень, а з часом її повністю перевели на пасажирський рух.

2. Відведення великих масивів землі під будівництво високошвидкісних магістралей.

3. Технічна проблематичність та затратність прокладення шляхів для HSR через гірські хребти та великі водойми, що пов'язано з побудовою високовартісних тунелів та мостів.

4. Міста не завжди лежать на одній прямій лінії, шляхи до них мають вигини, відповідно це збільшує протяжність маршруту, що

¹⁵⁷ A good example of friendship between HSR and environment / UIC. URL: https://uic.org/IMG/pdf/uic_high_speed_2018_ph08_web.pdf

може призвести до більших витрат часу порівняно з польотом «від точки до точки».

5. Вплив політичної ситуації сусідніх країн, через які має проходити лінія маршруту.

6. Різна ширина колій між країнами, а також різна ширина колій усередині країн, що унеможливує об'єднання звичайної та високошвидкісної мереж. Наприклад, на швидкісних залізничних лініях в Японії і Тайвані використовується колія 1435 мм, але вона ширша за звичайну для цих країн колію у 1067 мм, що ізолює швидкісні лінії від решти дорожньої мережі. І навпаки, в Іспанії, де стандартна колія становить 1674 мм, при проектуванні швидкісних ліній було прийнято рішення будувати їх з більш вузькою, європейською колією, щоб мати можливість поєднати свою мережу швидкісних поїздів із мережею TGV.

7. Різні системи електрифікації країн.

Переваги та недоліки електромобілів

Переваги електромобілів

1. Екологічність – завдяки відсутності вихлопних газів.

2. Електричні мотори майже безшумні, що зменшує рівень загального шуму на вулицях.

3. Мінімальне зношування мотора під час експлуатації через те, що двигун електричних транспортних засобів запускається за допомогою акумуляторних батарей і не вимагає механічного впливу. Крім цього, в електродвигуні відсутня величезна кількість деталей, які необхідні у двигуні внутрішнього згорання, а також немає масляних фільтрів, свічок запалювання, форсунок, що значно економить кошти як при ремонті, так і під час експлуатації.

4. Пересування містом передбачає часті зупинки і наступні запуски мотора. Якщо для бензинових моделей це становить певну проблему, то для електромобілів такий режим їзди досить прийнятний, тож придбання електромобіля для поїздок містом – ідеальний вибір.

5. Низькі витрати на зарядження електромобілів.

6. Безпека, пов'язана з відсутністю легкозаймистого пального, що дозволяє зменшити небезпеку вибуху та ймовірність загорання.

7. Хороша керованість порівняно з автомобілями із традиційними двигунами. Машина на електриці більш плавно рухається і

розганяється. Досягти такого ефекту вдається завдяки тому, що тяговий електродвигун більш урівноважений динамічно, а значить позбавлений вібрацій. Також він має кращу пристосовність крутного моменту мотора до навантажень.

Недоліки електромобілів

1. Об'єм акумуляторних батарей, що суттєво знижує відстань проїзду на одному заряді акумулятора.

2. Обмежений термін служби акумуляторних батарей. Швидке зношування акумуляторних батарей – не стільки через особливості конструкції, скільки через недбалість власників, які намагаються швидко їх зарядити або ж залишають машину на морозі.

3. Дорогий ремонт та заміна акумуляторних батарей електромобіля в Україні.

4. Недостатня кількість зарядних станцій. В Україні на зарядних станціях, де пропонують безкоштовну підзарядку, часто вишиковуються великі черги, а велика кількість зарядних станцій уже стали платними та потребують завантаження спеціального додатку для оплати підзарядки. При цьому вартість становитиме від 50 грн за годину підключення.

5. Вартість автомобіля, адже поки що електрокари коштують дорожче, ніж звичайні автомобілі.

6. Зниження рівня комфорту, наприклад, увімкнений кондиціонер суттєво зменшить ємність батареї.

9. Експлуатація автомобіля взимку. З одного боку, його не потрібно прогрівати по кілька хвилин, проте з іншого – мороз може істотно знизити пробіг. По-перше, електричний обігрівач може зменшити середньодобовий пробіг приблизно на третину, по-друге, літій-іонні батареї гірше працюють при мінусових температурах.

7. Обмеження швидкості до 80–100 км/год (хоча можна розігнатися до 140 км/год, що пов'язано із швидким розрядженням акумулятора¹⁵⁸).

8. Невелика кількість в Україні спеціалізованих сервісів та проблеми з проведенням планового ТО через неготовність більшості сервісних станцій до робіт з електромобілями та відсутності

¹⁵⁸ Плюсы и минусы современных электромобилей. URL: <http://www.1gai.ru/publ/520133-plyusy-i-minusy-sovremennyyh-elektromobiley.html>

заводської сервісної підтримки¹⁵⁹.

Переваги та недоліки Maglev

*Конкурентні переваги магнітолевітаційних транспортних систем*¹⁶⁰

Мінімальний вплив на навколишнє середовище, що включає: відсутність забруднюючих викидів, що визначає потяги Maglev як екологічний транспорт; не створює перешкод для ведення сільського господарства, безпечного пересування тварин тощо; ефективне використання земель, що сприяє оптимізації просторових мереж; відсутність вібрації, викидів, пилу.

Низький рівень шуму порівняно з рейковим та авіаційним транспортом. Оскільки головне джерело шуму Maglev – це витіснене повітря, а не стукіт коліс по коліях, ці поїзди відзначаються меншим шумом, ніж звичайний поїзд з еквівалентною швидкістю. Левітація потяга із використанням магнітних сил забезпечує тишу і плавне пересування, навіть на найвищих швидкостях, тоді як системи керування на колесах іноді не можуть цього досягнути навіть на найнижчих швидкостях. Японський Лінімо, а також південнокорейський міський Maglev Ротему – яскраві приклади дотримання вимоги тихого та комфортного проїзду в містах. Навіть попри землетруси поїзди Maglev вважаються дуже надійними швидкими системами перевезень.

Збереження природного ландшафту. Маршрути Maglev не «розділяють ландшафт» як шосе, колії та водні шляхи, адже траси для них прокладають над поверхнею, пропонуючи більш гнучкі маршрути та зменшуючи тунелювання. Проте висока швидкість

¹⁵⁹ Електромобіли в Україні: взвешиваем «за» и «против» (Часть 1, 2). URL: <https://stroom.in.ua/za-i-protiv-electromobiley-1/>

¹⁶⁰ Economics. URL: <https://web.archive.org/web/20141208224816/http://magnetbahnforum.de/index.php?economics-2;>

Environmental Matters. URL: <https://web.archive.org/web/20141208211132/http://magnetbahnforum.de/index.php?environment;>

Comfort and Safety. URL: <https://web.archive.org/web/20141208182827/http://magnetbahnforum.de/index.php?comfort-and-safety;>

Interoperability. URL: <https://web.archive.org/web/20141208212415/http://magnetbahnforum.de/index.php?interoperability;>

Нестись быстрее ветра на поезде Maglev. URL: http://json.tv/tech_trend_find/nestis-bystree-vetra-na-poezde-maglev-20150628112137

цих потягів і більша потреба в контролі за їх рухом ускладнюють подолання Maglev складних рельєфів, таких як вигнутий пагорб, тоді як традиційні поїзди більш пристосовані до цього й здатні огинати гірські вершини.

Конкурентний час перевезень на відстані 800 км або менше з обслуговуванням проміжних пунктів призначення. Швидкість, яку розвиває Maglev, співмірна зі швидкістю літаків, що дозволяє йому конкурувати з повітряним транспортом на відносно малих, як для авіації, відстанях до 1000 км. Скорочення часу поїздки порівняно з авіаперезеннями, уникнення витрат часу на доїзд/від'їзд, сприяє ефективності використання ресурсів.

Найвища швидкість з усіх видів громадського наземного транспорту. Магнітолевітаційний транспорт – оптимальне рішення для міських агломерацій завдяки безпеці, надійності та економічності. Чим довше потяг рухається з високою швидкістю, тим краща продуктивність, а також економічна ефективність відповідної системи. У цьому сенсі поїзди Maglev мають принципову перевагу завдяки своїм незалежним маршрутам та автоматичному виключенню змішаного трафіку.

Безпека перевезень для пасажирів за рахунок будівництва естакадних ліній, які не перетинаються з іншими видами транспорту. Високошвидкісний наземний транспорт може бути найбільш безпечним та ефективним, якщо він повністю відокремлений від більш повільних систем. Автономія потягу Maglev, який працює на окремій інфраструктурі, є важливою перевагою системи, що підвищує загальну безпеку, ефективність та пунктуальність у швидкісних перевезеннях.

Низькі витрати на технічне обслуговування. Хоча високошвидкісна інфраструктура для Maglev є відносно дорогою для будівництва, проте, порівняно з традиційними швидкісними поїздами та літаками, низьковитратна в експлуатації та обслуговуванні. Системи Maglev можуть працювати на дуже високих швидкостях практично без амортизації і, отже, більш економічні, ніж високошвидкісні рейкові системи, що піддаються механічному зношуванню, яке збільшується зі швидкістю, та потребують регулярного інтенсивного технічного обслуговування. Кожен поїзд Intercity-Express (ICE) втрачає приблизно 68 кг (150 фунтів) сталі через

тертя під час гальмування. Через два або три роки після уведення в експлуатацію весь поїзд ICE втрачає близько 8 метричних тон (17600 фунтів) сталі. Дані проєкту Shanghai Transrapid Maglev демонструють, що витрати на експлуатацію та технічне обслуговування покриваються навіть поточним, порівняно невисоким, обсягом – 8000 пасажирів на день (через незручне розташування лінії у передмісті Шанхаю). Компанії, які базують свої прогнози продажів на технічному обслуговуванні, ремонті та запасних частинах, вважають одну з головних переваг системи Maglev train – низький рівень технічного обслуговування – економічною загрозою для свого бізнесу.

Низьке споживання електроенергії (енергію Maglev витрачає утричі ефективніше, ніж автомобіль, та у п'ятеро ефективніше, ніж літак). Порівняно з рейковими потягами енерговитрати на пасажиро-кілометр удвічі нижчі; експлуатаційні витрати на 65% нижчі, оскільки немає механічного та електричного контакту між поїздом, що рухається, і шляховою структурою.

Доступність і комфорт для користувачів. Поїзди Maglev вважаються одними з найбільш безпечних і комфортних швидкісних систем перевезень у світі. Обсяг вільного простору всередині поїздів є більшим порівняно з відносно вузькими за пропорціями багатьма стандартними вагонами. Наприклад, німецький Transrapid розміром на метр ширший, ніж звичайні вагони, що забезпечує більшу просторову свободу, ширший вибір варіантів сидіння, що сприяє підвищенню загального рівня комфорту.

Більш високий рівень експлуатаційної доступності за різних погодних умов.

Соціальні переваги – такі, як хороший імідж та престиж. Це важливий аспект для Японії, що вважає їх символом високотехнологічної сили, доказом того, що країна залишається технологічним центром світового рівня.

Можливість використовувати не тільки як надшвидкісні потяги, а й як заміну міським трамваєм, метро (табл. 1.12).

Міський Maglev – економічна альтернатива метро та можливість усунення проблем міських заторів на дорогах. Особливо це актуально для Китаю, який бурхливо розвивається, і цю проблему в країні доводиться постійно вирішувати. Перша низькошвидкісна залізнична

Розвиток економічних та науково-технічних основ транспорту...

Maglev-лінія в Китаї відкрилася в травні 2016 р. у столиці провінції Хунань– місті Чанша. Фактично низькошвидкісні лінії Maglev виникають по всьому Китаю. Наразі відомо сім проєктів: від Пекіна до Циньюоя на півдні та до Урумчі на заході. Інвестиції досить об'ємні: близько 60 млрд юанів (8,7 млрд дол. США). Серед провідних компаній, які займаються будівництвом ліній Maglev, такі гіганти, як China Railway Construction і компанія CRRC¹⁶¹.

Перспективи щодо досягнення швидкостей, які багаторазово перевищують швидкості сучасних поїздів Maglev, шляхом переміщення у вакуумному тунелі.

Таблиця 1.12

Порівняльна оцінка магнітолевітаційного, легкого рейкового транспорту та метро

Параметр	Легкий рейковий транспорт (трамвай)	Метро	Maglev
1	2	3	4
Маршрутна швидкість (км/год), зупинки через 1 км	20 ± 5	35 ± 5	50 ± 5
Провізна спроможність (осіб/день): 48 вагонів на 15-кілометровій лінії, місткість вагона – 115 осіб	36 800, інтервал 3 хв 8 сек (2 вагони, одна зчіпка)	64 800, інтервал 4 хв 3 сек (4 вагони, одна зчіпка)	90 700, при інтервалі 2 хв 2 сек (4 вагони, одна зчіпка); 81 400 при інтервалі 1 хв 1 с
Вплив несприятливих кліматичних умов (сніг, ожеледь) на експлуатацію	Високий	Низький	Низький
Рівень шуму при русі, (всередині/зовні), дБ	70/70	70/70	65/65
Рівень вібрації в русі	Середній	Середній	Ні

¹⁶¹ Магнитно-левитационный транспорт: новые возможности. URL: <http://newukraineinstitute.org/blog/277>

1	2	3	4
Утворення пилу в русі	Високе	Високе	Ні
Вплив на пасажирів	Несприятливий (шум, вібрація, пил)	Несприятливий (шум, вібрація, пил)	Ні
Можливість проходження поблизу від громадських будівель і «входу» в них	Низька (шум, вібрація, пил)	Низька (шум, вібрація, пил)	Висока (низький рівень шуму, вібрації, пилу)
Вартість будівництва 1 км «під ключ», млн дол. США	20–40	70	20–30
Витрати електроенергії на 1 пас./місце, кВт/(ваг.-км)	3,84	3,84	3,72
Експлуатаційні витрати на 1 пас./місце (з розрахунку 64 тис. пасажирів у робочі дні тижня), дол. США	Порівнюваний з експлуатаційними витратами метро	1,76	1,13

Джерело: ¹⁶².

Недоліки магніто-левітаційних транспортних систем

Висока вартість розробки поїздів і будівництва ліній для них (вартість спорудження одного кілометра колії для поїзда Maglev можна порівняти з проходженням кілометра тунелю метро закритим способом). Високі витрати на будівництво систем Maglev стримували потенційних інвесторів у інших містах світу,

¹⁶² Инновационные технологии для транспорта. Магнитолевитационная транспортная система для пассажирских перевозок. URL: <http://rusmaglev.com/wp-content/uploads/2017/10/MLST-pass.pdf>

включаючи Німеччину, де запропоноване сполучення Берлін – Гамбург було визнано економічно неефективним.

Потреба побудови окремої інфраструктури для всього маршруту, непридатної для будь-яких інших перевезень, тоді як рейкові шляхи стандартної ширини, перебудовані під швидкісний рух, залишаються доступними для звичайних пасажирських і приміських поїздів. Так, TGV можуть працювати, хоч і на зменшеній швидкості, на існуючій залізничній інфраструктурі, тим самим зменшуючи витрати, коли будівництво нової інфраструктури буде особливо дорогим.

Сильні магнітні поля в секції для пасажирів породжують необхідність установки магнітного захисту. Без екранування подорож у такому вагоні для пасажирів з електронним стимулятором серця або магнітними носіями інформації (HDD і кредитними картками) протипоказана.

Відсутність діючих магнітолевітаційних транспортних систем із перевезення вантажів (Logistics). Проте дослідження в цьому напрямі ведуться. У Російській Федерації підготовлений проєкт будівництва 69-кілометрового випробувально-демонстраційного комерційного полігону магнітолевітаційної контейнерної траси від залізничної станції Володимирська до контейнерного порту «Бронко». Зараз 90% контейнерних перевезень за маршрутом Санкт-Петербург – Москва здійснюються автотранспортом. Усі технологічні рішення проєкту розроблені в Росії. Передбачається, що магнітолевітаційна лінія здатна в автоматичному режимі транспортувати 20- і 40-футові контейнери на спеціальних магнітолевітаційних платформах. Вона закінчуватиметься перевантажувальним майданчиком, де контейнери можна переміщати на трейлери та залізничні платформи. Максимальна пропускна здатність лінії повинна становити 5 млн контейнерів на рік при швидкості руху до 300 км/год. На будівництво потрібно близько п'ять років. Бюджет проєкту оцінюється в 69 млрд руб. Залучати державне фінансування «Русский Maglev» не планує. Міжнародна нафтотрейдингова компанія Keystone Trade Oil & Gas Group Ltd. має намір фінансувати проєкт за рахунок залучення інвестицій¹⁶³.

¹⁶³ «Российский Маглев» выходит на полигон. URL: <http://www.gudok.ru/newspaper/?ID=1410526&archive=2018.04.11>

Переваги та недоліки Hyperloop

Переваги та недоліки впровадження транспорту Hyperloop представлені у вигляді SWOT-аналізу (табл. 1.13).

Таблиця 1.13

SWOT-аналіз Hyperloop

<p>Сильні сторони (Strengths) “S”</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) Тривалість поїздки, 2) менш дорогий і простий у побудові (після розробки технології), 3) низькі тертя та опір, 4) знижена потреба в землевідведенні, 6) безпека та надійність, 7) екологічність 	<p>Слабкі сторони (Weaknesses) “W”</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) Безпека, 2) тривалий період впровадження (від початку розробки до уведення в експлуатацію), 3) більш високі початкові ціна на квитки, 4) придбання землі (точкове), 5) вигини або повороти треку Hyperloop
<p>Можливості (Opportunities) “O”</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) Розвантаження міст, 2) можливості для бізнесу, 3) імпульс розвитку технології, 4) посилення сектора туризму, 5) створення світової мережі Hyperloop 	<p>Загрози (Threats) «Т»</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) Конкуренція з боку «поїздів-куль», 2) зниження цін авіакомпаніями, 3) саботаж з боку незацікавлених суб’єктів, 4) внутрішньополітична ситуація у країнах

Джерело: складено Стасюк О.М.

Сильні сторони

Тривалість поїздки. При середніх швидкостях у 970 км/год і максимальній швидкості у 1200 км/год відстані можуть бути подолані за лічені хвилини. Це також потенційно удвічі-тричі швидше, ніж навіть перевезення високошвидкісною залізницею (і в десять разів більше за швидкість регулярних залізничних перевезень).

Менш дорогий і простий у побудові (після розробки технології). Згідно зі звітом у Engadget, вартість прокладки петлі прив’язана до 40 млн дол. за км, тоді як, за оцінками Світового банку, проєкт високошвидкісної залізниці у Каліфорнії, наприклад, коштує до 56 млн дол. за км. Hyperloop може бути дешевшим і швидшим, ніж потяги і поїздки на автомобілі.

Низьке тертя і опір. Оскільки Hyperloop використовуватиме пневматичні капсули і працюватиме при зниженому тиску повітря, спостерігатиметься значне зниження тертя й аеродинамічного опору. Це фактор, який необхідно враховувати в усіх інших видах транспорту. Це означає більш ефективне використання енергії та менша її втрата для подолання повітряного опору.

Знижена потреба в землевідведенні. Додатковою перевагою вакуумно-левітаційної транспортної системи є знижена потреба у землевідведенні, оскільки інфраструктура системи може бути побудована не тільки в підземному, а й у підводному просторі, а ті лінії Hyperloop, які проходять над землею, не потребують окремо виділених великих площ земельних ділянок. Порівняно з інфраструктурою і територією, що необхідна для залізничних станцій і аеропортів (не розглядаємо автобусні станції, оскільки автобуси не є конкурентами), Hyperloop може запропонувати більш вигідну пропозицію з плином часу.

З макетів планів НТТ і Hyperloop One видно, що труба Hyperloop, в якій переміщуватимуться капсули з пасажирями, буде встановлена на пілони. Для цього необхідно буде зводити пілони через визначені проміжки.

Безпека та надійність. Hyperloop призначений для того, щоб бути безпечнішим і надійнішим за залізничні магістралі або високошвидкісні залізничні колії. Розгін транспортного засобу за відчуттями можна порівняти із пробіжкою літака перед злетом, немає взаємодії з іншими видами транспорту. В середині комфортабельно, ніякої турбулентності. Трубопровід не впаде з неба і не зійде з рейок, тому у проекті безпрецедентний рівень безпеки.

Крім того, продумано можливість екстреного гальмування в разі потреби. А для запобігання наслідкам землетрусів запропоновано антисейсмічні технології для створення опор трубопроводу.

На випадок перебоїв з електроживленням теж є запасний варіант у вигляді 1,5 т акумуляторів, заряду яких вистачить на 45 хвилин руху, що цілком достатньо для того, щоб досягнути кінцевої точки подорожі¹⁶⁴.

¹⁶⁴ Все о Hyperloop: чей проект, как работает, что уже сделано. URL: https://blog.allo.ua/hyperloop-transport-budushhego_2017-09-39/

Екологічність. Одним з головних факторів зростання попиту в системі Hyperloop є екологічність поряд зі швидкістю, стійкістю до погодних умов, відсутністю зіткнень і низького енергоспоживання порівняно з традиційними видами транспорту. Система *Hyperloop* менше забруднюватиме навколишнє середовище, ніж повітряні перевезення, та зможе обслуговувати величезну кількість пасажирів.

Слабкі сторони

Безпека. Окремі експерти безпеки Hyperloop розглядають як найбільш слабку сторону, оскільки транспортна система Hyperloop підноситься над землею, розвиває дуже високі швидкості у трубах низького тиску повітря. На відміну від кульових поїздів, літаків, Hyperloop не схожий на жоден транспортний засіб із нашого минулого або сьогодення. Потрібен час, щоб зник страх перед невідомим.

Тривалий період упровадження (від початку розробки до уведення в експлуатацію). Оскільки технологія ще не повністю розроблена і протестована для пасажирських і вантажних перевезень, її впровадження як надшвидкої транспортної системи займе кілька років.

Більш високі початкові ціни на квитки. Протягом перших кількох років вартість квитка може бути значно вищою, ніж вартість авіа- чи залізничних квитків. Ціна квитків має бути доступною для потенційних пасажирів.

Придбання землі (точкове). Звичайно, площа, необхідна для проєкту Hyperloop, буде менша, враховуючи, що це платформа над землею, але придбання землі, як і раніше, залишається складним питанням, оскільки технологія передбачає прокладання мереж на пілонах, що ускладнює точкові виділення земель під будівництво.

Вигини або повороти треку Hyperloop. Дуже складно візуалізувати вигини або повороти в маршруті Hyperloop, оскільки це автоматично означає, що швидкість переміщення капсул знижується, тим самим не досягаючи першочергової мети. Пошук маршруту, який пролягає без будь-яких вигинів, буде одним із основних недоліків.

Можливості

Розвантаження міст. Можливості працевлаштування і повільна швидкість перевезень призвели до значної міграції у міста. Зростання населення в містах також ставить питання про інфраструктуру. Але якщо існуватиме спосіб перевезення, який скоротить час у дорозі, то відстань між місцем проживання і місцем роботи не відіграватиме настільки велику роль. Hyperloop надасть пасажиром можливість працювати далі від їхнього місця проживання, тим самим зменшуючи проблеми із житлом у центрі.

Можливості для бізнесу. Hyperloop розширить можливості та географію для ведення бізнесу. Оскільки транспортна система Hyperloop є футуристичною формою сучасного транспорту, очікується, що вона матиме складну екосистему постачальників сировини, постачальників технологій, проєктних і будівельних фірм, державних установ і постачальників послуг, які працюють разом для створення більш інноваційного транспорту.

Імпульс розвитку технології. Hyperloop, безсумнівно, може дати поштовх для розвитку «чистих» технологій. Згідно з НТТ, оскільки його траса електрифікована, транспортна система споживає мало енергії порівняно із високошвидкісними залізницями, які потребують значно більше енергії, що субсидується державою. НТТ заявила, що вона використовуватиме «зелену» енергію, що дасть змогу виробляти енергії на 20% більше, ніж вона може споживати.

Посилення сектора туризму. Hyperloop сприятиме розвитку туризму й збільшенню потоків туристів. У міру розширення мережі Hyperloop виникне можливість відвідати багато недосліджених територій на світовій туристичній карті, тим самим збільшуючи цей сектор.

Створення світової мережі Hyperloop. Очікується, що ринок транспортних систем Hyperloop значно розшириться в найближче десятиліття, що пов'язано з постійними дослідженнями і розробками країн у цьому напрямі (Азіатсько-Тихоокеанський регіон, Європа, Північна Америка, решта світу) і в майбутньому зможе створити світову мережу Hyperloop. Надшвидка транспортна система Hyperloop визначає зростаючу потребу в більш швидкому, дешевшому і безпечному транспорті, який скоротить час у дорозі та істотно перетворить транспортну галузь. Проєкт абсолютно нового

типу високошвидкісного транспорту може з'єднати великі міста світу значно ефективніше, ніж швидкісні залізниці.

Загрози

Конкуренція з боку «поїздів-куль». Незважаючи на те, що інфраструктура високошвидкісних залізничних мереж і «поїздів-куль» є дорогими, вони активно розвиваються у світі (у ЄС, Китаї, Японії). Використання існуючої мережі залізниць також могло би прискорити процес реалізації проєктів високошвидкісних залізничних мереж. Стосовно ж пропускної здатності, то один поїзд може перевозити більше людей, ніж один модуль Hyperloop.

Зниження авіакомпаніями цін на квитки. Велика конкуренція вбачається з боку авіаперевезень. Уся політика авіаперевезень має динамічне ціноутворення. Враховуючи це, авіаквитки також можуть у майбутньому подешевшати, відповідно авіаперевезення для основної маси населення можуть стати доступнішими.

Саботаж з боку незацікавлених суб'єктів. Це пов'язано із аспектом безпеки всього проєкту. Саботувати можна у будь-який спосіб, невизначену кількість разів, оскільки у проєкту, окрім прихильників, є й противники¹⁶⁵.

Внутрішньополітична ситуація у країнах. Внутрішньополітична стабільність є найбільш важливим фактором, оскільки безпосередньо може впливати на розвиток Hyperloop у країнах. У такій ситуації, за наявності усередині держави гострих політичних суперечностей, що переростають у збройні конфлікти, досить важко зберігати позитивний розвиток в галузях економіки, а особливо тих, що пов'язані з інноваціями.

¹⁶⁵ Hyperloop: a swot analysis of the most popular new age transportation technology. URL: <https://www.firstpost.com/tech/news-analysis/hyperloop-a-swot-analysis-of-the-most-popular-new-age-transportation-technology-3696657.html>;

Focus on Components, Ecosystem and Leading Companies – Analysis and Forecast (2020, 2024, and 2028). URL: <https://www.prnewswire.com/news-releases/global-superfast-transport-system-market-focus-on-components-ecosystem-and-leading-companies---analysis-and-forecast-2020-2024-and-2028-300745689.html>

МЕТОДОЛОГІЧНІ ПІДХОДИ ДО ОЦІНКИ ВПЛИВУ ІННОВАЦІЙНИХ ПРОЄКТІВ НА ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗВИТОК КРАЇНИ

2.1. Довгостроковий вплив будівництва інноваційних транспортних проєктів на економіку

Посилення світових процесів глобального розвитку ставить перед транспортними системами країн, у тому числі й перед вітчизняною, завдання розроблення нових теоретичних і методологічних підходів для адекватного осмислення, відображення та відстеження процесів, які відбуваються у світі. Територіальна структура економіки, як і територіальна організація, дають уявлення про її просторову мережу, а особливості економічних зв'язків характеризують територіальні форми й якісні ознаки. Так, новими формами територіальної організації транспортної інфраструктури є міжнародні транспортні коридори і транспортно-логістичні центри. Транспортна система як підсистема економічного простору має свої специфічні особливості. Основною специфічною рисою транспортної системи є прив'язка до конкретного місця, конкретна локалізація об'єктів транспортної системи у просторі та часі (просторово-часовому континуумі).

Економічну ефективність розвитку транспорту визначають за такими категоріями, як:

- суспільна ефективність, що додатково враховує виробничі й соціально-економічні ефекти в суміжних галузях національної економіки та соціальной сфері. Зокрема, держава має фінансувати розвиток економічного простору транспорту депресивних, «неприбуткових» регіонів, районів нового освоєння;
- комерційна ефективність, що характеризує результативність витрат у транспортній сфері та зв'язку з позицій вигід інвестора.

Важливість оцінки ефективності інвестицій з точки зору суспільства (public sector) відзначається як західними вченими, так і в багатьох дослідженнях радянського періоду, як про це слушно зазначає К. Глущенко у своєму детальному дослідженні цієї

тематики¹⁶⁶. Принципово важливий аспект проблематики інвестиційного забезпечення транспортних проєктів полягає в тому, що ефективність останніх загалом має розглядатися з суспільної позиції, предметом аналізу є транспортні об'єкти, що створюються за рахунок державних інвестицій і після свого створення залишаються в державній власності (хоча агент, який її експлуатує, – оператор транспортної системи – є агентом ринку, наприклад, акціонерним товариством із переважною часткою держави), а метою створення цих транспортних об'єктів є підвищення добробуту країни (або наднаціонального утворення). І тому як результати, так і витрати мають оцінюватися не з ринкових позицій, а з точки зору всього суспільства.

Необхідно зауважити, як зазначає К. Глущенко, що радянська економічна думка прийшла до тих же по суті підходів щодо оцінки ефективності інвестиційних проєктів на транспорті, що й західні економісти. Але, природно, термінологія та теоретичні обґрунтування методів оцінки значно відрізнялися. У підсумку радянські вчені вдалися до аналогу методу, відомого за кордоном як аналіз витрат і результатів (*cost-benefit analysis*) з використанням як цільової функції різновиду чистого дисконтованого доходу, з однією істотною відмінністю, що в ній фігурували тільки витрати, результати ж у явному вигляді відсутні. Це було обумовлено самим характером директивного управління економікою, коли рішення про необхідні результати приймалися вищим політичним керівництвом країни і завдання оцінки ефективності інвестиційного проєкту зводили просто до вибору найбільш економічного варіанту його реалізації, результати у всіх варіантах приймалися як тотожні. Головною проблемою при цьому ставала проблема зіставлення поточних (експлуатаційних) і ніби одноразових (капітальних) витрат. У галузі залізничного будівництва ця проблема, як уже зазначалося, була вирішена явним урахуванням динаміки, властивим формулі чистого дисконтованого доходу, при якому

¹⁶⁶ Глущенко К.П. Оценка эффективности транспортных проектов: опыт и проблемы. *MPRA Paper*. 13 October 2011. No. 34096. URL: <http://mpra.ub.uni-muenchen.de/34096/>

відмінність між експлуатаційними витратами та інвестиціями (тобто між потоком і запасом) зникає.

Інше вирішення цієї проблеми – так звані приведені витрати, що представляють собою суму річних експлуатаційних витрат (у припущенні їх сталості в часі) та інвестицій у проєкт, взятих із коефіцієнтом, що називається нормаю ефективності капітальних вкладень. Це також не є унікальним породженням радянської економічної думки, тому що у ринковій економіці нормі ефективності капітальних вкладень відповідає ставка відсотка, а приведеним витратам – економічні витрати, тобто бухгалтерські (реальні витрати на виробництво) плюс альтернативні витрати (упущена вигода від зв'язування капіталу в певному проєкті), мінімізація економічних витрат означає максимізацію економічного прибутку при фіксованій виручці (валовому доході).

Більше того, у дослідженнях В. Богачова проведено аналіз обох підходів та їх порівняння й обґрунтування¹⁶⁷. Він показав, що метод мінімізації приведених витрат впливає із завдання мінімізації сумарних за сукупністю проєктів експлуатаційних витрат при обмеженні на загальні інвестиції. І тоді норма ефективності капітальних вкладень є ціною виділених інвестицій, яка визначається їх обсягом. У зазначених роботах також виявлено зв'язок статичного (приведені витрати) і динамічного (чистий дисконтований дохід) показників і показано, за яких умов норма дисконтування збігається з «нормою ефективності капітальних вкладень». В. Богачов показав також крайню обмеженість критерію мінімуму приведених витрат. За кордоном економісти зрозуміли це ще у 1950-ті роки, що зумовило рішучий відхід від показника прибутку як критерію ефективності громадських проєктів на користь чистого дисконтованого доходу та споріднених показників. Показник приведених витрат продовжував фігурувати в офіційних радянських методиках оцінки ефективності капітальних вкладень і

¹⁶⁷ Богачёв В.Н. О соотношении критериев эффективности капитальных вложений. *Проблемы моделирования народного хозяйства*. Часть IV. Новосибирск: ИЭиОПП СО РАН СССР, 1974. С. 3–106;

Богачёв В.Н. О норме эффективности капитальных вложений и дисконтной ставке. Оптимизация сроков осуществления инвестиционных программ. Новосибирск: ИЭиОПП СО РАН СССР, 1975. С. 7–95.

у 1980-х роках. У підсумку, як зазначає К. Глущенко¹⁶⁸, на початку 1990-х років вітчизняні та зарубіжні підходи щодо обґрунтування інвестиційних проєктів на транспорті було узгоджено й помітна кількість досліджень з цієї проблематики, виконаних у радянські часи, не втратила своєї наукової цінності у разі застосування до громадського сектора капіталістичної економіки.

Західним підходам до оцінки суспільної ефективності присвячено декілька широких оглядів, наприклад¹⁶⁹. Розроблено також пропозиції щодо покращення методичних підходів, які застосовуються у країнах ЄС¹⁷⁰, та європейської стандартизації підходів до оцінки ефективності інвестиційних проєктів¹⁷¹, засновані на результатах аналізу, проведеного відповідними дослідницькими групами.

Загалом вивчення методологічних підходів до оцінки суспільної ефективності дозволяє систематизувати їх, виокремивши три групи: 1) мікроекономічні, 2) макроекономічні та 3) багатокритеріальні підходи.

¹⁶⁸ Глущенко К.П. Оценка эффективности транспортных проектов: опыт и проблемы. *MPRA Paper*. 13 October 2011. No. 34096. URL: <http://mpra.ub.uni-muenchen.de/34096/>

¹⁶⁹ Economic evaluation methods for road projects in PIARC member countries / World Road Association. 2004. URL: http://publications.piarc.org/ressources/publications_files/1/628-09-07-VCD.pdf;

Developing harmonised European approaches for transport costing and project assessment. Deliverable 1. Current practice in project appraisal in Europe / European Commission EC-DG TREN. 2005. URL: <http://heatco.ier.uni-stuttgart.de/hd1final.pdf>;

Improved decision aid methods and tools to support evaluation of investment for transport and energy networks in Europe. Deliverable 1. Evaluating the state-of-the-art in investment for transport and energy networks. 2008. URL: <http://www.eva-tren.eu/Documenti/D1.pdf>

¹⁷⁰ Improved decision aid methods and tools to support evaluation of investment for transport and energy networks in Europe. Deliverable 3.2. *Methodological developments*. 2008. URL: http://www.eva-tren.eu/Documenti/D3.2_final.pdf

¹⁷¹ Developing harmonised European approaches for transport costing and project assessment. Deliverable 5. Proposal for harmonised guidelines / European Commission EC-DG TREN. 2006. URL: http://heatco.ier.uni-stuttgart.de/HEATCO_D5.pdf

Мікроекономічний підхід більш відомий як *cost-benefit analysis* – аналіз витрат і результатів. Його найбільше застосовують у практиці, тоді як багатоцільовий і макроекономічний підходи розглядаються скоріше як допоміжні, доповнюючі. Так, у європейському дослідженні щодо стандартизації методів оцінки інвестпроектів¹⁷² ці підходи взагалі не розглядаються. Практичне застосування принципів аналізу витрат і результатів відносять до початку ХХ ст., коли Інженерний корпус армії США (US Army Corps of Engineers), був широко задіяний (як і військово-будівельні частини Радянської Армії) на спорудженні цивільних об'єктів, зокрема гідротехнічних споруд. А законодавча вимога щодо обґрунтування суспільних проєктів на основі цих принципів уперше з'явилася в 1939 р. у законі США про боротьбу з повеннями (Flood Control Act of 1939)¹⁷³.

Теоретично аналіз витрат і результатів був обґрунтований і розвинений у рамках економічної теорії добробуту. Відповідно до неї проєкт має бути визнаний ефективним, якщо він задовольняє критерію Парето: покращує положення частини суспільства без погіршення становища хоча б одного із членів суспільства. Однак для використання на практиці такий підхід непридатний через неможливість міжособистісних зіставлень добробуту (корисностей), тому у 1939–1940 рр. було розроблено критерій Калдора – Хікса (потенційний критерій Парето). Він полягає у тому, що вигравш від реалізації проєкту повинен перевищувати програш, при цьому передбачається, що та частина суспільства, яка виграла, потенційно може компенсувати втрати тим, чий добробут знизився. Цей критерій лежить в основі сучасного аналізу витрат і результатів.

Аналіз витрат і результатів базується на схемі рівноваги, яка зав'язана на прямих ефектах інвестиційних проєктів: вони відбиваються на користувачах системи, створеної в результаті реалізації інвестпроекту, її операторах та уряді. Це передбачає, що всі сектори, які використовують цю систему, перебувають у стані

¹⁷² Wegener M. SASI Model Description. *Working Paper* / Dortmund Spiekermann & Wegener Urban and Regional Research. 2008. No. 08/01.

¹⁷³ Gramlich E.M. *Benefit-cost analysis of government programs*. Englewood Cliffs, N.J.: Prentice Hall, 1981.

абсолютно конкурентної рівноваги за відсутності помітної економії від масштабу. Це дає змогу локалізувати проєкт і зосередити соціально-економічний аналіз на певному (у нашому випадку транспортному) секторі¹⁷⁴. Разом із тим стосовно нього також беруться до уваги деякі зовнішні ефекти (наприклад екологічні).

Розгляд з точки зору інтересів суспільства вимагає оцінки суспільної цінності ресурсів, що залучаються в інвестпроєкт: це альтернативні вартості ресурсів. В ідеальному випадку їх хорошою оцінкою є ринкові ціни. Проте насправді в ринкових цінах присутні суттєві викривлення, які мають бути усунені при оцінці проєкту (досить докладні практичні рекомендації з цього приводу містяться в довіднику Світового банку¹⁷⁵).

Загальна схема розрахунку ефективності інвестпроєкту може бути представлена в такому вигляді¹⁷⁶:

$$\Delta W = \Delta CS + \Delta PS + \Delta GR - \Delta EE - \Delta IC \quad (2.1)$$

де ΔW – загальний ефект проєкту (зміна добробуту суспільства),

ΔCS – приріст виграшу споживачів створюваної транспортної системи,

ΔPS – сальдо зміни експлуатаційних витрат і виручки оператора транспортної системи (приріст виграшу виробника транспортних послуг),

ΔGR – зміна надходжень до державного бюджету,

ΔEE – зовнішні ефекти (вплив на навколишнє середовище, втрати від аварій тощо),

ΔIC – інвестиції (у тому числі спрямовуються на пом'якшення негативних впливів проєкту).

У зарубіжній практиці оцінки залізничних (і взагалі транспортних) інвестпроєктів найбільш часто виграш споживачів квантифікується у термінах грошової оцінки економії часу на доставку вантажу (поїздки) від початкового до кінцевого пункту.

¹⁷⁴ Mackie P.J., Nellthorp J., Laird J.J., Ahmed F. Toolkit for the evaluation of World Bank transport projects. Washington, D.C.: World Bank, 2003.

¹⁷⁵ Handbook on economic analysis of investment operations. Washington, D.C.: World Bank, 1998.

¹⁷⁶ Developing harmonised European approaches for transport costing and project assessment. Deliverable 5. Proposal for harmonised guidelines / European Commission EC-DG TREN, 2006.

Витрати на доставку тонни вантажу (або витрати пасажирів на одну поїздку) від початкового до кінцевого пункту становлять pt , де t – тривалість доставки (поїздки), p – цінність економії одиниці часу. Обсяг перевезень вимірюється кількістю перевезених тонн вантажу (числом пасажирів). У результаті реалізації інвестпроекту час доставки вантажу (поїздки) знижується з t_0 до t_1 , що супроводжується зростанням обсягу перевезень з Q_0 до Q_1 . Результати інвестпроекту – збільшення вигоди споживачів – оцінюють у цих європейських рекомендаціях за формулою:

$$\Delta CS = (Q_0 + Q_1)(t_1 - t_0)p/2 \quad (2.2)$$

Як видно, у цій формулі передбачається лінійність функції попиту. Це повсюдно прийняте припущення позбавляє необхідності емпірично оцінювати функцію попиту (що є досить непростим завданням) і виявляється достатнім, щоб оцінити скорочення часу доставки і спрогнозувати зростання обсягу перевезень. Але при цьому знижується точність оцінки величини ΔCS .

Оцінка зміни вигоди споживачів проводиться для трьох напрямів використання транспортних послуг: ділові пасажирські перевезення (коли пасажир здійснює поїздку в інтересах роботодавця), інші пасажирські перевезення, перевезення вантажів, кожному з яких відповідає своє значення p . Методи оцінки величини p складні та досить різноманітні, тому ми їх не розглядатимемо. В ідеалі така оцінка повинна проводитися для кожного інвестпроекту, однак на практиці часто використовують нормативні значення – величини p , оцінені для певної країни і зафіксовані в національних методиках оцінки транспортних інвестпроектів. Табл. 2.1 зводить наведені у¹⁷⁷ результати мета-аналізу різних досліджень з оцінки для різних країн ЄС. Автори цієї роботи рекомендують використовувати їх у разі відсутності національного нормативу і неможливості оцінити цінність економії одиниці часу для умов конкретного проекту.

¹⁷⁷ Developing harmonised European approaches for transport costing and project assessment. Deliverable 1. Current practice in project appraisal in Europe / European Commission EC-DG TREN. 2005. URL: <http://heatco.ier.uni-stuttgart.de/hd1final.pdf>

Цінність економії одиниці часу

Вид перевезень	Одиниця виміру	Середнє по 25 країнам ЄС	Мінімум (Литва)	Максимум (Люксембург)
Ділові поїздки	Євро/год на 1 пасажира	23,82	11,5 8	38,02
Інші поїздки (залежно від довжини маршруту)	Євро/год на 1 пасажира	8,48- 10,89	4,43 - 5,69	11,91- 15,30
Вантажні перевезення	Євро/год на 1 т вантажу	1,22	0,72	1,70

Джерело: ¹⁷⁸.

У¹⁷⁹ пропонуються такі визначення: витрати – споживання ресурсів оператором транспортної системи (при їх скороченні щодо бази для порівняння вони входять з негативним знаком), результати – ресурсні вигоди споживачів транспортних послуг та третьої сторони (окремі складові також можуть мати негативний знак) і надходження державі або оператору.

Таким чином, у число витрат включаються інвестиції та експлуатаційні витрати. Зниження експлуатаційних витрат, наприклад, після реконструкції існуючої дороги, виступають як негативні витрати. Результати охоплюють економію часу доставки, безпеку, вплив на навколишнє середовище, і грошові надходження в казну держави або оператору. Основою для оцінки цін, які використовуються при розрахунку різних показників, служать ринкові ціни, з якими здійснюють перетворення (конверсія) у факторні ціни. На практиці зазвичай це означає очищення ринкових цін від непрямих податків і дотацій. Проте у ряді європейських країн використовуються безпосередньо ринкові ціни. Їх відмінність від факторних цін становить від 7,7% (у Швейцарії) до 25% (в

¹⁷⁸ Developing harmonised European approaches for transport costing and project assessment. Deliverable 1. Current practice in project appraisal in Europe / European Commission EC-DG TREN. 2005. URL: <http://heatco.ier.uni-stuttgart.de/hd1final.pdf>

¹⁷⁹ Bewertungsmethode für die Priorisierung von Projekten im Schienenverkehr. Bern: ECOPLAN, 2005

Угорщині)¹⁸⁰. Хоча аналіз витрат і результатів заснований на вартісних оцінках, інвестпроект може викликати ефекти, які не можна оцінити лише у грошових термінах. Такі ефекти беруть до уваги на основі додаткового аналізу, але, природно, будь-які універсальні рекомендації тут відсутні.

Для характеристики ефективності інвестпроектів використовуються різні показники. Одним із найпоширеніших є чистий дисконтований дохід – ЧДД (NPV):

$$NPV = \sum_{t=0}^T \frac{B_t - C_t}{(1+r)^t} \quad (2.3)$$

де B_t – результати інвестпроекту, де C_t – витрати (поточні й капітальні), t – рік, у якому отримані відповідні результати і зроблено витрати, r – норма дисконтування. Критерій ефективності інвестпроекту – $NPV > 0$. Поряд із результатами та витратами, у ЧДД (і в споріднених показниках) фігурують плановий горизонт (період оцінки) T і норма дисконтування r , вибір величин яких пов'язаний з певними проблемами.

Теоретично величина T повинна дорівнювати терміну життя створеної в результаті реалізації проекту системи. Однак у випадку залізничних інвестпроектів цей термін потенційно нескінченний (у всякому разі виходить за будь-яку довгострокову перспективу). У деяких країнах (у Нідерландах та, іноді, у Швейцарії) ЧДД транспортних інвестпроектів, дійсно, розраховується за нескінченний термін. При цьому передбачається, що з якогось року річні результати і витрати стають постійними: $B_t = B$, $C_t = C$ при $t \geq \Theta$. Тоді формула (2) з $T = \infty$ набуває вигляду:

$$NPV = \sum_{t=0}^{\Theta-1} \frac{B_t - C_t}{(1+r)^t} + \frac{B - C}{r(1+r)}, \quad (2.4)$$

Разом із тим очевидно, що припущення про постійність витрат і результатів на нескінченному відрізку часу малореалістичні. Загалом можна сказати, що більш-менш суворі методи вибору горизонту планування відсутні. Кінцеві планові горизонти для

¹⁸⁰ Developing harmonised European approaches for transport costing and project assessment. Deliverable 1. Current practice in project appraisal in Europe / European Commission EC-DG TREN. 2005. URL: <http://heatco.ier.uni-stuttgart.de/hd1final.pdf>

оцінки ефективності транспортних інвестпроектів, прийняті в різних країнах (на основі евристичних міркувань) укладені в діапазоні від 20 до 60 років¹⁸¹. Для загальноєвропейської методики оцінки транспортних інвестпроектів пропонується величина у 40 років¹⁸². Норму дисконтування також не можна отримати з будь-яких ринкових показників (наприклад, з ринкової ставки відсотка). Вони зазвичай ґрунтуються на суспільній альтернативній вартості капіталу або на громадських міжчасових перевагах. Наразі більшість країн ЄС, схоже, прийняла норми дисконтування, засновані на суспільних міжчасових перевагах. Способи їх оцінки досить складні, крім того, в деяких країнах сюди включається поправка на ризик, що збільшує значення r . Величини ставки дисконтування, прийняті в різних країнах для транспортних інвестпроектів, мають значення від 0,03 до 0,12; у ряді країн вона визначена в деякому діапазоні (наприклад, у США – 0,03–0,07, Чехії – 0,05–0,07, Кіпрі – 0,06–0,12)¹⁸³. Учасники дослідницького проекту UNITE, спрямованого на уніфікацію розрахунків з оцінки ефективності транспорту в ЄС, рекомендують приймати $r = 0,03$ ¹⁸⁴, тоді як у методиці ЄС з оцінки інвестиційних проектів пропонується використання європейської громадської норми дисконтування, що дорівнює 0,05¹⁸⁵.

¹⁸¹ Глущенко К.П. Оценка эффективности транспортных проектов: опыт и проблемы. *MPRA Paper*. 13 October 2011. No. 34096. URL: <http://mpra.ub.uni-muenchen.de/34096/>;

Facts and furphies in benefit-cost analysis: transport. Canberra: Bureau of Transport Economics, 1999. URL: <http://www.bitre.gov.au/publications/24/Files/r100.pdf>

¹⁸² Guide to cost-benefit analysis of investment projects / European Commission; Directorate General for Regional Policy. 2002. URL: http://ec.europa.eu/regional_policy/sources/docgener/guides/cost/guide02_en.pdf

¹⁸³ Глущенко К.П. Оценка эффективности транспортных проектов: опыт и проблемы. *MPRA Paper*. 13 October 2011. No. 34096.

¹⁸⁴ Facts and furphies in benefit-cost analysis: transport. Canberra: Bureau of Transport Economics, 1999. URL: <http://www.bitre.gov.au/publications/24/Files/r100.pdf>

¹⁸⁵ Guide to cost-benefit analysis of investment projects / European Commission; Directorate General for Regional Policy. 2002. URL : http://ec.europa.eu/regional_policy/sources/docgener/guides/cost/guide02_en.pdf

Показником, спорідненим до ЧДД, є відношення результатів до витрат (BCR):

$$BCR = \sum_{t=0}^T \frac{B_t}{(1+r)^t} / \sum_{t=0}^T \frac{C_t}{(1+r)^t} \quad (2.5)$$

Критерій ефективності інвестпроекту при використанні цього показника – $BCR > 1$.

Ще один споріднений ЧДД і широко застосовуваний показник – внутрішня норма прибутковості (IRR): величина r^* , що є розв'язанням рівняння $NPV = 0$ щодо r . У цьому випадку критерій ефективності інвестпроекту виглядає як $r^* > r$, де r норма дисконтування, що застосовується при розрахунку ЧДД.

Рідше використовується ряд інших показників, таких як ЧДД у розрахунку на одиницю вкладень (на одиницю бюджетних вкладень у випадку приватно-державного партнерства), термін повернення інвестицій та ін.¹⁸⁶

Що ж до показників, які характеризують ефективність інвест-проектів, необхідно відзначити, що аналогічні показники використовуються при фінансовому аналізі, тобто оцінці комерційної ефективності проектів приватними фірмами (при розробленні техніко-економічних обґрунтувань або бізнес-планів). Через це у вітчизняній літературі деякі автори плутають фінансовий аналіз із аналізом витрат і результатів. Однак за подібності форми за змістом вони принципово відмінні: аналіз витрат і результатів пов'язаний з оцінками з точки зору суспільства, і всі складові показника ефективності – це далеко не ринкові параметри. У разі ж фінансового аналізу результати є реальними фінансовими надходженнями фірми, витрати – витратами у ринкових цінах, а норма дисконтування – ринковою ставкою відсотка.

Аналіз витрат і результатів при оцінці транспортних інвест-проектів за кордоном лише іноді супроводжується фінансовим аналізом, який при цьому виконує досить обмежену і суто допоміжну роль – перевірити, чи забезпечується беззбитковість оператора створюваної транспортної системи. Але в більшості

¹⁸⁶ Глущенко К.П. Оценка эффективности транспортных проектов: опыт и проблемы. *MPRA Paper*. 13 October 2011. No. 34096. URL: <http://mpra.ub.uni-muenchen.de/34096/>

країн методики оцінки транспортних проєктів питання фінансового аналізу взагалі не зачіпають. Річ у тім, що в цих країнах є усталена тарифна система і всі оцінки проводяться при неявному припущенні про її незмінність (хоча потрібно відзначити, що в¹⁸⁷ містяться рекомендації щодо врахування при оцінці ефективності транспортних проєктів припущення про тарифну політику).

Таким чином, мікроекономічний підхід – аналіз витрат і результатів – заснований на єдиному критерії: максимізації суспільного добробуту. Але конкретний інвестпроєкт може бути спрямований на досягнення цілей, які, хоча і пов'язані в кінцевому рахунку із добробутом суспільства, в принципі не можуть бути оцінені у таких термінах (і – тим більше – монетизовані). Прикладами можуть слугувати: зміцнення політичної та економічної єдності країни, забезпечення доступу до районів нового господарського освоєння, посилення обороноздатності країни та ін. У таких випадках використовується багатокритеріальний підхід, коли ефективність проєкту розглядається як багатовимірна (векторна) характеристика.

У світовій практиці оцінки транспортних інвестпроєктів багатокритеріальний підхід завжди застосовується поряд із аналізом витрат і результатів, при цьому зведений показник останнього, наприклад ЧДД, є одним із критеріїв. Хоча при оцінці транспортних інвестпроєктів багатокритеріальний підхід використовується досить широко – приблизно в половині країн, охоплених оглядами¹⁸⁸, у разі залізничних інвестпроєктів його застосовує тільки п'ята частина.

По суті, багатокритеріальний підхід не є раз і назавжди заданим, це скоріше сукупність різних методів багатокритеріальної оптимізації, що різні у різних країнах. Для них поки не існує ані загальної теоретичної схеми, ані якоїсь єдиної сукупності принципів аналізу (хоча деякі дослідники вважають, що більшість

¹⁸⁷ Facts and furphies in benefit-cost analysis: transport. Canberra: Bureau of Transport Economics, 1999. URL: <http://www.bitre.gov.au/publications/24/Files/r100.pdf>

¹⁸⁸ Глущенко К.П. Оценка эффективности транспортных проектов: опыт и проблемы. *MPRA Paper*. 13 October 2011. No. 34096. URL: <http://mpa.ub.uni-muenchen.de/34096/>

методів є різними способами виявлення та аналізу переваг осіб, які приймають рішення¹⁸⁹).

Результатом багатокритеріального аналізу може бути синтетичний показник ефективності (як у випадку аналізу витрат і результатів), що дозволяє ранжувати альтернативи, або саме ранжування без будь-якого синтетичного показника. Показники, що характеризують окремі аспекти (вимірювання) ефективності, можуть бути кардинальними (числовими), ординальними (порядковими) або навіть якісними. Через різноманіття можливих критеріїв щодо них існують лише загальні рекомендації: чітко розрізняти цілі й засоби, перевіряти систему критеріїв на узгодженість, уникати перетину критеріїв.

Макроекономічний підхід. Характерною рисою макроекономічного підходу є локалізація інвестпроєкту, тобто аналіз у межах однієї галузі або ринку. Однак, як зазначалося раніше, реалізація проєкту може впливати на економіку за межами її локалізованої частини, наприклад, на зайнятість і завантаження потужностей у суміжних галузях. Це зумовлює необхідність оцінювати ефективність проєкту в контексті економіки країни загалом, враховуючи його вплив по всьому ланцюжку секторів економіки. Макроекономічний підхід зазвичай розглядається як доповнюючий до аналізу витрат і результатів. У рамках останнього впливу проєкту на інші сфери економіки трактується як непрямі соціально-економічні ефекти; у¹⁹⁰ їх рекомендується оцінювати (поза рамками методології аналізу витрат і результатів) за допомогою тієї чи іншої макроекономічної моделі.

Найбільш простою формою макроекономічного підходу є оцінка внеску інвестпроєкту у зміну ВВП. Вона здійснюється за допомогою прямого розрахунку, без використання будь-яких моделей. Поряд із безпосереднім внеском проєкту за допомогою мультиплікатора доходу (а іноді й акселератора) розраховується його непрямий внесок, що виникає за рахунок зростання попиту в ланцюжку взаємопов'язаних галузей і зростання кінцевого споживання.

¹⁸⁹ Facts and furphies in benefit-cost analysis: transport. Canberra: Bureau of Transport Economics, 1999. URL: <http://www.bitre.gov.au/publications/24/Files/r100.pdf>

¹⁹⁰ Там само.

У роботі¹⁹¹, зазначено, що вплив розвитку транспортної системи на економічне зростання може визначатися за такими підходами: 1) зіставлення й оцінка впливу розвитку транспорту на економічне зростання (внесок транспорту у ВВП, виробничі функції тощо); 2) продуктивність праці у транспортному секторі як за видами транспорту, так і по сектору загалом, що дозволяє оцінювати ефективність роботи транспорту в контексті національної економіки, виявляти втрати і доходи; 3) логістичні витрати та їх оцінка як частки від ВВП, що допоможе оцінити усі логістичні витрати на шляху вантажу від відправника до отримувача; 4) вартість перевезення пасажирів та вантажів, обумовлена тарифною політикою на транспорті (за цим показником можна оцінювати, як міжнародні перевезення вантажів та пасажирів впливатимуть на доходну частину бюджету країни); 5) швидкість доставки товару та мобільність населення у країні; 6) рівень використання транспорту та його потужностей.

Проте зазвичай для оцінки макроекономічного ефекту інвест-проекту використовуються економіко-математичні моделі, які можна розділити на три типи: моделі «витрати-випуск», імітаційні макроекономічні моделі, моделі обчислювальної загальної рівноваги.

Ці типи моделей досить добре відомі, за своїм характером вони передбачають позитивний аналіз, тоді як рішення про вибір системи інвестпроектів або варіанта інвестпроекту – це скоріше проблематика нормативного аналізу. Модель «витрати-випуск» (її варіант, що включає тільки галузі матеріального виробництва, відомий як модель міжгалузевого балансу) дозволяє простежити вплив транспортного інвестпроекту по ланцюжку взаємопов'язаних галузей і зміну кінцевого споживання, визначивши загальну зміну зайнятості та зміну ВВП. Для цього у складі секторів, представлених у таблиці «витрати-випуск», повинен бути виділений транспортний сектор. У практиці оцінки ефективності транспортних інвестпроектів вони застосовуються, наприклад, в Італії, де для визначення впливу

¹⁹¹ Щербанин Ю.А. Транспорт и экономический рост: взаимосвязь и влияние. *Евразийская экономическая интеграция*. Август 2011. № 3 (2). С. 65–78.

інвестпроектів на економіку країни в розрізі видів діяльності використовуються регіональні таблиці «витрати-випуск»¹⁹².

Імітаційна макроекономічна модель представляє опис взаємозв'язків в економіці країни за допомогою системи економетричних рівнянь, параметри яких оцінені на основі ретроспективних статистичних даних. Розглянутий інвестпроект або його варіанти включаються в модель шляхом зміни значень керованих змінних моделі (склад яких деталізовано визначається для кожної конкретної моделі), після чого розраховуються зміни таких показників, як загальна зайнятість в економіці, виробничі витрати, ціни і заробітна плата тощо. Перевагою таких моделей є те, що вони можуть включати в явному вигляді динаміку (на відміну від статичних моделей «витрати-випуск» і обчислювальної загальної рівноваги), що дозволяє простежити розвиток ефектів проекту в часі.

Подібні можливості – за винятком обліку динаміки – представляє модель обчислювальної загальної рівноваги (computable general equilibrium), її іноді теж вважають імітаційною. Така модель будується на основі функцій корисності що, у свою чергу, визначають функції попиту і виробничих функцій або функцій витрат (природно, досить простих), і включає обчислювальний алгоритм знаходження загальної рівноваги. Початковим матеріалом для розробки моделі обчислювальної загальної рівноваги служать таблиці «витрати-випуск».

Моделі останніх двох типів в оцінці транспортних інвестпроектів застосовуються тільки епізодично, в основному тими чи іншими дослідницькими групами. Так, у ЄС модель обчислювальної загальної рівноваги CGEurope використовується для досліджень, пов'язаних з європейською транспортною політикою, які включають аналіз деяких передбачуваних транспортних проектів¹⁹³. Ще одним прикладом є модель SASI (Spatial and socio-economic impacts of transport investments and transport system

¹⁹² Guide to cost-benefit analysis of investment projects / European Commission; Directorate General for Regional Policy. 2002. URL: http://ec.europa.eu/regional_policy/sources/docgener/guides/cost/guide02_en.pdf

¹⁹³ Jonkhoff W., Rustenberg M. Indirect effects in European transport appraisal. *Infrastructure Productivity Evaluation*. New York; Dordrecht; Heidelberg; London: Springer, 2011. С. 79–94.

improvements – просторовий і соціально-економічний впливи інвестицій у транспорт і вдосконалення транспортної системи), що використовувалась у декількох дослідницьких проєктах під егідою різних органів ЄС. Це досить складна імітаційна модель соціально-економічного розвитку регіонів Європи, в явному вигляді включає географічний аспект, у тому числі опис транспортної інфраструктури¹⁹⁴.

Проте макроекономічний підхід на практиці застосовується досить рідко і слабке використання макроекономічних моделей пояснюється трьома причинами.

По-перше, побудова таких моделей – дуже складне завдання, що вимагає високої і специфічної кваліфікації. Готових же моделей у будь-якій країні в кращому випадку обмаль, і їх навряд чи можливо застосовувати без участі фахівців, які розробили модель або регулярно використовують її у своїх дослідженнях. По-друге, в макроекономічних моделях транспортний інвестпроєкт представляється досить агреговано, втрачаючи багато деталей, які враховуються при аналізі витрат і результатів. Як наслідок, отримані оцінки виявляються дуже приблизними.

Але головна причина – в особливостях транспортних інвестпроєктів, які реалізуються наразі за кордоном. При високій щільності існуючої там транспортної мережі ці проєкти спрямовані на її вдосконалення, тобто не призводять до принципових змін. При цьому проєкт, дійсно, досить добре локалізується в межах транспортної галузі, лише досить незначним чином впливаючи на іншу частину економіки (що може бути враховано додатково до аналізу витрат і результатів без звернення до макроекономічних моделей).

Аналіз оцінок ефективності та впливу на суспільний добробут розвитку окремих проєктів транспорту, особливо крупних інвестиційних, у вітчизняній науковій літературі засвідчує, що макроекономічний підхід застосовано в поодиноких дослідженнях і заснований він переважно на оцінці транспортної спроможності ВВП. Спеціальні макроекономічні моделі, що описані вище в зарубіжній

¹⁹⁴ Wegener M. SASI Model Description. *Working Paper* / Dortmund Spiekermann & Wegener Urban and Regional Research. 2008. No. 08/01.

науковій літературі, в сучасних дослідженнях в Україні не застосовуються. Це саме стосується і досить розповсюдженого на державному рівні у країнах Європи мікроекономічного підходу, а саме аналізу витрат і результатів, що розвинено в рамках загальної теорії добробуту та максимізації суспільної корисності.

Необхідно зазначити, що в рамках проекту «Оцінка економіко-соціальних, правових та міжнародних аспектів та ставлення громадськості до створення глибоководного суднового ходу Дунай – Чорне море на українській ділянці дельти»¹⁹⁵, що був виконаний на підставі наказу Міністерства транспорту України № 710 від 15.12.2000 р., окремого доручення Кабінету Міністрів України № 2752/96 від 25.03.2002 р., розпорядження Президії НАНУ № 267 від 29.04.2002 р. у НАН України, для визначення ефективності вкладених інвестицій у побудову суднового ходу в рамках Міжнародного транспортного коридору № 7 були застосовані методи оцінки окупності проекту за допомогою такої формули, де норма дисконтування врахована не була:

$$T = \frac{K}{(D - Z - A) \times 0,7 + A}, \text{ років}, \quad (2.6)$$

де T – термін окупності;

D – середні річні прибутки;

Z – середні річні експлуатаційні витрати;

A – сума середньорічних амортизаційних відрахувань;

K – сума капітальних вкладень.

За нашими розрахунками при врахуванні норми дисконтування період окупності проекту за одним із варіантів по гирлу Бистре становив би 17,02 року, в той час як згідно з техніко-економічним обґрунтуванням термін окупності проекту становив 7,9 року, а

¹⁹⁵ Звіт «Оцінка економіко-соціальних, правових та міжнародних аспектів та ставлення громадськості до створення глибоководного суднового ходу Дунай-Чорне море на українській ділянці дельти». Т 1: Здійснити оцінку економіко-соціальних аспектів створення глибоководного суднового ходу Дунай-Чорне море на українській ділянці дельти Дунаю; Т. 2: Оцінка правових та міжнародних аспектів створення глибоководного суднового ходу Дунай-Чорне море на українській ділянці дельти / Рада із вивчення продуктивних сил України; НАН України. Київ, 2002.

проєкту «Соломонове гирло – Жебріянська бухта» – 29,31 року, а по ТЕО – 18,4 року.

Проте необхідно зазначити, що суспільну оцінку в проєкті все ж було проведено за допомогою інтегральної оцінки варіантів проєктів у каскадному варіанті: спершу для кожної групи показників (економічних, соціальних, екологічних та ін.) окремо за допомогою п'ятих показників у кожній групі була побудована агрегована оцінка внеску цієї групи у загальну оцінку кожного з порівнюваних проєктів. На цій базі вже в десятивимірному просторі (за числом груп показників) були побудовані інтегральні оцінки кожного з трьох показників варіантів судноплавного каналу, що дало змогу експертним шляхом визначити пріоритетність варіантів побудови каналу.

Наразі серед проєктів загальнонаціонального значення, спрямованих на підвищення ефективності використання транспортно-транзитного потенціалу України і створення нової інфраструктури транспорту, ініційовано транспортний проєкт «Повітряний експрес» залізничного пасажирського сполучення «М. Київ – міжнародний аеропорт «Бориспіль» і будівництво інших інфраструктурних об'єктів Київського регіону», який складається з двох частин: 1) «Організація залізничного пасажирського сполучення м. Київ – міжнародний аеропорт «Бориспіль» та 2) міська кільцева автомобільна дорога навколо міста Києва від вул. Столичне шосе до автомобільної дороги М-03 Київ – Харків – Довжанський на ділянці Київ – Бориспіль¹⁹⁶.

Проте ніякої оцінки ефективності та впливу на суспільний добробут ця організація не провела, більше того, ці проєкти не є проєктами національного значення, а отже, на нашу думку, не можуть розглядатися як національні. Стосовно сутності поняття «національний проєкт» виділяють три основні бачення¹⁹⁷: 1) національний проєкт як стратегічна програма реформ у певній сфері; 2) національний проєкт як міжгалузева/міждисциплінарна

¹⁹⁶ Національні проєкти. Нова інфраструктура / Державне агентство з інвестицій та управління національними проєктами України. URL: <http://www.ukrproject.gov.ua/projects/45>

¹⁹⁷ Національні проєкти в стратегії економічної модернізації України. Київ: НІСД, 2013. 57 с.

складова державної/національної програми, спрямованої на реалізацію загальнонаціональних цілей, що забезпечує необхідну міжгалузеву координацію; 3) національний проєкт як інвестиційний проєкт, що поєднує зусилля держави, бізнесу й громадськості щодо реалізації пріоритетних цілей і завдань.

Основними критеріями відбору національних проєктів є: системність впливу на економіку (підвищення рівня конкурентоспроможності, стимулювання економічного зростання, наявність значного міжгалузевого мультиплікатора, сприяння зміцненню макроекономічної стабільності); довгостроковість реалізації та тривалість досягнутого ефекту; соціальна резонансність: наскільки результати проєкту вплинули на поліпшення якості життя значного прошарку громадян; орієнтованість на модернізацію економічної, соціальної, правової систем, що вимагатиме досягнення цілей проєкту через здійснення необхідних реформ у зазначених сферах; сприяння капіталізації та використанню вітчизняного ресурсу, що обумовлює орієнтацію проєкту на зміцнення національної економічної незалежності, забезпечує його відносну автономність щодо коливань світової економічної кон'юнктури; наявність широких можливостей інтеграції зусиль держави і бізнесу в рамках реалізації проєкту, що потребує наявності потенціалу його комерційної привабливості; наявність розгалуженого впливу реалізації проєкту на економічне та соціальне становище в регіонах України, залучення регіональних економічних потенціалів, розвиток міжрегіональної співпраці.

На нашу думку, зазначені вище проєкти у транспортній сфері не демонструють спрямованість на досягнення загальнонаціональних цілей і стратегічних завдань, відбір цих проєктів демонструє вади системного планування розвитку країни, адже національні галузеві проєкти мають «системно вплинути на економіку або сприяти капіталізації та використанню вітчизняного ресурсу, що обумовлює орієнтацію проєкту на зміцнення національної економічної незалежності, забезпечувати його відносну автономність щодо коливань світової економічної кон'юнктури».

Натомість більш пріоритетними й актуальними для України є дійсно національні проєкти «Розбудова швидкісних автомагістралей» та «Розбудова високошвидкісної залізничної інфраструк-

тури» із пошуком нових підходів до державної транспортної політики та диверсифікацією джерел інвестування, що розглядаються у наступному підрозділі.

Таким чином, на сучасному етапі в Україні необхідно враховувати практику західних країн щодо оцінок транспортних інвестицій, застосовуючи при цьому мікроекономічний підхід при стратегічному плануванні розвитку наземних транспортних систем, що дасть змогу обґрунтовувати суспільні інвестиції в ці проекти та отримувати позитивний ефект від їх розвитку; для цього пропонується на державному рівні розробити та затвердити методіку оцінки суспільно-важливих інфраструктурних проектів для обґрунтування суспільних інвестицій за допомогою мікроекономічного підходу оцінки затрат та результатів. Про відсутність такої методіки свідчить те, що, співпрацюючи з МФО, Міністерство інфраструктури користується методиками оцінки Європейського інвестиційного банку (не маючи власної методіки).

Розглянемо регуляторне середовище впровадження інноваційних транспортних проектів, яке має базуватися на усвідомленні нових підходів до інституціоналізації відносин між усіма партнерами транспортного процесу та до нових умов фінансування масштабних транспортних проектів.

2.2. Регуляторне середовище впровадження інноваційних транспортних проектів¹⁹⁸

Інновації та впровадження повинні спиратися на адекватне регуляторне середовище та відповідну нормативно-правову базу.

Так, відповідно до Директиви ЄС 96/48¹⁹⁹ країни – члени Європейського Союзу погодилися гармонізувати технічні засоби своїх швидкісних залізничних ліній, щоб забезпечити їх експлуатаційну сумісність у міжнародних сполученнях. Метою цієї Директиви є досягнення функціональної сумісності європейської мережі високошвидкісних поїздів на різних етапах її проектування,

¹⁹⁸ Підрозділ 2.2 підготовлено за участю О.М.Стасюк, Л.Ю. Чмирьової, Н.О. Федяй.

¹⁹⁹ Directive 96/48/EC – Interoperability of the trans-European high speed rail system. URL: <https://www.transportstyrelsen.se/.../tsi-highspeed-operation-t...>

будівництва, поступового введення в експлуатацію та експлуатації. Положення Директиви стосуються параметрів, складових, інтерфейсів та процедур, які необхідні й адекватні для забезпечення взаємодії в мережі високошвидкісних поїздів.

Мережа визначається як система, що складається з набору інфраструктур, стаціонарних установок, логістичного обладнання та рухомого складу.

У Директиві підкреслюються основні вимоги, що охоплюють усі умови, що необхідно виконати для забезпечення функціональної сумісності європейської мережі високошвидкісних поїздів. Держави-члени зобов'язані дотримуватися цих основних вимог для досягнення цілей взаємодії в Європі. Вимоги, що стосуються безпеки, надійності, здоров'я людини, захисту навколишнього середовища, технічної сумісності та експлуатації, визначені в загальних рисах у Додатку III.

Основні вимоги приймаються у формі «Технічних специфікацій взаємодії» (Technical Specifications for Interoperability, TSI). Ці специфікації встановлюють фундаментальні елементи кожної підсистеми і визначають, зокрема, складові, що є критичними з точки зору функціональної сумісності. Країни – члени ЄС повинні імплементувати вимоги TSI у національне законодавство, щоб проекти й будівництво нових високошвидкісних ліній відповідали цим вимогам.

Директива має тривірневу структуру:

- сама Директива, що містить основні вимоги, яким повинна відповідати система;
- технічні специфікації для взаємодії (TSI), що мають бути ухвалені відповідно до процедур, викладених у Директиві;
- усі інші європейські специфікації, включаючи європейські стандарти європейських органів із стандартизації: CEN, Cenelec і ETSI.

Наразі Технічні характеристики сумісності (TSI) є обов'язковими в Європі як для інфраструктури, так і для рухомого складу. Серед інших обов'язкових умов для всієї нової інфраструктури і рухомого складу в Європі зараз застосовується ERTMS (Європейська система управління залізничним рухом) – система, що охоплює ETCS (Європейську систему управління поїздом) та

GSM-R (Глобальну систему мобільного зв'язку – залізниці). ETCS сьогодні працює на Рівнях 1 і 2. Рівень 3 (кожен поїзд точно знає, де він перебуває, і може передавати цю інформацію іншим поїздам) ще не працює.

Доцільно відрізнити обов'язкові стандарти від європейських специфікацій та інших гармонізованих стандартів, розроблених європейськими організаціями зі стандартизації. Останні не є обов'язковими, але припускають відповідність основним вимогам Директиви²⁰⁰.

В інших країнах норми також застосовуються й за історичних причин ці переліки норм відрізняються у різних регіонах світу, але уніфікуються в міру того, як міжнародний промисловий залізничний ринок стає дедалі конкурентоспроможнішим.

Серед інших рішень ЄС 2002/733 затверджено специфікації на системи тягового електропостачання (TSI Energy), у т.ч. і на контактну мережу. Документ поширюється на проектування нових ліній або модернізацію існуючих. TSI не нав'язує використання конкретних технологій або технічних рішень, за винятком випадків, коли це необхідно для сумісності транс'європейської високошвидкісної залізничної системи.

В Україні документа, аналогічного TSI, немає, оскільки на пострадянському просторі проблеми інтегрованості залізничного транспорту – через історичні причини розвитку – не існувало. Проте є міждержавний документ, який регламентує питання будівництва контактної мережі швидкісних і високошвидкісних залізничних ліній, пам'ятка ОСЖД Р610-7 «Загальні технічні вимоги до систем тягового електропостачання постійного і змінного струму швидкісних і високошвидкісних ліній». Порівнюючи категорії швидкісних ліній у TSI «Енергія» і Р-610/7, можна зробити висновок, що I категорії TSI відповідає категорія В1 ОСЖД, відповідно, II – В2, III А2. Тож в Україні підхід для визначення високошвидкісних, швидкісних ліній загалом відповідає TSI «Енергія»²⁰¹.

²⁰⁰ Summaries of EU Legislation. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=LEGISSUM:l24095>

²⁰¹ Сиченко В. Електропостачання швидкісних та високошвидкісних магістралей. *Українські залізниці*. 2015. № 56. С. 32–39.

Наступним документом, який визначає нормативно-правові основи трансформаційних процесів на транспорті в ЄС, є Біла книга, що є дорожньою картою переходу Єдиної європейської транспортної зони до конкурентної та енергоефективної транспортної системи, що містить положення про заходи, необхідні для переходу до конкурентної низьковуглецевої економіки до 2050 р. По-перше, планується завершити створення загальноєвропейського транспортного простору і різко знизити негативні екологічні ефекти транспорту. По-друге, документ передбачає повну заборону до 2050 року використання автомобільного транспорту на таких видах пального, як бензин, дизельне пальне та інші вуглецеві види пального.

Технологічні інновації можуть забезпечити швидший та дешевший перехід до більш ефективної та екологічно сталої системи європейського транспорту за рахунок впливу на три основні чинники: ефективність транспортних засобів завдяки новим двигунам, матеріалам та конструкціям; використання екологічної енергії завдяки новим видам палива та силовим установкам; краще використання мережі та більш безпечні операції з огляду на технічну та громадську безпеку – завдяки інформаційним та комунікаційним системам.

Вимоги стандартизації та експлуатаційної сумісності, у т.ч. і на міжнародному рівні, знімуть технологічну подрібненість та дадуть європейським компаніям змогу повністю використовувати переваги всього європейського транспортного ринку та створювати ринкові можливості в усьому світі²⁰².

Регламент TEN-T²⁰³ передбачає стратегічне планування з точки зору ЄС, що охоплює весь ЄС і деталізує ті частини залізничної мережі, які повинні бути розроблені відповідно до високошвидкісних (HS) стандартів. Швидкісні залізниці визначені в пункті (а) ст. 11.2 Регламенту TEN-T.

²⁰² WHITE PAPER Roadmap to a Single European Transport Area – Towards a competitive and resource efficient transport system. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:52011DC0144&from=EN>

²⁰³ Regulation (EU) 1315/2013 – Guidelines for the development of the trans-European transport network. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?qid=1595855596217&uri=CELEX:32013R1315>

Регламент TEN-T являє собою основний стратегічний інструмент реалізації для досягнення загальних цілей та конкретизує розроблену Комісією в Білій книзі 2011 року стратегію в цілі, завдання і відповідні заходи. Цей Регламент визначає інфраструктурну політику ЄС для транспорту і критерії для визначення проєктів, які становлять спільний інтерес для ЄС.

Терміни розробки TEN-T, викладені в Регламенті, є обов'язковими для забезпечення того, щоб розгортання відповідної високошвидкісної залізничної інфраструктури здійснювалося узгодженим і синхронізованим чином на всій території ЄС. Крім того, регламент TEN-T передбачає можливість приймати виконавчі рішення щодо конкретних транскордонних ділянок (наприклад, Евора – Меріда, Рейл Балтика та ін.).

Інструмент основних мережевих коридорів був спеціально розроблений для максимізації синергізму між зусиллями, до яких вдаються різні держави-члени та їх керуючі інфраструктурою. В кінцевому підсумку до 2030 р. усі ці елементи повинні бути взаємопов'язані, хоча це залежить від наявності фінансових ресурсів у державах-членах.

Четвертий залізничний пакет, прийнятий у 2016 р., передбачає зняття бар'єрів на шляху забезпечення сумісності, підвищення безпеки та лібералізації ринків пасажирських залізничних перевезень. Це буде реалізовано починаючи з 2019 р., із певними перехідними періодами. У зв'язку з тим, що це передбачає нову інфраструктуру, побудовану відповідно до сучасних стандартів і розроблену з самого початку для міжнародного трафіку, перешкод для взаємодії на високошвидкісних маршрутах буде значно менше, ніж в історичній мережі²⁰⁴.

Цей приклад інституціонального стимулювання окреслює майбутнє Європейського транспортного простору, що важливо для України в контексті розвитку транспорту п'ятого покоління, який включає інноваційні види транспорту.

Шість ключових етапів, які необхідно враховувати при реалізації проєктів розвитку транспорту п'ятого покоління в Україні:

²⁰⁴ A European high-speed rail network: not a reality but an ineffective patchwork. Special report no.° 19/2018. URL: <https://www.eca.europa.eu/en/Pages/DocItem.aspx?did=46398>

Перший етап. *Визначення потенційних можливостей.* На ньому визначаються основні характеристики проекту та шляхи досягнення результатів, які будуть використовуватися як припущення для генерального плану розвитку транспортних засобів та вимог щодо подорожей. Проведено попередні дослідження, в тому числі прогностні, із загальним обґрунтуванням соціально-економічних характеристик, статус-кво транспортної мережі, поточним попитом та пропозицією всіх видів транспорту тощо. За допомогою технічних та економічних порівнянь визначається пріоритетний маршрут, а також складається калькуляція первинних витрат.

Другий етап. *Передпроектне дослідження з урахуванням ситуації, що склалася.* Цей етап поділяється на шість підетапів: техніко-економічне обґрунтування, екологічна оцінка, фінансовий та економічний аналіз, багатокритеріальний аналіз, попередній дизайн та розширення можливостей. Його мета – забезпечити надійну підтримку процесу прийняття рішень.

Третій етап. *Планування проекту.* Передбачає проведення системи заходів для реалізації проекту. Спирається на етап передпроектного дослідження з урахуванням ситуації, що склалася, та підтримує початок будівництва. Він ділиться на дві частини: планування технічного обслуговування, а також детальний дизайн.

Четвертий етап. Етап технічного виконання. Стосується безпосереднього технічного виконання пунктів плану проекту та його впровадження. Цей етап поділяється на три етапи: планування, конструювання, тестування та введення в експлуатацію (включаючи авторизацію).

П'ятий етап. *Операційний етап.* Це період, протягом якого відкриваються маршрути для здійснення поїздок і після завершення тестових випробувань та отримання операційного сертифікату починаються пасажирські перевезення. На цьому етапі головними пріоритетами є обслуговування та експлуатація.

Шостий етап. *Експертно-оціночний етап.* Експертна оцінка проекту, як правило, здійснюється протягом першого десятиліття експлуатації.

Тривалість реалізації проектів з розвитку транспорту п'ятого покоління є різною, залежно від технічних складностей прокладання та введення в експлуатацію та наявності фінансування.

Так, наприклад, більшість високошвидкісних ліній будуються протягом п'яти-шести років після отримання права володіння необхідною землею, за умови, що тунелі та віадуки нечисленні та не надто довгі.

Перед створенням мережі необхідно пройти кілька адміністративних процедур, які є обов'язковими, хоча варіюються в різних країнах. Проте існують ключові етапи, яких не можна уникнути незалежно від контексту (рис. 2.1):



Рис. 2.1. Планування будівництва інфраструктури

Джерело: UIS.

1) *публічне розслідування* – спрямоване на перевірку наявності належного балансу між суспільними та приватними інтересами;

2) *екологічна експертиза* – визначення екологічної ситуації перед проектом і надання переліку екологічних заходів, які повинні бути виконані;

3) *адміністративний запит* – спрямований на сумісність проекту з іншими публічними проектами;

4) *інституційна та фінансова схема* для визначення того, хто буде власником проекту та як він фінансуватиметься, із подальшим фінансовим закриттям;

5) *представлення проекту в офіційних документах і процедурах*, таких як договори (або, якщо проект виходить за рамки кордону, – національні закони), що дозволяють і визначають умови для робіт.

Велика частина устаткування для будівництва зберігається на базових станціях і доставляється на платформу на поїзді після прокладки шляху. Ці будівельні бази мають бути розташовані стратегічно, щоб скоротити час у дорозі поїздів, відповідальних за будівництво. Такі бази часто зберігаються після уведення в експлуатацію лінії та становлять базу для технічного обслуговування.

2.3. Оцінка фінансових ресурсів для розвитку транспорту п'ятого покоління²⁰⁵

1. Фінансове забезпечення проєктів HSR

Структура витрат типового проєкту HSR

Структура витрат типового проєкту HSR поділяється на **витрати, пов'язані з інфраструктурою, та на витрати, пов'язані з рухомими складом²⁰⁶**.

Витрати на інфраструктуру вважаються фіксованими витратами, оскільки вони залежать не від обсягу трафіку, а від розміру інфраструктури: протяжності колій, кількості станцій та іншого. Ці витрати включають:

1) інвестиції в будівництво. Ця категорія витрат виникає ще до початку комерційних операцій, за винятком випадків розширення або модернізації вже існуючої мережі;

2) технічне обслуговування трас. До цієї категорії включаються витрати на:

- капітальний ремонт інфраструктури,
- витрати на робочу силу,
- матеріали,
- запчастини,
- інші поточні витрати;

²⁰⁵ Підрозділ 2.3 підготовлено за участю О.М.Стасюк, Л.Ю. Чмирьової, Н.О. Федяй.

²⁰⁶ Campos Javier, De Rus Ginés, Barrón Ignacio. Economic analysis of high speed rail in Europe. Chapter 2: The cost of building and operating a new high speed rail line. URL: https://www.researchgate.net/publication/23779616_The_cost_of_building_and_operating_a_new_high_speed_rail_line

- 3) термінали і кінцеві та проміжні станції;
- 4) системи енергозабезпечення;
- 5) системи лінійної сигналізації;
- 6) системи управління потягом;
- 7) системи управління трафіком;
- 8) обладнання.

Нижче, в табл. 2.2 та 2.3, наведено дані, зібрані фахівцями консалтингової фірми Compass International, що спеціалізується на кошторисах для комерційного будівництва. Вони провели моніторинг цін на послуги, що надають компанії понад 120 країн світу, в тому числі й тих, які стосуються реалізації проєктів HSR. Ця інформація була відібрана на основі систематичного відслідковування цін на будівельні матеріали, робочу силу та обладнання задля того, щоб будівельні компанії мали змогу сформуванати бюджетні витрати, спираючись на реальні дані, та були забезпечені достовірною інформацією про оцінку будівництва. Так було зібрано інформацію про глобальні витрати на будівництві треків HSR в існуючих проєктах та інформацію стосовно вартості техніко-економічного обґрунтування проєктів. Показники представлені в табличній формі, де зазначена найбільша та найменша вартість відповідних послуг у доларах США за милю або кілометр будівництва на 2017 р.²⁰⁷.

Таблиця 2.2

**Деякі показники вартості послуг
на будівництво або модернізацію треків HSR**

Витрати на трек HSR	Найвищий показник в дол. США за 1 км	Найнижчий показник в дол. США за 1 км
Нова високошвидкісна одноколійна залізниця на кам'яній основі	996 875	1 134 375
Модернізація вже існуючої високошвидкісної одноколівної залізниці на кам'яній основі	790 625	928 125

²⁰⁷ 2017 Railroad Engineering & Construction Cost Benchmarks. URL: <https://compassinternational.net/railroad-engineering-construction-cost-benchmarks/>

Витрати на трек HSR	Найвищий показник в дол. США за 1 км	Найнижчий показник в дол. США за 1 км
Нова високошвидкісна двоколійна залізниця на кам'яній основі	1 443 750	1 650 000
Модернізація вже існуючої високошвидкісної двоколівної залізниці на кам'яній основі	1 375 000	1 581 250
Встановлення централізованої системи управління рухом для одноколівної залізниці	154 685	189 065
Встановлення централізованої системи управління рухом для двоколівної залізниці	223 450	257 825
Витрати на ремонт/модернізацію треків	Найвищий показник в дол. США за 1 км	Найнижчий показник в дол. США за 1 км
Заміна 25% залізних шпал на кам'яні	137 500	206 250
Заміна 50% залізних шпал на кам'яні	206 250	275 000
Заміна 75% залізних шпал на кам'яні	275 000	343 750
Огорожа з дротяної сітки висока (з обох боків)	103 125	137 500
Витрати на матеріали та запасні частини	Найвищий показник	Найнижчий показник
Стрілочний перевід, за одиницю	605 000	848 750
Вантажний/пасажирський сайдинг довжиною від 1 до 2,5 миль, за одиницю	1 650 000	3 425 000
Сигнальні системи/знаки, за одиницю	2 950	8 835
Шлагбауми, за одиницю	11 000	22 500
Вартість щебеню для дорожнього полотна від 1 до 1,50 за т (лише поставка), <i>m</i>	30,25	42,25

Витрати на матеріали та запасні частини	Найвищий показник	Найнижчий показник
Рейка 100 футова (лише поставка), за лінійний фуг	33,15	39,25
Шпали зі збірного залізобетону (РСС), 8,6 у довжину, 15 у ширину, 10 в глибину (лише поставка), за одиницю	185	235
Болти для скріплення рейок (лише поставка), за одиницю	3,55	5,15
Залізничні спайки (лише поставка)	1,045	1,45
Залізнична зупинка (лише поставка), за одиницю	950	1 500
Відновлення поверхні та повторне вирівнювання існуючої одноколійної залізниці	19,25	28,25

Джерело: складено Федяй Н.О. на основі даних консалтингової компанії Compass International.

Витрати на рухомий склад включають три підкатегорії:

1) придбання рухомого складу (потягів). Ціна на потяги HSR залежить від технічних характеристик потягу, головною з яких є потужність потягу (кількість місць). Інші фактори, що впливають на вартість потягів, це, наприклад:

– договірні відносини між виробником потягів та залізничним оператором (деякі залізничні оператори мають внутрішні відділи для проектування свого рухомого складу; інші вважають за краще укласти контракти),

- умови доставки та оплати послуг виробника,
- внутрішня конфігурація потягу;

2) експлуатаційні витрати. Ці витрати зазвичай залежать від кількості поїздів (флоту), які працюють на певній лінії, що, у свою чергу, побічно визначається попитом. Оскільки технічні вимоги (наприклад, кількість членів екіпажу) поїздів можуть відрізнятися за обсягом, прийнято оцінювати експлуатаційні витрати залежно від кількості місць або місць-км. Включають:

Розвиток економічних та науково-технічних основ транспорту...

– витрати на працю (персонал) та енергію, що споживається для експлуатації поїздів,

– витрати на страхування,

– підготовку поїздів (якщо це необхідно),

– пасажирські послуги в поїзді (їжа, напої тощо);

3) технічне обслуговування потягів або витрати на утримання рухомого складу – головним чинником є обсяги використання поїздів, які передбачають загальну протяжність пробігу кожного потягу щорічно. Також на ці витрати також побічно впливає попит (залежно від обсягів рухомого складу компанії). До цих витрат відносять витрати на:

– роботу працівників,

– матеріали,

– запасні частини.

У табл. 2.3 наводяться дані, зібрані на основі вільної інформації щодо контрактів на постачання рухомого складу для найбільших залізничних операторів Європи та Азії.

Таблиця 2.3

Деякі показники витрат на рухомий склад, показники вартості потягів, придбаних залізничними операторами Європи та Азії

Потяг	Залізничний оператор	Країна, що закуповувала	Вартість
1	2	3	4
ICE 4 (Siemens)	Deutsche Bahn	Німеччина (2011 р.)	1,3 млрд євро за 130 потягів або 10 млн євро за 1 потяг
Velaro (Siemens)	Eurostar ²⁰⁸	Німеччина, Велика Британія, Нідерланди (2010)	700 млн євро за 10 потягів або 70 млн євро за 1 потяг
Avelia Horizon (TGV) (Alstom)	SNCF Mobility ²⁰⁹	Франція (2016)	2,7 млрд євро за 100 потягів або 27 млн євро за 1 потяг

²⁰⁸ Siemens Velaro High Speed Trains. URL: <https://www.railway-technology.com/projects/siemens-velaro-high-speed-trains/>

²⁰⁹ Smith Kevin. SNCF awards €3bn next-generation TGV contract. *International Railway Journal*. URL: <https://www.railjournal.com/passenger/high-speed/sncf-awards-e3bn-next-generation-tgv-contract/>

1	2	3	4
AGW (Alstom)	Nuovo Trasporto Viaggiatori ²¹⁰	Італія (2008)	650 млн євро за 25 потягів або 26 млн євро за 1 потяг
ETR 1000 (Bombardier Transportation и AnsaldoBreda)	Trenitalia ²¹¹	Італія (2010)	1,54 млрд євро за 50 потягів або 30,8 млн євро за 1 потяг
S-102 (Pato) (Talgo / Bombardier)	RENFE ²¹²	Іспанія (2006)	655 млн євро за 30 потягів або 21,83 млн євро за 1 потяг
TGV Duplex (Alstom)	RENFE ²¹³	Іспанія (2016)	1,2 млрд євро за 40 потягів або 30,0 млн євро за 1 потяг
Pendolino (Alstom)	PKP Intercity ²¹⁴	Польща (2011)	665 млн євро за 20 потягів або 33,25 млн євро за 1 потяг
CRH 380D (Zefiro 380) (Bombardier Sifang (Qingdao) Transportation Ltd)	MOR ²¹⁵	Китай (2009)	2,7 млрд євро за 80 потягів або 33,75 млн євро за 1 потяг

²¹⁰ Alstom awarded Italian AGV contract. *Railway Gazette International*. URL: <https://www.railwaygazette.com/news/single-view/view/alstom-awarded-italian-agv-contract.html>

²¹¹ Trenitalia signs V300ZEFIRO high speed train contract. *Railway Gazette International*. URL: <https://www.railwaygazette.com/news/single-view/view/trenitalia-signs-v300zefiro-high-speed-train-contract.html>;
Trenitalia awards contract for 50 high speed trainsю. *Railway Gazette International*. URL: <https://www.railwaygazette.com/news/single-view/view/trenitalia-orders-50-high-speed-trains.html>

²¹² AVE. URL: <https://www.railway-technology.com/projects/spain/>

²¹³ Brossard Stéphanie. Le nouveau TGV l'Océane qui circulera dès le 11 décembre entre Paris Bordeaux et Toulouse. *France Bleu*. URL: <https://www.francebleu.fr/infos/transports/photos-le-nouveau-tgv-l-oceane-qui-circulera-des-le-11-decembre-entre-paris-bordeaux-et-toulouse-1481106258>

²¹⁴ PKP Intercity signs Pendolino contract. *Railway Gazette International*. URL: <https://www.railwaygazette.com/news/passenger/single-view/view/pkp-intercity-signs-pendolino-contract.html>

²¹⁵ Bombardier. News. URL: <https://www.bombardier.com/en/media/newsList.html>

Закінчення табл. 2.3

1	2	3	4
CRH6 (CSR Puzhen)	MOR ²¹⁶	Китай (2009)	376,3 млн євро за 24 потяги або 15,7 млн євро за 1 потяг

Джерело: складено Федяй Н.О.

Крім витрат на будівництво та обслуговування інфраструктури проєкту, HSR та витрат на рухомий склад є й інші витрати – табл. 2.4. Ці **витрати, пов'язані з будівництвом та експлуатацією проєкту HSR, а також адмініструванням проєкту** (серед них: загальне адміністрування, маркетинг, внутрішнє навчання тощо), проте ці витрати не можуть бути приєднані до вже зазначених витрат. Частіше за все ці витрати досить мінімальні, до цієї групи витрат відносять витрати на:

- 1) планування, пов'язане з техніко-економічними обґрунтуванням, виконаним до початку будівництва;
- 2) юридичний супровід земельних питань (експропріація або придбання земельних ділянок відповідальним землевласником).

Таблиця 2.4

**Деякі показники вартості послуг
на проєктування та управління будівництвом треків HSR**

Детальне проєктування і управління будівництвом	Високий, %	Низький, %
Детальне проєктування	0,0525	0,075
Управління будівництвом та інспектування	0,035	0,0475
Власник-інженер, нагляд	0,0125	0,0225

Джерело: складено Федяй Н.О. на основі даних консалтингової фірми Compass International.

Отже, вище наведено типову структуру витрат у процесі реалізації проєктів HSR, у таблицях зібрані ті дані, які є або фіксованими або такими, що не залежать від дуже багатьох факторів і тому присутні у вільному доступі.

²¹⁶ 中国南车获国内首个城际列车项目订单 总值23.46亿人民币。 URL: <http://hkstock.cnfol.com/091230/132,1358,7046392,00.shtml>

Особливості фінансування проєктів HSR в ЄС

Основним джерелом фінансування всіх видатків на реалізацію проєктів HSR в Європі є державний сектор. Частина проєкту фінансується з місцевих бюджетів і частина – з бюджету ЄС. З 2000 р. сума співфінансування ЄС на підтримку інвестицій у високошвидкісну залізницю становила 23,7 млрд євро. Саме тому ЄС виявляє неабияку зацікавленість у ефективності реалізації проєктів HSR. Так, у 2018 р. в ЄС було створено комісію, що провела аудит ефективності довгострокового стратегічного планування високошвидкісних треків у ЄС, зокрема економічної ефективності (оцінку витрат на будівництво, затримку проєктів, перевитрат та оцінку використання високошвидкісних ліній, які отримали співфінансування ЄС), а також стійкості та доданої вартості спільного фінансування ЄС²¹⁷.

Основними висновками комісії в частині фінансової ефективності реалізації проєктів HSR були такі.

По-перше, будівництво інфраструктури високошвидкісних залізниць має досить високу вартість і стає лише дорожчим.

По-друге, вартість треку прямо пропорційно залежить від його швидкісного режиму, особливо дорогі треки для граничних швидкостей 300 км/год і більше. Проте виявлено, що такі високі швидкості практично не досягаються потягами і вони працюють в середньому на 45% від проєктної середньої швидкості. Лише дві лінії працюють із середньою швидкістю, вищою за 200 км/год, проте жодна – із швидкістю 250 км/год. Ці висновки логічно викликають питання стосовно ефективності реалізації таких проєктів.

По-третє, у разі 50% проєктів HSR у межах ЄС було неадекватно або помилково розраховано пасажиропотоки, кількість пасажирів, що перевозяться протягом року, – набагато нижче за заплановану, при цьому вартість інфраструктури є достатньо високою. Слід зазначити, що більшість HSR у ЄС мають від'ємний баланс між витратами та вигодами, тобто більшість HSR не приносять

²¹⁷ A European high-speed rail network: not a reality but an ineffective patchwork. Special report no.° 19/2018. URL: <https://www.eca.europa.eu/en/Pages/DocItem.aspx?did=46398>

прибутку, тому що для компенсації високих витрат на інфраструктуру необхідна висока щільність трафіку пасажирів²¹⁸.

По-четверте, у зв'язку із тим, що середні швидкості на треках HSR у ЄС не перевищують 200 км/год, зроблено висновок про те, що дешевше не будувати нові треки, а модернізувати вже існуючі залізниці.

Основними причинами перевитрат бюджету проєктів HSR є такі.

1. Технічні причини (помилки у прогностичних розрахунках, зростання цін, неадекватні процедури планування).

2. Економічні пояснення (недооцінка витрат через брак ресурсів або стимулів, погане фінансування або неефективне управління контрактами).

3. Психологічні пояснення (оптимістичні налаштування місцевих чиновників).

4. Політичні пояснення (навмисна недооцінка вартості проєктів задля збільшення політичного рейтингу розпочатого будівництва)²¹⁹.

Висока собівартість треків при неефективному використанні фінансових ресурсів, разом із розумінням переваг HSR перед іншими видами транспорту за рахунок екологічності, швидкості та вартості на послуги, зумовили необхідність розробки відповідного фінансового інструменту – REGIO Rail Unit Cost Tool – інструменту собівартості проєктної одиниці залізниці REGIO²²⁰.

²¹⁸ Marie Delaplace et Frédéric Dobruszkes. Editorial: Thinking beyond the cost-benefit analysis: the wider impact of high-speed rail on local development. *Belgeo: revue scientifique nationale de géographie en Belgique*. URL: <https://journals.openedition.org/belgeo/18166>

²¹⁹ Trabo I., Landex, A., Nielsen O.A., & Schneider-Tili J.E. Cost benchmarking of railway projects in Europe can it help to reduce costs?. Paper presented at 5th International Seminar on Railway Operations Modelling and Analysis. RailCopenhagen, Kgs. Lyngby, Denmark, 2013. URL: http://orbit.dtu.dk/files/106565055/RailCPH_010213.pdf

²²⁰ Assessment of unit costs (standard prices) of rail projects (CAPital EXpenditure). URL: https://ec.europa.eu/regional_policy/en/information/publications/reports/2018/assessment-of-unit-costs-standard-prices-of-rail-projects-capital-expenditure

Особливості фінансування проєктів HSR Китаю

Всесвітній банк реконструкції та розвитку провів дослідження функціонування, у тому числі й вартості 27 HSR Китаю. Вартість працюючих HSR у Китаї значно варіюється залежно від швидкісних вимог до треку. Так, собівартість реалізації проєкту HSR, який матиме швидкісний режим у межах 350 км/год, становить 94–183 млн юанів за км, тоді як вартість треку для швидкісного режиму в межах 250 км/год – 70–169 млн юанів за км. Відповідно до наведеного, середня собівартість 1 км треку HSR із граничною швидкістю 350 км/год становила 129 млн юанів, а треку HSR із граничною швидкістю 250 км/год – 87 млн юанів за 1 км²²¹.

Слід зазначити, що будівництво треків припадає на значний проміжок часу, і тому в дослідженні відображено загальні витрати на проєкт – тобто дані доступні лише в сукупній формі. Це пов'язано із тим, що ці дані неможливо зіставити прямо, враховуючи інфляцію, а також коливання на вартість запропонованих послуг із будівництва високошвидкісних залізниць.

Як уже зазначалося, собівартість реалізації проєкту HSR у Китаї нижча, ніж у Європі та США. Окрім низької вартості робочої сили, це пояснюється ще декількома факторами.

По-перше, у Китаї прийнято довгострокову стратегічну програму із розбудови HSR, розраховану на розширення мережі треків HSR до 30000 км до 2030 р.²²². Як наслідок, активізувалася будівельна галузь у рамках реалізації проєктів.

По-друге, це зумовило впровадження будівельними компаніями інноваційних технологій для збільшення обсягів робіт, пов'язаних з будівництвом HSR, що, у свою чергу, спричинило зниження питомих витрат у результаті конкуренції між компаніями, що проводять земельні роботи, надають послуги із будівництва тунелів

²²¹ Gerald Ollivier, Jitendra Sondhi, Nanyan Zhou. High-Speed Railways in China: A Look at Construction Costs / World Bank Office. Beijing. URL: <http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:7VSAkUIIavsJ:documents.worldbank.org/curated/pt/695111468024545450/892000BRI0Box3000china0transport09.docx+&cd=7&hl=uk&ct=clnk&gl=ua>

²²² Wang Brian. China's high speed rail is one third US price and half of Europe price but still too expensive for other countries. URL: <https://www.nextbigfuture.com/2017/04/chinas-high-speed-rail-is-one-third-us-price-and-half-of-europe-price-but-still-too-expensive-for-other-countries.html>

лів, мостів, розробки та будівництва потягів та відповідних систем для треків (безпеки, електрифікації, сигналізації та ін.).

По-третє, глобальні обсяги будівництва треків HSR посприяли амортизації витрат на дороге будівельне обладнання, що також знизило питомі витрати деяких проєктів.

По-четверте, відносно низька вартість земельних ділянок та переселення населення.

По-п'яте, локалізація проєктування та виробництва обладнання і запчастин у Китаї.

По-шосте, стандартизація конструкцій для насипів, ліній, тунелів, віадуків, систем безпеки, електрифікації, сигналізації та зв'язку. Так, за допомогою власної розробленої технології для будівництва тунелів Китай не лише скоротив вартість такого будівництва (10–15 млн дол. США за 1 км), а й досягнув швидкості проходження у 5–10 м за добу.

2. Собівартість Maglev

Вартість проєкту Maglev Train Shanghai Transrapid становить 1,2 млрд дол. США (10 млрд юанів) 30,5 км. Ціна одного кілометра Maglev тут становить близько 40 млн дол. США.

Витрати на розробку нових китайських поїздів на магнітній подушці, які будуватиме китайська компанія CRRC, становитимуть 3,22 млрд юанів (480 млн дол. США). З моменту активізації будівництва другої у Китаї лінії Maglev у травні 2014 р. (Чанша; протяжність 18,55 км) проєкт отримав приблизний інвестиційний внесок у 4,6 млрд юанів (749 млн дол. США). Один кілометр у цьому проєкті коштуватиме близько 40 млн дол. США. Вартість будівництва лінії низькошвидкісного Maglev S1 у Китаї становила близько 6 млрд юанів (1 млрд дол. США).

Будівництво The Chūō Maglev Shinkansen у Японії (286 км) передбачає два етапи. Загальний обсяг інвестицій на першому етапі оцінюється у розмірі 5,52 трлн єн (приблизно 52 млрд дол. США), що також включає вартість рухомого складу. Загальна вартість проєкту – приблизно 82 млрд дол. США.

Вартість будівництва в Японії Linimo Urban Maglev – комерційної автоматизованої системи, що використовується для приміських перевезень і не призначена для роботи на високій швидкості, – становить близько 60 млрд єн (574,8 млн дол. США). Будів-

ництво цієї лінії було підтримано значними державними субсидіями.

Вартість будівництва демонстраційної лінії міжнародного аеропорту Інчхон у Кореї становила 42,7 млрд вон (41,6 млн дол. США) за кілометр. На проєкт Urban Maglev у Кореї загалом було витрачено 413,5 млрд вон (382 млн дол. США).

3. Прогнозні витрати на розробку та будівництво проєктів Hyperloop

Зацікавленість у транспорті Hyperloop у світі є очевидною, це підтверджується тим, скільки компаній у різних країнах беруться за створення капсул для цієї системи та за розробку маршрутів. Проте слід зазначити, що впровадження транспорту Hyperloop – це майбутнє, і поки що оцінити реальний рівень фінансування цієї системи та порівняти витрати на реалізацію проєктів Hyperloop з уже існуючими видами транспорту п'ятого покоління важко. Тому в нашому дослідженні ми порівняємо прогнозні показники вартості будівництва проєктів Hyperloop найбільших компаній світу, а саме Hyperloop Alpha, Virgin Hyperloop One, Hyperloop TT, TransPod, Hyperloop Hard, DGV.

Досвід упровадження проєктів HSR демонструє схильність проєктувальників до свідомого заниження прогнозованих витрат на будівництво. Зазначимо, що, на відміну від проєктів HSR, де ініціатором та основним джерелом інвестування в проєкти виступає держава або великі міждержавні організації, такі як ЄС або Світовий банк, інвестиції у проєкти Hyperloop залучатимуться компаніями – розробниками Hyperloop із приватних джерел або на основі механізму державно-приватного партнерства (ДПП), тож для цих компаній на перший план виходить комерціалізація проєктів.

У 2013 р. Ілон Маск презентував «альфа-версію» проєкту Hyperloop, яка включала інформацію щодо витрат на реалізацію проєкту будівництва Hyperloop між містами *Сан-Франциско та Лос-Анджелес* (табл. 2.5), і такий проєкт було оцінено у 6 млрд дол. США. При розподілі капітальних витрат на реалізацію проєкту на період у 20 років та збільшенні експлуатаційних витрат, компанія

Маска *Hyperloop Alpha*²²³ запропонувала вартість квитка в один бік у розмірі 20 дол. США.

Таблиця 2.5

Структура витрат та загальна вартість пасажирської транспортної системи Hyperloop компанії Hyperloop Alpha лінії Сан-Франциско – Лос-Анджелес

Компоненти	Вартість, млн дол. США
Капсула	54 (40 капсул)
Структура капсули / Двері	9,8
Інтер'єр / Сидіння	10,2
Компресор / Сантехніка	11
Батарей / Електроніка	6
Двигун	5
Підвіска / Підшипники	8
Збірка компонентів	4
Труба	5410
Будівництво труби	650
Будівництво пілонів	2550
Будівництво тунелів	600
Двигун	140
Сонячні панелі / Батарей	210
Станція / Вакуумні насоси	260
Дозволи / Земля	1000
Маргінальна ціна	536
УСЬОГО	6000

Джерело: Elon Musk SpaceX; Hyperloop Alpha.

Найбільша частка витрат припадає на будівництво вакуумної труби протяжністю приблизно 560 км (350 миль). Інвестиції буде витрачено на будівництво та конструювання самої труби, пілонів, вакуумних насосів та станцій, вони становитимуть близько 4 млрд дол. США для пасажирської версії Hyperloop, або 7 млрд дол. США у разі будівництва вантажної версії, що передбачає більші розміри. Вартість капсул, розроблених Hyperloop Alpha під керівництвом Ілона Маска, становить 1,35 млн дол. США за одиницю, та 54 млн дол. США за 40 одиниць, які необхідні для функціонування запро-

²²³ Ranger Steve. What is Hyperloop? Everything you need to know about the race for super-fast travel / ZDNet. URL: <https://www.zdnet.com/article/what-is-hyperloop-everything-you-need-to-know-about-the-future-of-transport/>

понованого проєкту, або майже 90 млн дол. США у разі запуску змішаних пасажирсько-вантажних капсул.

Запропонований прогнозний маршрут протяжністю 550 км було заплановано долати за 30 хв, при сукупній вартості 1 км лінії – 10,9 млн дол. США (табл. 2.6).

Таблиця 2.6

**Загальна вартість пасажирської транспортної системи
Hyperloop компанії Hyperloop Alpha лінії
Сан-Франциско – Лос-Анджелес**

Параметри для повного коридору	Лінія Hyperloop від Virgin Hyperloop One
Загальна вартість	6 млрд дол. США
Загальна тривалість подорожі з одного кінця в інший	30 хвилин
Собівартість 1 км маршруту (всього 550 км)	10,9 млн дол. США
Максимальна швидкість	Понад 1100 км /год

Джерело: складено Федяй Н.О. на основі Elon Musk SpaceX; Hyperloop Alpha.

Більшість компаній не поспішає оголошувати прогнозні фінансові витрати на реалізацію своїх проєктів. До таких компаній відноситься і компанія *Virgin Hyperloop One*²²⁴. Так, лише завдяки витоку інформації у 2016 р. було показано плани компанії щодо витрат на реалізацію проєкта Bay Area. Він був запланований для реалізації у Кремнієвій долині у Каліфорнії, планувалася протяжність лінії 170 км (107 миль) у вигляді петлі навколо бухти, або у вигляді тунелю, чи поєднання тунелів та естакад. Оголошені витрати на весь проєкт перебували на рівні 9–13 млрд дол. США, або в межах 84–121 млн дол. США за 1 км (табл. 2.7).

Пізніше від цього проєкту компанія відмовилась, спираючись на те, що в ньому дуже багато невідомих. Насамперед необхідно було з'ясувати, де будувати лінію, закладати станції або портали в містах і як їх під'єднати до транспортних вузлів міст.

²²⁴ Hawkins Andrew J.. A hyperloop in Missouri? A new study says it's feasible, but not necessarily affordable. Multimedia effort The Verge. URL: <https://www.theverge.com/2018/10/17/17989504/virgin-hyperloop-one-missouri-feasibility-stud>

Таблиця 2.7

Загальна вартість пасажирської транспортної системи Hyperloop компанії Virgin Hyperloop One лінії Bay Area

Параметри для повного коридору	Лінія Hyperloop від Virgin Hyperloop One
Загальна вартість	9–13 млрд дол. США
Загальна тривалість подорожі з одного кінця в інший	-
Собівартість 1 км маршруту (всього 170 км)	84–121 млн дол. США
Максимальна швидкість	Понад 1100 км /год

Джерело: складено Федяй Н.О. на основі Multimedia effort The Verge.

Ще один оприлюднений Virgin Hyperloop One проєкт – Hyperloop в ОАЕ з *Дубая в Абу-Дабі*. Протяжність цього маршруту становитиме 150 км (93 милі), який «куля», за прогнозами розробників Virgin Hyperloop One, долатиме за 15 хв. Капітальні витрати на цей проєкт було спрогнозовано у обсязі 4,8 млрд дол. США, або 32 млн дол. США за 1 км лінії (табл. 2.8).

Таблиця 2.8

Загальна вартість пасажирської транспортної системи Hyperloop компанії Virgin Hyperloop One лінії Дубай-Абу-Дабі

Параметри для повного коридору	Лінія Hyperloop від Virgin Hyperloop One
Загальна вартість	4,8 млрд дол. США
Загальна тривалість подорожі з одного кінця в інший	15 хв
Собівартість 1 км маршруту (всього 150 км)	32 млн дол. США
Максимальна швидкість	Понад 1100 км /год

Джерело: складено Федяй Н.О. на основі Forbs.

Наступним проєктом Virgin Hyperloop One став досить амбіційний проєкт Hyperloop, за допомогою якого планується поєднати *Москву з Владивостоком*. Так, шлях у майже 10 тис. км, який займав 15 діб, можна буде подолати за 12 годин.. Цей проєкт коштуватиме 136,4 млрд дол. США, або 13,64 млн дол. США за 1 км (табл. 2.9).

Таблиця 2.9

**Загальна вартість пасажирської транспортної системи
Hyperloop компанії Virgin Hyperloop One лінії
Москва – Владивосток**

Параметри для повного коридору	Лінія Hyperloop від Virgin Hyperloop One
Загальна вартість	136,4 млрд дол. США
Загальна тривалість подорожі з одного кінця в інший	12 год
Собівартість 1 км маршруту (всього 10000 км)	13,64 млн дол. США
Максимальна швидкість	Понад 1100 км /год

Джерело: складено Федяй Н.О. на основі Forbes.

Згадаємо ще один проєкт компанії Virgin Hyperloop One: ця лінія пролягатиме через увесь штат Міссурі та поєднає *Канзас-Сіті, Колумбію та Сент-Луїс*²²⁵. Для цього проєкту в 2018 р. було розроблене техніко-економічне обґрунтування маршруту протяжністю 400 км. Зазначається, що поїздка займатиме 28 хв та коштуватиме на 40% менше, ніж проїзд за тим же маршрутом у проєкті HSR. Проєкт компанії Virgin Hyperloop One має на меті зменшити навантаження на шосе I-70, що з'єднує зазначені міста. Загальна вартість проєкту – 7–10 млрд дол. США, або 25–17,5 млн дол. США за будівництво 1 км маршруту (табл. 2.10).

Таблиця 2.10

**Загальна вартість пасажирської транспортної системи
Hyperloop компанії Virgin Hyperloop One лінії
Канзас-Сіті – Колумбія – Сент-Луїс**

Параметри для повного коридору	Лінія Hyperloop від Virgin Hyperloop One
Загальна вартість	7–10 млрд дол. США
Загальна тривалість подорожі з одного кінця в інший	28 хв
Собівартість 1 км маршруту (всього 400 км)	25–17,5 млн дол. США
Максимальна швидкість	Понад 1100 км /год

Джерело: складено Федяй Н.О. на основі CNBC.

²²⁵ McKinley Edward. Hyperloop One takes first step on a promising test road in America's heartland / CNBC. URL: <https://www.cnbc.com/2018/10/18/hyperloop-one-takes-first-step-on-a-test-road-in-americas-heartland.html>

Конкурентом компанії Virgin Hyperloop One виступає компанія **Hyperloop Transportation Technologies**. Єдиним запропонованим проєктом компанії є можливий маршрут між містами *Гельсінкі та Стокгольм* у Європі протяжністю 400 км, який би коштував 52,5 млн дол. США за 1 км лінії²²⁶, загальною вартістю 21 млрд дол. США²²⁷ (табл. 2.11).

Таблиця 2.11

**Загальна вартість пасажирської транспортної системи
Hyperloop компанії Virgin Hyperloop One лінії
Гельсінкі – Стокгольм**

Параметри для повного коридору	Лінія Hyperloop від Hyperloop TT
Загальна вартість	21 млрд дол. США
Загальна тривалість подорожі з одного кінця в інший	30 хв
Собівартість 1 км маршруту (всього 400 км)	52,5 млн дол. США
Максимальна швидкість	Понад 1100 км /год

Джерело: складено Федяй Н.О. на основі CNBC.

Ще однією компанією, яка оголосила проєктні витрати на будівництво Hyperloop, стала канадська **TransPod**. У своєму звіті основним конкурентом для себе вона розглядає HSR і проводить порівняльну оцінку саме з цим видом транспорту. Наголошується на тому, що проєкт реалізації Hyperloop від компанії TransPod для маршруту *Париж – Франкфурт* коштуватиме на 30% дешевше, ніж проєкт HSR (табл. 2.12). Індійська компанія Dinclix GroundWorks після участі у конкурсі 2016 р., влаштованого компанією Virgin Hyperloop One, створила компанію **DGWHyperloop**. Нею було обґрунтовано маршрут з *Делі в Мумбай через Джайпур*, який обіцяли виконувати за амбітні 55 хв у дорозі за ціною квитка в один бік – 25 дол. США (табл. 2.13).

²²⁶ Konrad Alex. Leaked Hyperloop One Docs Reveal The Startup Thirsty For Cash As Costs Will Stretch Into Billions / Forbes. URL: <https://www.forbes.com/sites/alexkonrad/2016/10/25/hyperloop-one-seeks-new-cash-amid-high-costs/#81ad90e125cc>

²²⁷ Cooper Daniel. Hyperloop One ‘proves’ it’s cheaper than high-speed rail / Engadget. URL: <https://www.engadget.com/2016/07/06/hyperloop-one-proves-its-cheaper-than-high-speed-rail/>

Таблиця 2.12

**Загальна вартість пасажирської транспортної системи
Hyperloop компанії TransPod лінії Париж – Франкфурт**

Параметри для повного коридору	Лінія Hyperloop від TransPod
Загальна вартість	9,5 млрд дол. США
Загальна тривалість подорожі з одного кінця в інший	35 хв
Собівартість 1 км маршруту (всього 480 км)	19,7 млн дол. США
Максимальна швидкість	Понад 1000 км /год

Джерело: складено Федяй Н.О. на основі за даними компанії TransPod²²⁸.

Таблиця 2.13

**Загальна вартість пасажирської транспортної системи
Hyperloop компанії DGWHyperloop лінії Делі
в Мумбаї через Джайпур**

Параметри для повного коридору	Лінія Hyperloop від DGWHyperloop
Загальна вартість	9 млрд дол. США
Загальна тривалість подорожі з одного кінця в інший	55 хв
Собівартість 1 км маршруту (всього 1317 км)	7 млн дол. США
Максимальна швидкість	Понад 1000 км /год

Джерело: складено Федяй Н.О. за даними компанії DGWHyperloop.

Так, загальна вартість проєкту становить 9 млрд дол. США за 1317 км маршруту, або 7 млн дол. США за 1 км будівництва запропонованої лінії²²⁹.

Вище перелічені ті компанії, які презентували проєкти або техніко-економічне обґрунтування маршрутів Hyperloop у різних частинах світу (табл. 3.13). У табл. 2.14 зведено всі показники по

²²⁸ TransPod Releases Initial Cost Study for Hyperloop System in Europe. Official Press Release TransPod. URL: <http://www.mermecegroup.com/press-room/news/1127/transpod-releases-initial-cost-study-for-hyperloop-system-in-europe-philp>

²²⁹ Dinclix GroundWorks Shares Details About its Hyperloop Megaproject. Press release from: Dinclix GroundWorks. URL: <https://www.openpr.com/news/379281/Dinclix-GroundWorks-Shares-Details-About-its-Hyperloop-Megaproject.html>

Розвиток економічних та науково-технічних основ транспорту...

цих компаніях. Із неї видно, що вартість будівництва 1 км вакуумної лінії Hyperloop найдешевша в азійських країнах. Насамперед це пов'язано з нижчою вартістю на земельні ділянки та робочу силу. Найдорожчий маршрут – із Гельсінкі до Стокгольму. Складність проекту полягає в тому, що необхідно подолати значні відстані через Балтійське море.

Таблиця 2.14

Зведена таблиця показників за проектами Hyperloop

Лінія	Країна	Протяжність маршруту	Загальна вартість	Загальна тривалість подорожі з одного кінця в інший	Собівартість 1 км маршруту	Максимальна швидкість
1	2	3	4	5	6	7
<i>Hyperloop Alpha лінії Сан-Франциско – Лос-Анджелес</i>	США	550 км	6 млрд дол. США	30 хв	10,9 млн дол. США	Понад 1100 км/год
<i>Virgin Hyperloop One лінії Bay Area</i>	США	170 км	9–13 млрд дол. США	30 хв	84–121 млн дол. США	Понад 1100 км/год
<i>Virgin Hyperloop One лінії Дубай – Абу-Дабі</i>	США	150 км	4,8 млрд дол. США	15 хв	32 млн дол. США	Понад 1100 км/год
<i>Virgin Hyperloop One лінії Москва – Владивосток</i>	Росія	10000 км	136,4 млрд дол. США	12 год	13,64 млн дол. США	Понад 1100 км/год
<i>Virgin Hyperloop One лінії Канзас-Сіті – Колумбія – Сент-Луїс</i>	США	400 км	7–10 млрд дол. США	28 хв	25–17,5 млн дол. США	Понад 1100 км/год
<i>Hyperloop TT Гельсінкі – Стокгольм</i>	ЄС, Фінляндія, Швеція	400 км	21 млрд дол. США	30 хв	52,5 млн дол. США	Понад 1100 км/год

Закінчення табл. 2.14

1	2	3	4	5	6	7
<i>Лінія Hyperloop від TransPod Париж – Франкфурт</i>	ЄС, Франція	170 км	9,5 млрд дол. США	35 хв	19,7 млн дол. США	Понад 1000 км/год
<i>DGWHyperloop лінії Делі в Мумбаї через Джайпур</i>	Індія	1 317 км	9 млрд дол. США	55 хв	7 млн дол. США	Понад 1000 км/год
<i>HSR</i>	Приклад	400 км	11,5 млрд дол. США	2 год	24 млн євро	320 км/год

Джерело: складено Федяй Н.О. на основі даних Hyperloop Alpha, The Verge, Forbs, CNBC, TransPod та DGWHyperloop.

Подальші дослідження щодо використання системи Hyperloop в Україні мають спиратися на ґрунтовне дослідження пасажиропотоків між містами України (причому постійних, а не сезонних), тому що більшість проєктів високошвидкісного руху, які наразі діють у Європі, не мали успіху саме через завищені прогностні показники пасажиропотоків. Також у разі будівництва пасажирсько-вантажної системи Hyperloop в Україні потрібно дослідити основні вантажопотоки з урахуванням потоків експортно-імпортних та транзитних. При цьому потрібно враховувати плани країн-сусідів щодо побудови транспортної системи Hyperloop, яка дасть змогу об'єднати Україну та Європу в єдину мережу Hyperloop. Найбільш перспективними для вузлових точок стануть ті міста, де найбільша численність населення та найвища ділова й туристична активність.

За попередніми висновками, на сьогодні найбільш вірогідним міжнародним напрямком є той, який поєднає Україну з Польщею, і, відповідно, з Європою. Так, у Польщі на сьогодні створено компанію Hyper Poland, концепція якої полягає в тому, щоб поступово додати нові елементи до існуючої залізничної системи та довести швидкість руху поїзду до швидкості звуку. Надалі компанія планує розвинути швидкість близько 600 км/год для вантажних перевезень у тунельному вакуумі. Проєкт компанії вже викликав міжнародний інтерес.

Потрібно зазначити, що для України варіант Hyper Poland, який передбачає використання звичайних колій, неможливий через різницю ширини колій України та Польщі. Це стосується і систем електрифікації. Тож уведення в Україні HSR потребує будівництва саме нових ліній. Це насамперед пов'язано як із наведеними вище факторами, так і з тим, що в Україні на звичайних коліях відсутнє розділення залізничної мережі для окремого використання пасажирським та вантажним залізничним сполученням, що знижує середні швидкості до 58,2 км/год.

Проте зацікавленість щодо участі в такому проєкті висловили зокрема представники залізничного транспорту країн Балтії. Крім того, ці країни також планують будувати мережу HSR. Для України, що сусидить із Польщею та країнами Балтії, існує можливість долучитися до процесу створення єдиної мережі транспортної системи Hyperloop.

Попередньо орієнтовні маршрути в Україні згруповані на основі досліджень компанії Virgin Hyperloop One (VH1) (табл. 2.15 та 2.16).

Також треба зазначити, що найбільш дорогі з можливих маршрутів, які можуть пройти Україною, будуть маршрути Київ – Дніпро та Одеса – Миколаїв, – адже вони проходять через річку Дніпро, що потребуватиме будівництва мостів або тунелів (рис. 2.2, 2.3, 2.4).

Таблиця 2.15

**Характеристика маршрутів для України
за видами транспорту**

Вид транспорту	Час				Швидкість, км/год
	<i>Київ – Львів</i>	<i>Київ – Одеса</i>	<i>Київ – Харків</i>	<i>Київ – Дніпро</i>	
Hyperloop	37 хв	35 хв	33 хв	32 хв	1080
HSR	2 год 34 хв	2 год 28 хв	2 год 19 хв	2 год 15 хв	300
Залізниця	3 год 17 хв	3 год 8 хв	2 год 57 хв	2 год 51 хв	220
Авіація	3 год 35 хв	3 год 34 хв	3 год 31 хв	3 год 30 хв	841
Авто	5 год 41 хв	5 год 5 хв	4 год 44 хв	4 год 34 хв	112

Закінчення табл. 2.15

Вид транспорту	Час				Швидкість, км/год
	Харків – Львів	Одеса – Львів	Дніпро – Львів	Київ – Вінниця	
Hyperloop	1 год 4 хв	47 хв	1 год	19 хв	1080
HSR	4 год 4 хв	3 год 14 хв	4 год	1 год 25 хв	300
Залізниця	4 год 20 хв	3 год 46 хв	4 год 4 хв	1 год 42 хв	220
Авіація	5 год 42 хв	4 год 12 хв	5 год 20 хв	2 год 9 хв	841
Авто	10 год 23 хв	7 год 20 хв	9 год 44 хв	3 год 16 хв	112

Джерело: складено Чмирьовою Л.Ю. на основі Virgin Hyperloop One (VH1).

Таблиця 2.16

Характеристика маршрутів транспортної системи Hyperloop для України

Маршрути	Відстань, км	Прогнозований пасажиропотік, осіб	Зекономлений час кожного мільйона пасажирів, років	Населення, осіб	
1	2	3	4	5	
Київ – Львів	468	3 515 356	224	Київ – 2,8 млн	Львів – 717, 8 тис.
Київ – Одеса	442	3 799 111	214	Київ – 2,8 млн	Одеса – 1 млн
Київ – Харків	411	4 228 438	203	Київ – 2,8 млн	Харків – 1,4 млн
Київ – Дніпро	394	3 830 375	197	Київ – 2,8 млн	Дніпро – 1 млн
Харків – Львів	875	2 148 688	344	Харків – 1,4 млн	Львів – 717, 8 тис.

1	2	3	4	5	
Одеса – Львів	622	1 719 361	280	Одеса – 1 млн	Львів – 717, 8 тис.
Дніпро – Львів	815	1 750 625	343	Дніпро – 1 млн	Львів – 717, 8 тис.
Київ – Вінниця	200	3 149 668	125	Київ – 2,8 млн	Вінниця – 0,38 млн

Джерело: складено Чмирьовою Л.Ю. на основі Virgin Hyperloop One (VH1).

Незважаючи на всі намагання щодо просування Hyperloop, поки ще рано говорити про комерційну складову проєкту та про введення в експлуатацію в будь-якій країні хоча б відносно коротких ліній. Так, вже є варіанти дизайну капсули, тунелю, технічні проєкти рухової системи. У деяких компаній, які розробляють системи Hyperloop, уже є треки, тунелі, проте дуже короткі для того, щоб проводити повномасштабні випробування. А щоб звести все це в єдине ціле, потрібен час. Інвестори, інженери, вчені з науково-дослідних організацій приєднуються до роботи над проєктом. Чим більше команд працюватиме над Hyperloop, тим швидше можна очікувати результатів.

Масштаб 1:5 000 000 Розвиток високошвидкісної залізниці в Україні. Плани ЄС щодо розвитку TEN-T, до 2050 року

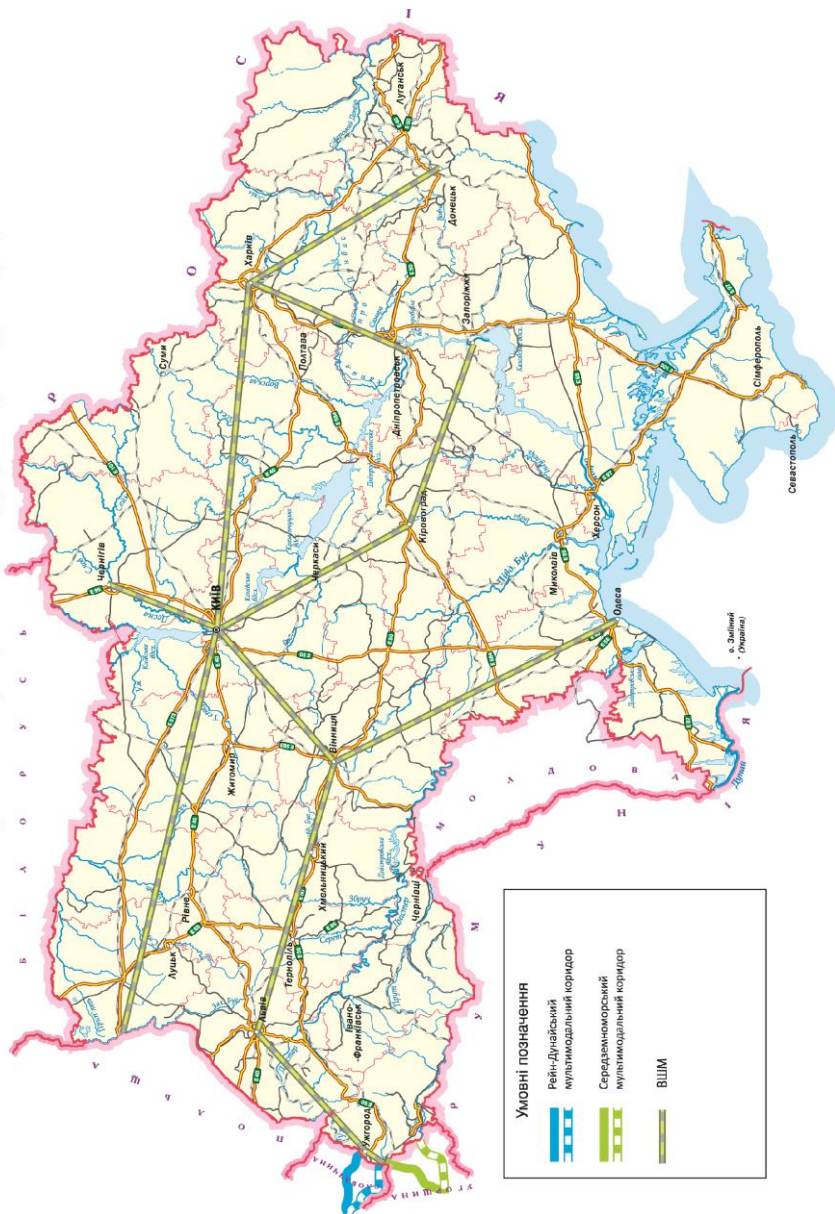


Рис. 2.2. Розвиток високошвидкісних залізниць в Україні, згідно з планами ЄС

Джерело: розроблено Федяй Н.О.

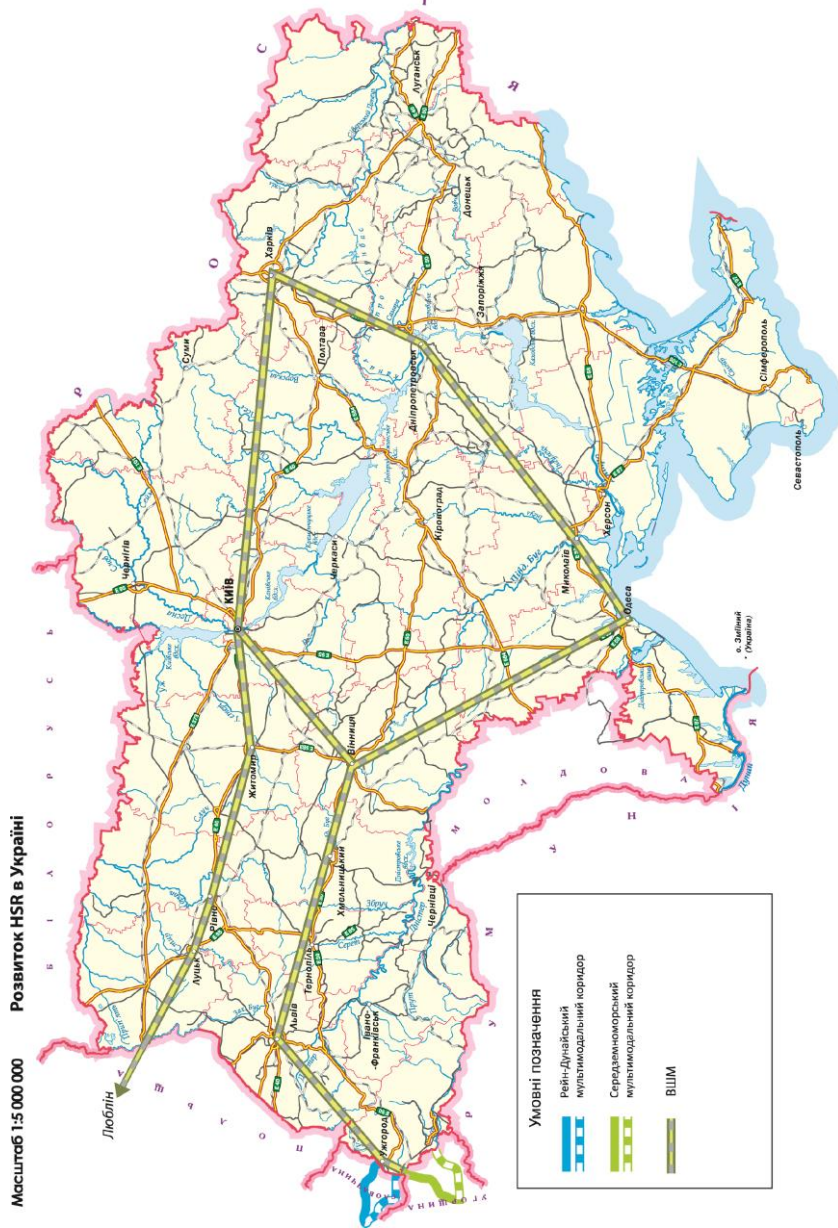


Рис. 2.3. Розвиток високошвидкісних залізниць в Україні
 Джерело: розроблено Федяй Н.О.

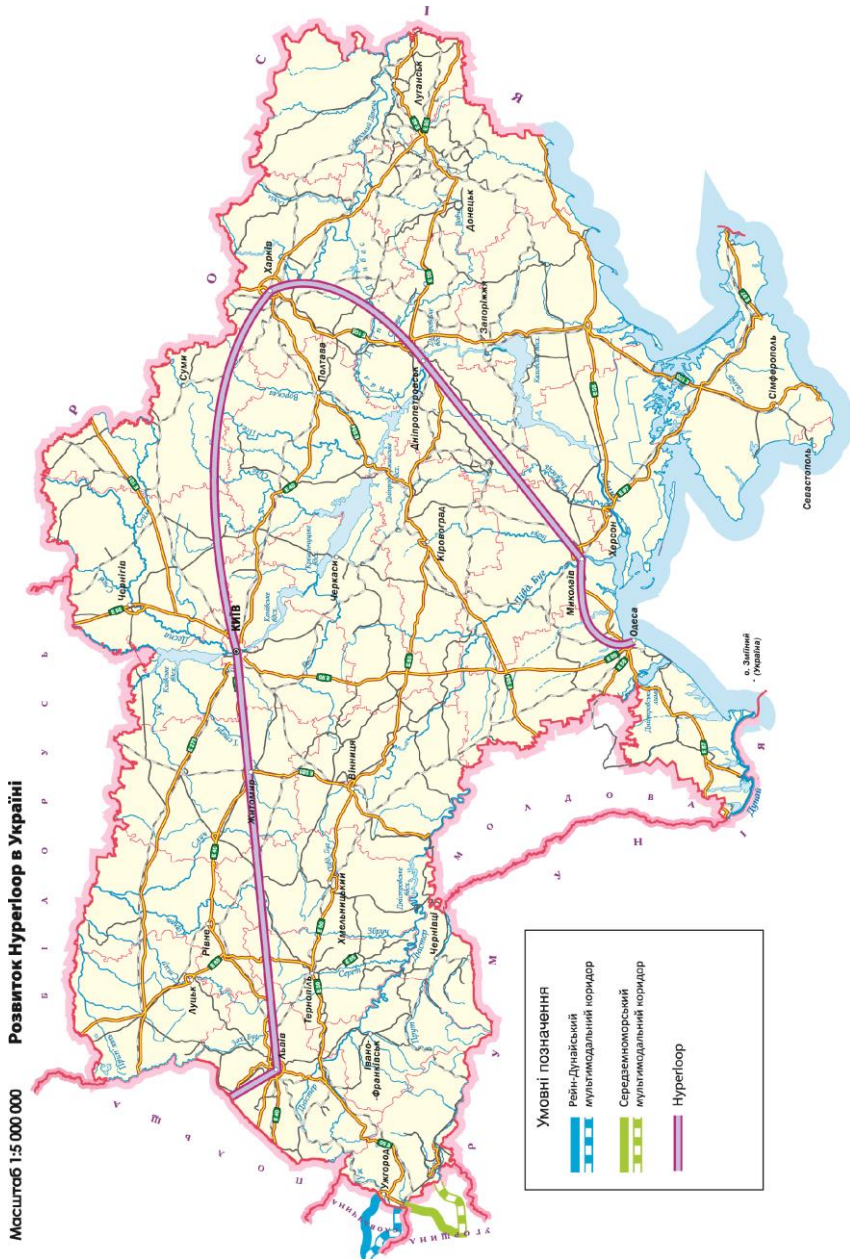


Рис. 2.4. Розвиток транспортної системи Нурегіор в Україні
 Джерело: розроблено Федяй Н.О.

ДЕЯКІ КОНЦЕПТУАЛЬНІ НАПРЯМИ СТВОРЕННЯ ВИСОКОШВИДКІСНОГО НАЗЕМНОГО ТРАНСПОРТУ HYPERLOOP

Швидке зростання мегаполісів ставить високі вимоги до транспортної індустрії щодо швидкості вантажо- та пасажирообороту, економічності, надійності, безпеки, екологічної чистоти. Автомобільний, залізничний транспорт мають природні бар'єри швидкості, проблеми з гучністю, викидами шкідливих речовин. Авіація вимагає громіздкої інфраструктури, віддаленої від центрів міст.

Реальною альтернативою може стати застосування високошвидкісного наземного транспорту (ВШНТ), який, образно кажучи, поєднуватиме якості літака та міської електрички.

Історично склалося так, що першим видом високошвидкісного наземного транспорту стали швидкісні залізничні потяги. Досягнувши швидкостей руху близько 200–300 км/год, корпуси локомотивів почали набувати обтічної форми. Однією з перешкод для подальшого збільшення швидкості потягів є контакт коліс із рейковим полотном.

Наступним етапом розвитку стало застосування високошвидкісного наземного транспорту, що використовує принцип магнітної левітації (Maglev). Через відсутність безпосереднього контакту з поверхнею транспорт на магнітному підвісі може розвивати швидкість 400–600 км/год. Водночас саме класичне поєднання «вагон + шляхова структура» дозволяє використовувати Maglev як міський транспорт. Ці фактори, а також екологічність цього виду транспорту визначили високий інтерес до Maglev технологій. Роботи зі створення магнітолевітуючого транспорту ведуться в Німеччині, Японії, США, Китаї, Україні, Росії. Комерційні лінії Maglev уже експлуатуються в Китаї та Південній Кореї.

В Україні концептуальні опрацювання магнітолевітуючих транспортних засобів на електродинамічному підвісі проводилися в Дніпропетровському відділенні Інституту механіки (ДВ ІМ) АН УРСР ще у 1960-х роках. Поява розробок стала закономірним результатом новітніх та актуальних досліджень у сфері транс-

портних технологій. Поряд із теоретичними фундаментальними і прикладними розробками та дослідженнями у ДВ ІМ АН УРСР, яке далі було реорганізовано в Інститут технічної механіки (ІТМ) АН УРСР, створювалася експериментальна база досліджень надпровідних електромагнітних систем. Потім у ІТМ АН УРСР було організовано науковий підрозділ «Трансмаг», який створив діючий макетний зразок магнітолевітуючого транспортного засобу на надпровідних магнітах. Наразі дослідження у сфері Maglev технологій проводяться в ІТСТ НАН України «Трансмаг», наукові співробітники якого мають великий досвід щодо створення зазначених вище розробок²³⁰.

Технологічний і комерційний успіх високошвидкісних транспортних засобів Maglev залежить від створення надійного і недорогого магнітного підвісу, лінійного приводу; бортових джерел енергозабезпечення; розробки ефективних систем управління та безпеки; забезпечення комфорту для пасажирів. Крім того, за аналогією з аерокосмічними системами, багато що залежить від хорошого аеродинамічного компонування. Визначення аеродинамічних навантажень є також одним із ключових моментів при проектуванні ВШНТ, оскільки при високих швидкостях руху на подолання опору повітря може припадати від 70 до 90% загальних енергетичних витрат.

Щодо створення промислових трубопровідних пневмотранспортних систем і технологій, їх застосування для транспортування всіх видів (включаючи липкі, вологі, з високою температурою, канцерогенні) сипких матеріалів у різних технологічних процесах великий досвід накопичив Інститут геотехнічної механіки (ІГТМ) НАН України. Цей досвід – особливо щодо створення систем магістрального трубопровідного пневмотранспорту – і науково-технічний потенціал інституту можуть бути успішно задіяні в різних проектах трубопровідних систем ВШНТ.

Одним із ключових моментів застосування вакуумованих систем ВШНТ є забезпечення та контроль герметичності при вантажних і, особливо, пасажирських перевезеннях. З питань контролю герме-

²³⁰ Дзензерский В.А., Омеляненко В.И., Васильев С.В., Матин В.И., Сергеев С.А. Высокоскоростной магнитный транспорт с электродинамической левитацией. Киев: Наукова думка, 2001. 480 с.

тичності в ІГТМ НАН України накопичено значний досвід роботи зі створення прецизійної техніки та технологій для визначення з високою точністю ступеня фактичної величини сумарної негерметичності різних порожнистих виробів без використання індикаторних газів, вакуумних камер і контрольних течій²³¹.

Перспективним напрямом, що об'єднує переваги магнітолевітуючого транспорту та пневмотранспортних систем є проект Hyperloop, порівняно недавно запропонований у США. Ключова ідея полягає в русі вагона-капсули в трубі, всередині якої створено розрідження повітря. Низький тиск повітря – до 0,001 атмосферного, дозволить різко знизити витрати на подолання аеродинамічного опору і розвивати швидкість до 1200 км/год. Рух капсули передбачається здійснювати безконтактним способом із застосуванням магнітного підвісу, аналогічно до Maglev.

Істотний інтерес проєкт Hyperloop викликає також і в Україні. 14 червня 2018 р. Міністерство інфраструктури України підписало меморандум про співпрацю з компанією Hyperloop Transportation Technologies. Крім того, передбачається створення Центру транспортних інновацій HyperUA, який повинен розробити тестову площадку для реалізації проєкту Hyperloop в Україні. Але слід зазначити, що створення Hyperloop в Україні потребує значного фінансування фундаментальних наукових і прикладних досліджень, а також відпрацювання промислових технологій.

Науково-технічний аналіз тенденцій розвитку ВШНТ та деяких напрямів створення тягово-левітаційних систем (ТЛС) і магнітного підвісу вакуумованого ВШНТ типу Hyperloop, результати якого наведено нижче, спрямований на обґрунтування концептуальних напрямів створення інноваційних видів транспорту п'ятого покоління, в першу чергу ВШНТ типу Hyperloop з використанням Maglev-технологій.

²³¹ Волошин А.И. Основные достижения в области геотехнологий, систем трубопроводного пневмотранспорта, теплоэнергетики и контроля герметичности полых изделий. *Геотехническая механика: межвед. сб. науч. тр. / ИГТМ НАНУ*. Днепропетровск, 2012. Вып. 100. С. 79–91;

Волошин А.И., Булат А.Ф., Пономаренко С.Н., Губенко Д.И., Кутумов И.В. Прецизионные средства контроля герметичности. Мариуполь: Східний видавничий дім, 2016. 246 с.

3.1. Огляд загальних технічних тенденцій розвитку високошвидкісного наземного транспорту²³²

Високошвидкісний наземний транспорт створюється в умовах жорстокої конкуренції на ринку транспортних послуг. Високошвидкісні магістралі являють собою одну з найбільш істотних технологічних інновацій у секторі пасажирського і вантажного транспорту. Проекти ВШНТ чинять значний довгостроковий вплив на національну транспортну систему та її розвиток. На стадії попереднього проектування із безлічі варіантів необхідно вибирати найкращий, щоб він був більш ефективним і надійним, ніж існуючі транспортні системи інших класів.

3.1.1. Розвиток швидкісного наземного транспорту

Актуальні проблеми підвищення провізної та пропускнуєї спроможності залізниць та інших видів наземного транспорту, включаючи трубопровідний, зумовили започаткування в кінці 1960-х років концептуальних і теоретичних розробок в Академії наук України, зокрема в ДВ ІМ АН УРСР, нових і нетрадиційних видів транспорту. У тому числі пророблялися питання створення транспорту на повітряній подушці, на магнітному підвісі та залізничних екіпажів з реактивною тягою²³³.

Так був створений вагон-лабораторія з реактивною тягою на базі двох турбореактивних двигунів від літака Як-40, який при випробуваннях на території Дніпропетровської області досягнув швидкості 250 км/год. Причому, як показали розрахунки, створений на базі головного вагона електропоїзда ЕР-22 залізничний вагон-лабораторія на візках із пневмопідвісом від причіпних вагонів виявився стійким до швидкості 360 км/год. Однак потужності двох двигунів не вистачило, щоб розвинути швидкість понад 250 км/год.

²³² Підрозділ написаний за участю М.М. Хачапурідзе.

²³³ Некоторые задачи механики скоростного транспорта: материалы науч.-техн. совещания (Днепропетровск, 1969) / АН УССР; Днепропет. отд. Ин-та механики; отв. ред. В.А. Лазарян. Київ: Наукова думка, 1970. 168 с.; Современное состояние и перспективы развития новых специализированных видов транспорта СПЕЦТРАНС-85: тезисы докладов Всесоюзной научно-технической конференции. Москва, 1985. 242 с

За кордоном найбільш інтенсивно мережі швидкісних залізничних ліній (High-speed rail HSR) розвиваються в Європі, США та в східно-азіатському регіоні (Китаї, Японії, Південній Кореї)²³⁴.

Перші високошвидкісні залізничні лінії в Європі були побудовані у 1980-х роках. Відтоді створено великі високошвидкісні мережі, і наразі існує декілька транскордонних високошвидкісних залізничних ліній. Залізничні оператори здійснюють міжнародні послуги; залізничні полотна постійно будуються і модернізуються за європейськими стандартами високошвидкісної залізничної мережі. Європейський Союз вкладає значні кошти в тунелі, мости та інші об'єкти інфраструктури та розвитку HSR на всьому континенті. Сьогодні HSR у Європі проектує і створює ряд виробників високого рівня, включаючи французьку Alstom, іспанську Talgo, німецький Siemens і канадську компанію Bombardier.

У 2003 р. Китай почав будівництво своєї першої лінії швидкісних залізниць по маршруту Циньхуандао – Шеньян. З того часу мережа китайських HSR швидко розширилася і в цілому до кінця 2015 р. були завершені 62 лінії HSR. Їх протяжність становила 20743 км²³⁵.

Високошвидкісна залізниця Японії Shinkansen у 2014 р. відзначила своє 50-річчя. Перша лінія, що зв'язує Токіо й Осаку, відкрита для експлуатації в 1964 р. і мала протяжність 515,4 км. За минулі півстоліття в Японії технологія поїздів HSR продовжує розвиватися. Максимальна швидкість піднялася з 210 км/год до 320 км/год, а пасажиропотік тепер становить близько одного мільйона пасажирів на день²³⁶. У ході тестових випробувань було встановлено рекорд швидкості 443 км/год за наявності повного контакту коліс із залізничним полотном.

²³⁴ Киселев И.П., Сотников Е.А., Суходоев В.С. Высокоростные железные дороги. Санкт-Петербург: Петербургский гос. ун-т путей сообщения, 2001. 60 с.;

Feigenbaum B. High-Speed Rail in Europe and Asia: Lessons for the United States. B. Feigenbaum Reason Foundation, 2013. 46 p.

²³⁵ Wang L., Liu Y., Mao L., Sun C. Potential Impacts of China 2030 High-Speed Rail Network on Ground Transportation Accessibility. *Sustainability*. 2018. Vol. 10. 16 p. DOI: 10.3390/su10041270

²³⁶ Smil V. Fifty Years of the Shinkansen. *The Asia-Pacific Journal*. 2014, Dec. 1. Vol. 12. Is. 47. No. 1. 5 p.

У східноазійському регіоні швидкісні залізничні мережі розвиваються в Південній Кореї, Тайвані, Індонезії, Малайзії. Значний інтерес до HSR-поїздів проявляють в Індії, що традиційно має великі транспортні проблеми²³⁷.

У США, незважаючи на багаторічні зусилля, мережа швидкісних залізниць розвинена слабо. Відсутня єдина національна система. Сьогодні діє тільки західний коридор Бостон – Нью-Йорк – Філадельфія – Балтимор – Вашингтон із середньою швидкістю 109 км/год і максимальною швидкістю на ділянках до 240 км/год. Федеральний уряд представив план побудови 10 коридорів національної швидкісної пасажирської залізниці, який фінансується урядом у рамках підтримки американської економіки²³⁸.

Магістраль Москва – Казань – проєкт першої в Росії швидкісної залізничної магістралі з перспективою продовження до Єкатеринбурга та Пекіну. Перешкодою до реалізації проєкту є його висока вартість, через що прийнятної схеми фінансування поки не знайдено²³⁹.

Певною альтернативою швидкісним залізницям є система монорейкових перевезень. Незважаючи на зовнішню привабливість, монорейковий транспорт не знайшов широкого застосування. Найбільш довга лінія (13,3 км) – Вупперталь – знаходиться в Німеччині і налічує 20 станцій. Інші діючі лінії є частиною паркових атракціонів і мають невелику довжину²⁴⁰.

²³⁷ Lee Y.S. A study of the development and issues concerning high speed rail (HSR). Transport Studies Unit. *Oxford University Centre for the Environment Working paper*. 2007. N° 1020. 19 p.

²³⁸ Feigenbaum B. High-Speed Rail in Europe and Asia: Lessons for the United States. B. Feigenbaum Reason Foundation, 2013. 46 p.

²³⁹ Проєкт строительства участка «Москва – Казань» высокоскоростной железнодорожной магистрали «Москва – Казань – Екатеринбург». Информационный меморандум ОАО «РЖД». Москва, февраль 2014 г. 48 с.; ВСМ Москва – Казань / Википедия. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/ВСМ_Москва_–_Казань

²⁴⁰ Miller P., Wirasinghe S.C., Kattan L., De Barros A. Monorails for sustainable transportation a review. Conference Paper, May 2014 / CSCE 2014 General Conference. 14 p.;

Неизвестный Киевский монорельс. URL : <https://everyday.in.ua/?p=1282>

3.1.2. Трубопровідний пневмотранспорт

Системи магістрального трубопровідного пневмотранспорту (МТПТ) можуть стати основою для створення конкурентоспроможної транспортної системи вантажних і пасажирських перевезень на нових інноваційних розробках. Вони є універсальним засобом транспортування різних об'єктів по трубопроводах круглого або прямокутного перерізу під дією перепаду тиску повітря по траєкторії будь-якої складності у будь-якій місцевості.

На сьогоднішній день на ринку транспортних послуг представлені п'ять типів систем МТПТ, призначених для транспортування сипких і рудних матеріалів; здійснення локальних перевезень у межах підприємства; навантаження, транспортування і вивантаження побутових відходів; використання в бібліотеках і доставки офісної пошти; пневматичних поїздів.

Системи МТПТ для транспортування сипких і рудних матеріалів надійні, вигідні та ідеально підходять для доставки видобутих ресурсів від місць їх видобутку до переробних підприємств. На сьогодні вони здатні здійснювати доставку вантажів на відстань 35 км по шляхопроводу діаметром 1–1,2 м.

Активні дослідження у сфері створення МТПТ для вантажних і пасажирських перевезень проводять фірми США, Японії, Німеччини, Великої Британії, Швеції. У період часу з 1975 р. по 1980 р. у колишньому Радянському Союзі на розвиток контейнерного пневмотранспорту – одного з різновидів МТПТ – було виділено близько 500 млн крб., що послужило одним із основних чинників, які дозволили СРСР зайняти провідне місце у цьому напрямі серед таких країн, як США, Японія, Німеччина.

Однак низька економічність, конструкційна недосконалість, а також невирішена проблема безпеки пасажирів призвели до відмови від застосування цього виду транспорту для пасажирських перевезень. Незважаючи на це, питання використання МТПТ, як і раніше, залишається актуальним для транспортування великих мас сипких вантажів з кар'єрів до місць їх переробки; перевезення радіоактивних відходів атомних електростанцій; внутрішнього заводського транспорту; транспортування вантажів на торговельних підприємствах.

Інститутом геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України виконано багаторічні фундаментальні й прикладні дослідження у сфері створення та практичного використання пневматичного трубопровідного транспорту. В інституті створено основи теорії механіки транспортування сипких матеріалів трубопровідними системами і розроблена фізично обґрунтована математична модель руху двофазних потоків «газ – тверді частинки»²⁴¹.

У створеній ІГТМ НАН України теорії руху сипкого матеріалу в пневмотранспортних системах обґрунтована та застосована гіпотеза про взаємно проникаючі континууми, а рух газу з урахуванням міжфазних сил описується рівняннями Рейнольдса та рівнянням кінетичної пульсаційної енергії.

Застосування трубопровідних пневмотранспортних систем (ПТС) у багатьох технологічних процесах вимагає розроблення методів розрахунку всього технологічного ланцюжка «компресор – повітроподавальний трубопровід – ПТС – транспортний трубопровід – простір вивантаження». З цією метою в ІГТМ НАН України розроблено математичну модель цього єдиного технологічного комплексу та відповідний алгоритм методу розрахунку²⁴². На основі виведеної формули дальності пневмотранспортування для стаціонарного потоку суміші «газ – тверді частинки» при фіксованому значенні довжини та діаметра транспортного трубопроводу отримана залежність тиску в початковому перерізі трубопроводу від наведеної витрати повітря. Ця залежність, за аналогією з характеристикою компресора, характеризує рух аеросуміші в транспортному трубопроводі ПТС.

Фундаментальна теорія руху двофазних потоків у трубопровідних системах пневмотранспорту стала основою для формування

²⁴¹ Потураев В.Н., Волошин А.И., Пономарев Б.В. Вибрационно-пневматическое транспортирование сыпучих материалов. Київ: Наук. думка, 1989. 245 с.;

Волошин А.И., Пономарев Б.В. Механика пневмотранспортирования сыпучих материалов. Київ: Наук. думка, 2001. 521 с.

²⁴² Потураев В.Н., Волошин А.И., Пономарев Б.В. Вибрационно-пневматическое транспортирование сыпучих материалов. Київ: Наук. думка, 1989. 245 с.;

Волошин А.И., Пономарев Б.В. Алгоритмы и программы для расчета вибропневматических систем. Київ: Наук. думка, 2001. 92 с.

нових напрямів у розробці різних видів устаткування – від малогабаритних ежекторних машин для дільничного пневмотранспорту та машин цехового пневмотранспорту до магістральних трубопровідних систем пневмотранспорту²⁴³.

Розроблене в ІТМ НАН України обладнання трубопровідного пневмотранспорту пройшло багаторічну промислову апробацію на гірничо-видобувних підприємствах при вирішенні стратегічно важливих для цієї галузі питань утилізації гірської породи трубопровідними системами. При цьому в системах магістрального трубопровідного пневмотранспорту основна увага акцентувалася на створення безперевантажувальних схем пневмотранспортування брикетованого матеріалу у вигляді сфер-брикетів на досить великі відстані.

Вибір сфероподібної форми брикету дозволив приблизно на два порядки – порівняно з існуючими видами транспорту – знизити питомі енерговитрати на транспортування сипкого матеріалу за рахунок зниження коефіцієнта тертя ковзання. Цей вид транспорту вперше у світовій практиці магістрального пневмотранспорту дозволив досягти питомих енерговитрат 0,01 кВт·год/т·км.

Один із найважливіших напрямів застосування пневматичного транспортування сфер-брикетів – це використання цієї технології для транспортування всередині сфер контейнерів радіоактивних та інших шкідливих речовин до місця їх поховання. Це питання активно обговорювалося під час створення плану ліквідації наслідків аварії на Чорнобильській АЕС.

3.1.3. Розвиток Maglev-технологій

Інтенсивні дослідження ВШНТ на магнітному підвісі, що проводилися в 1970–1980-ті роки в СРСР, Німеччині, Японії, США, дали змогу виявити основні технічні рішення та шляхи розвитку

²⁴³ Потураев В.Н., Волошин А.И., Пономарев Б.В. Вибрационно-пневматическое транспортирование сыпучих материалов. Київ: Наук. думка, 1989. 245 с.;

Волошин А.И., Пономарев Б.В. Механика пневмотранспортирования сыпучих материалов. Київ: Наук. думка, 2001. 521 с.;

Потураев В.Н., Булат А.Ф., Волошин А.И. Механика вибрационно-пневматических машин эжекторного типа. Київ: Наукова думка, 2001. 176 с

цього виду транспорту²⁴⁴. У 90-ті роки ХХ ст. технічні ідеї втілюються в реальні конструкції та проекти, включаючи перші діючі до сьогодні пасажирські лінії.

Наразі найбільшого успіху, принаймні з комерційної точки зору, домоглася корпорація «Transrapid International» (Німеччина). У 2004 р. була відкрита перша пасажирська лінія в Китаї довжиною 32 км, що зв'язує міжнародний аеропорт із центральним залізничним вокзалом Шанхая. Потяги на електромагнітному підвісі курсують зі швидкістю до 430 км/год. Будівництво цієї лінії тривало упродовж п'яти років, загальний бюджет проекту становив 1,2 млрд дол. США²⁴⁵.

Друга комерційна Maglev-лінія у Китаї була побудована в місті Чанша. На відміну від Шанхайської лінії, вона не є високошвидкісною і побудована за власною технологією китайської розробки²⁴⁶.

Maglev-лінія довжиною 6,1 км працює в Південній Кореї. Вона пов'язує міжнародний аеропорт на острові Інчхон з материковою частиною. Максимальна швидкість руху становить 110 км/год. Використовуються власні технології південнокорейської компанії Hyundai Rotem²⁴⁷.

Серед світових лідерів із розробці Maglev-технологій перебуває Японія. За більш ніж 30 років досліджень було сконструйовано кілька реальних прототипів експериментальних пасажирських вагонів, запропоновано ряд цікавих технічних рішень щодо магнітного електродинамічного підвісу, систем управління. Побудована експе-

²⁴⁴ Дзензерский В.А., Омеляненко В.И., Васильев С.В., Матин В.И., Сергеев С.А. Высокоскоростной магнитный транспорт с электродинамической левитацией. Киев: Наук. думка, 2001. 480 с.

²⁴⁵ Wu Xiangming. Achievements of Shanghai Maglev Demonstration Operation Line and the Maglev Development Strategy. Proceedings of 18th International Conference on Magnetically Levitated Systems and Linear Drives. China, Shanghai, 2004. P. 13–16.

²⁴⁶ В Китае запустили поезд МАГЛЕВ на линии собственного производства. 30.12.2015. URL: <https://ecotechnica.com.ua/transport/589-v-kitae-zapustili-poezd-maglev-na-linii-sobstvennogo-proizvodstva.html>

²⁴⁷ В Сеуле начали курсировать поезда МАГЛЕВ. 02.03.2016. URL: <https://ecotechnica.com.ua/transport/835-v-seule-nachali-kursirovat-poezda-maglev.html>

риментальна траса Yamanashi Maglev Test Line довжиною 17 км, витрачено близько 2,4 млрд дол. США. 21 квітня 2015 р. у ході випробувань на експериментальній шляховій ділянці протяжністю 42,8 км у префектурі Яманасі склад із вагонами серії L0 розвинув швидкість у 603 км/год. Разом із тим терміни введення в експлуатацію першої японської Maglev лінії Токіо – Осака дуже невизначені. У 2027 р. планується відкриття регулярного руху між містами Токіо і Нагоя²⁴⁸.

Після розпаду СРСР у 1991 р. роботи з розвитку Maglev технологій у Росії та Україні фактично були згорнуті. З причини відсутності достатнього фінансування дослідження проводяться в теоретичному напрямі, у тому числі пошуку нових концептуальних ідей.

Існує три основні технології магнітного підвісу транспортних засобів системи Maglev: на надпровідних магнітах (електродинамічній підвісці, EDS); на електромагнітах (електромагнітній підвісці, EMS); на постійних магнітах. Остання технологія магнітного підвісу, на наш погляд, на сучасному етапі науково-технічного прогресу потенційно є найбільш економічною системою ВШНТ.

Інший напрям становлять розробки проекту ВШНТ Maglev з додатковою підйомною силою, зумовленою крильовою конфігурацією корпусу ВШНТ.

Ці дослідження проводяться протягом ряду років в ІТСТ НАН України «Трансмаг»²⁴⁹. Тут слід зазначити, що традиційно аеродинамічні ефекти для наземного транспорту вважаються неминучим злом, з яким треба боротися (зменшення лобового опору, підвищення стійкості тощо). У рамках цього підходу вдаються до

²⁴⁸ The Japanese Maglev: world's fastest bullet train. Japan Rail Pass Report. 22.04.2015. URL: <https://www.jrailpass.com/blog/maglev-bullet-train>

²⁴⁹ Разработка методов определения аэродинамических характеристик тел, движущихся вблизи профилированных опорных поверхностей. Отчет ИТСТ НАН Украины «Трансмаг». 1994. 297 с.;

Аэродинамические исследования по созданию перспективных транспортных систем и разработка способов их автономного обеспечения. Отчет ИТСТ НАН Украины «Трансмаг». 1999. 155 с.;

Приходько А.А., Сохацкий А.В. Математическое и экспериментальное моделирование аэродинамики транспортных систем вблизи земли. Днепропетровск: Наука и образование, 1998. 154 с.

спроб посилити позитивні сторони ВШНТ Maglev за рахунок використання аеродинамічних сил, а не боротьби з ними.

Тут необхідно зауважити, що в літературі відсутні обговорення вибору аеродинамічних форм ВШНТ Maglev, геометричні дані щодо конкретних конструкцій і відповідні експериментальні дані щодо аеродинамічних продувок і натурних випробувань. Створюється враження, що провідні розробники Maglev-технологій, такі як корпорація «Transrapid International» у Німеччині та Railway Technical Research Institute в Японії, розглядають аеродинамічні аспекти як частину своєї технології, на яку поширюються права власності. Непрямим підтвердженням такої ситуації є та обставина, що на міжнародних конференціях MAGLEV'2002 і MAGLEV'2004 доповіді з аеродинаміки були представлені тільки ІТСТ НАН України «Трансмаг»²⁵⁰. На останній міжнародній конференції MAGLEV'2018 була представлена доповідь співробітників ІТСТ НАН України «Трансмаг» з комп'ютерного моделювання поздовжнього руху магнітолевітуючого поїзда²⁵¹.

3.1.4. Проект Hyperloop

Транспортна система Hyperloop – це абсолютно особливий вид транспорту, що вимагає нових підходів до розробки всіх його елементів, основними з яких є тунелі або естакади; трубопроводи; насоси або ежектори; перехідні шлюзи; рухомий склад; системи управління і життєзабезпечення.

²⁵⁰ Prykhodko O., Sokhatsky A. On the aerodynamic calculation of high-speed ground transport vehicles. Proceedings of 18th International Conference on Magnetically Levitated Systems and Linear Drives / Swiss Federal Institute of technology. Lausanne, 2002. N PP05201. 11 p.;

Prykhodko O.A., Polevoy O.B., Mendriy A.V. On the Calculation of Aerodynamic Characteristics of High-Speed Ground Vehicles on the Base of Three-Dimensional Navier-Stokes Equations. Proceedings of 18th International Conference on Magnetically Levitated Systems and Linear Drives. China, Shanghai, 2004. P. 575–583.

²⁵¹ Polyakov V.A., Khachapuridze N.M. Magnetically levitated train's longitudinal motion (simulation results). *Transportation Systems and Technology*. 2018. № 4(3). P. 143–153.

Один з проєктів подібної системи розроблявся ще в середині 1970-х років²⁵². Система MEL передбачала вакуумний трубопровід діаметром 3,66 м; тяговий електропривод на основі лінійного електродвигуна; магнітне підвішування на постійних магнітах; вагон довжиною 36,6 м і масою близько 39 т. Тиск усередині трубопроводу приймався рівним 101 Па. При цьому розглядалися швидкості руху до 279 м/с (1000 км/год), а прискорення при наборі швидкості та гальмуванні прийнятні для пасажирів і не перевищують 0,25g. Посадка і вихід пасажирів передбачалися через шлюзи. При цьому зазначалися переваги системи MEL перед авіаційним транспортом з точки зору безпеки і надійності системи²⁵³. У цих роботах наведено деякі економічні показники.

Економічна і технічна доцільність такого виду транспорту залежить від істотних витрат, пов'язаних з: проєктуванням, спорудженням та експлуатацією транспортної системи, що вимагає для підтримки в трубі розрядження дуже потужних вакуумних насосів або ежекторів; вантажо- або пасажиропотоком; енергоспоживанням (електроенергії від сонячних батарей, робота яких залежить від кліматичних умов, може виявитися недостатньо).

Ключовим фактором оприлюдненої 12 серпня 2013 р. концепції Ілона Маска за проєктом Hyperloop було прагнення знизити капітальні вкладення для реалізації проєкту та економічної ефективності експлуатації цього виду ВШНТ. Основні положення цієї концепції такі²⁵⁴:

²⁵² Дзензерский В.А., Омеляненко В.И., Васильев С.В., Матин В.И., Сергеев С.А. Высокоскоростной магнитный транспорт с электродинамической левитацией. Киев: Наук. думка, 2001. 480 с.

²⁵³ Дзензерский В.А., Омеляненко В.И., Васильев С.В., Матин В.И., Сергеев С.А. Высокоскоростной магнитный транспорт с электродинамической левитацией. Киев: Наук. думка, 2001. 480 с.;

Форгач Р.Л. Скоростной вакуумный трубопроводный транспорт конкурент реактивной авиации. *Наземный транспорт 80-х годов*. Москва: Мир, 1974. С. 121–137.

²⁵⁴ Taylor C.L., Hyde D.J., Barr L.C. Hyperloop Commercial Feasibility Analysis: High Level Overview. NASA Report DOT-VNTSC-NASA-16-01, July 2016. 47 p.;

Hyperloop in The Netherlands. Main report. TNO Report R10715, August 2017. 48 p.;

Розділ 3. Деякі концептуальні напрями створення...

- за основу приймається модель вакуумного поїзда, перевагою якого є відсутність необхідності долати тертя опори і зустрічний аеродинамічний опір;
- у шляхопроводі необхідно підтримувати форвакуум із тиском у 100 Па (подальше вакуумування недоцільне через зростання витрат);
- для підтримки у шляхопроводі форвакууму застосовуються насоси помірної потужності та труби зі звичайної сталі з товщиною стінок 20–25 мм.

У концепції Ілона Маска за проектом Hyperloop передбачені такі технічні та технологічні рішення:

- капсула приводиться в рух лінійним електродвигуном із необхідною постійною потужністю 100 кВт, де як статор застосована алюмінієва рейка довжиною 15 м на підлозі труби, а ротор розміщений у кожній капсулі;
- для отримання енергії використовуються сонячні батареї, що виробляють 57 МВт електроенергії за необхідної потреби у 21 МВт;
- кінетична енергія від гальмування капсули, отримана за рахунок роботи статора, також перетворюється в електричну.

Для забезпечення безперебійної експлуатації капсули Hyperloop і на випадок виникнення аварійних ситуацій у цьому проекті передбачено розміщення:

- у кормі капсули 1,5 т акумуляторів, заряду яких вистачить на 45 хв;
- у носі капсули за вентилятором електричного компресора для накопичення стисненого повітря на випадок розгерметизації (для охолодження балонів компресора, які неминуче нагріються до 585⁰С; застосовується вода масою у 400 кг).

У проекті Hyperloop було прийнято рішення відмовитися від використання повітряної подушки, що може унеможливити її реалізацію та управління, і застосувати магнітну левітацію. Крім

Decker K., Chin J.R., Peng A. et al. Conceptual Feasibility Study of the Hyperloop Vehicle for Next-Generation Transport. NASA Report GRC-E-DAA-TN37945, 2017. 22 p.;

MIT HYPERLOOP. Final Report / Massachusetts Institute of Technology. USA, August 2017. 134 p.

цього, необхідно відзначити, що на сьогоднішній день метод електромагнітної катапульти – як у класичній концепції вакуумного поїзда Ілона Маска – свого застосування не знайшов.

Для реалізації проєкту Hyperloop необхідно вирішити досить велике коло завдань, які піднімають питання механіки, аеродинаміки, динаміки руху. Вирішення цих завдань насамперед повинно дати відповіді щодо:

- вибору оптимального співвідношення площ поперечних перетинів шляхопроводу і транспортного засобу;
- вибору форми і структури поверхні транспортного засобу;
- забезпечення власної енергоозброєності транспортного засобу;
- одночасної кількості транспортних засобів у шляхопроводі;
- мінімізації лобового опору транспортного засобу;
- зниження опору тертя на стінках транспортного засобу;
- забезпечення і контролю вакууму у внутрішній порожнині труби великого діаметра і великої протяжності;
- забезпечення стійкості, надійності та безпеки руху, в тому числі й на криволінійних ділянках шляхопроводу.

Викладені вище в цьому підрозділі матеріали дають змогу зробити такий висновок: з огляду на наведені вище характеристики проєкту Hyperloop, питання про величину дійсної швидкості руху капсули в реальних умовах – як і реалізації усього проєкту загалом – залишається відкритим і вимагає більш ретельного дослідження як у теоретичному, так і в експериментальному сенсі.

3.2. Концептуальні напрями створення тягово-левітуючих систем вакуумованого ВШНТ Hyperloop²⁵⁵

3.2.1. Лінійні синхронні двигуни та тягово-левітуючі системи

Тягово-левітуючі системи (ТЛС) ВШНТ працюють спільно з системою енергозабезпечення і системою управління. Основним елементом ТЛС є лінійні синхронні двигуни (ЛСД), які забезпечують силу тяги. В ЛСД трифазну обмотку розміщують уздовж шляхової структури, і вона відіграє роль статора. При живленні статора трифазним синусоїдальним струмом утворюється хвиля

²⁵⁵ Підрозділ написано за участю В.Ю. Скосяра.

результуючої магніторушійної сили (МРС), яка переміщається уздовж статора зі швидкістю

$$V=2\tau f,$$

де τ – полюсний розподіл;

f – частота напруги живлення.

На поїзді розміщена надпровідна обмотка, що відіграє роль індуктора. Взаємодія МРС статора і МРС індуктора забезпечує електромеханічне перетворення енергії. Це зумовлює переміщення індуктора в напрямі руху хвилі МРС статора із синхронною швидкістю V . На рис. 3.1 зображено хвильову, подвійну хвильову і петльову трифазні обмотки статора. Тут a , b , c – позначення трьох фаз. Від цих параметрів залежить миттєве значення сили тяги. ЛСД розвиває не тільки силу тяги, а й силу підвісу²⁵⁶.

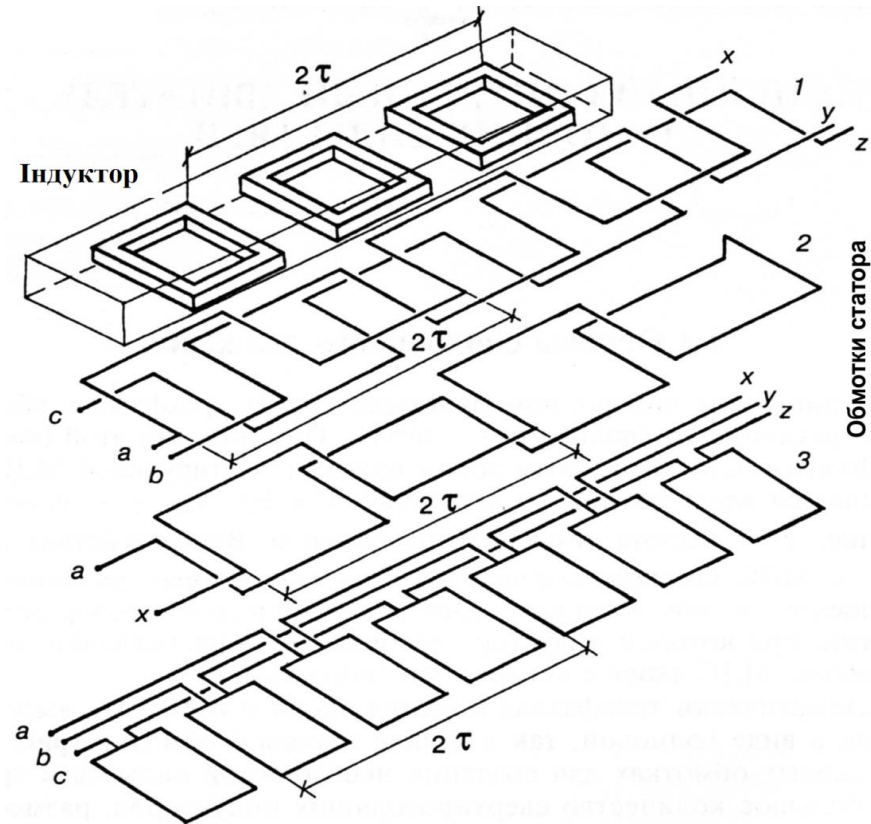
Однак ЛСД не забезпечує стійкої левітації. Тому в Maglev і Hyperloop заплановано використовувати ТЛС, які здатні забезпечити: тягу, підвіс і бічний напрямок. На рис. 3.2 приведена схема ТЛС, яку вперше у світі реалізували японські розробники. ТЛС включає двосторонній ЛСД, у якого котушки обмотки статора (вони розташовані на протилежних сторонах направляючого колійного полотна) розташовані попарно – так, що електрорушійні сили (ЕРС), які наводяться в них полем надпровідних обмоток, спрямовані назустріч одна одній²⁵⁷.

При симетричному положенні вагона щодо колійного полотна струми, що протікають у правих колійних котушках, однакові і зрівняльний струм дорівнює нулю. Вся система працює як ЛСД, який створює силу тяги, пропорційну тяговому струму $2i_p$. Але, якщо вагон зміщується щодо осі симетрії колійного полотна, то виникає ЕРС у кожному замкнутому контурі шляху, що складається з пари котушок, і з'являється зрівняльний струм. Цей зрівняльний струм сумісно зі струмом надпровідного магніту створює силу, що прагне повернути вагон до осі симетрії колійного полотна. ТЛС (рис. 3.2) характеризується такими властивостями: спрямовуюча сила збільшується практично пропорційно бічному зсуву; зменшен-

²⁵⁶ Дзензерский В.А., Омеляненко В.И., Васильев С.В., Матин В.И., Сергеев С.А. Высокоскоростной магнитный транспорт с электродинамической левитацией. Киев: Наук. думка, 2001. 480 с.

²⁵⁷ Там само.

ня сили тяги і нерівноваженість між рушійними силами, що діють на правий і лівий НПМ, невеликі. Автори роботи²⁵⁸ провели аналіз комбінованої ТЛС з ЛСД із плоскими вертикально орієнтованими колійними обмотками статора і паралельно їм орієнтованими НПМ індуктора на поїзді (рис. 3.3).



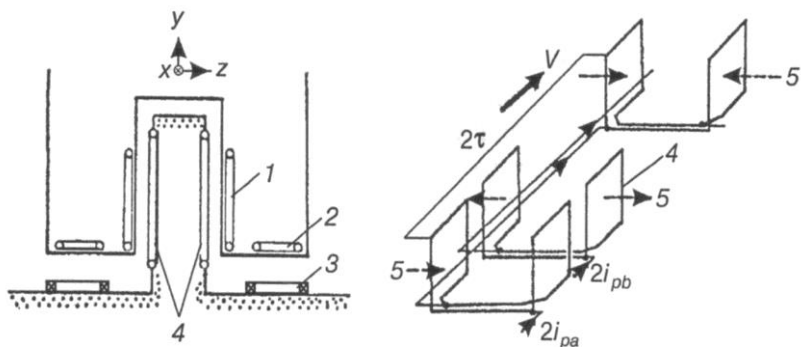
1 – хвильова; 2 – подвійна хвильова; 3 – петльова.

Рис. 3.1. Схема ЛСД з різними типами трифазної обмотки

Джерело: ²⁵⁹.

²⁵⁸ Там само.

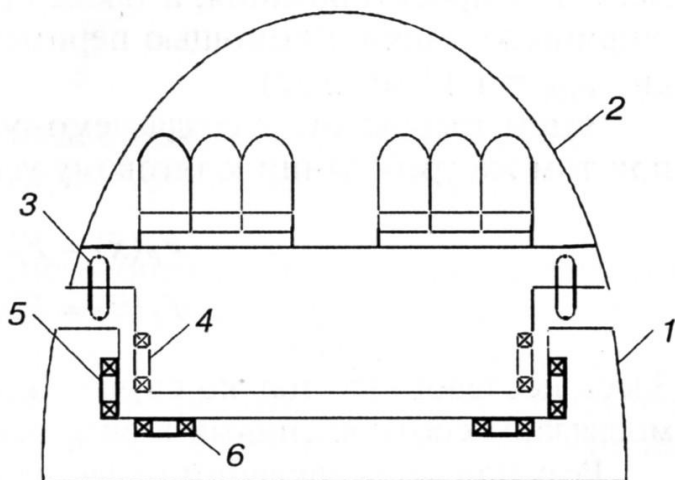
²⁵⁹ Дзензерский В.А., Омеляненко В.И., Васильев С.В., Матин В.И., Сергеев С.А. Высокоскоростной магнитный транспорт с электродинамической левитацией. Киев: Наук. думка, 2001. 480 с.



- 1 – надпровідні магніти (НПМ) тяги і напрямку; 2 – НПМ підвісу;
 3 – колійна котушка підвісу; 4 – колійна котушка тяги і напрямку;
 5 – потік від НПМ тяги і напрямку.

Рис. 3.2. Схема комбінованої ТЛС

Джерело: ²⁶⁰.



- 1 – колійне полотно; 2 – вагон; 3 – колісна підвіска; 4 – НПМ;
 5 – котушка обмотки статора; 6 – котушка підвісу.

Рис. 3.3. Схема комбінованої ТЛС

Джерело: ²⁶¹.

²⁶⁰ Там само.

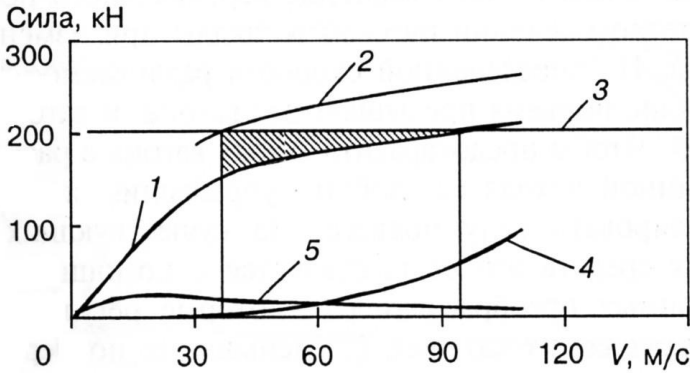
У ТЛС поздовжні осі симетрії НІМ вагона і колійних катушок статора зміщені відносно один одного у вертикальному напрямку для того, щоб на магніти діяли два зусилля: тягове і виштовхуюче. Потрібно було домогтися таких геометричних і режимних параметрів обмоток двигуна, щоб ЛСД забезпечував і тягу, і підвіс. Виявилось, що зусилля тяги і підвісу, які розвиваються, перевантажувальна здатність стосовно сили тяги і повна потужність утворюють систему взаємно суперечливих критеріїв. Результати вирішення задачі оптимізації показали, що ТЛС (рис. 4.3) може розвинути одночасно повноцінне тягове зусилля і підйомне зусилля певної величини, що здатне компенсувати лише частину ваги вагона. Іншу частину ваги вагона доводиться компенсувати за рахунок автономної системи електродинамічного підвісу (АСП). Тому в роботі²⁶² запропоновано ТЛС, в якій ЛСД створює тягу і забезпечує частину підйомного зусилля, АСП забезпечує решту (основну) частину підйомної сили (рис. 3.3). При оптимізації параметрів такої ТЛС спочатку домагалися мінімізації споживаної потужності за рахунок підбору оптимальних геометричних розмірів надпровідної і статорної катушок. Потім при постійних розмірах надпровідної катушки проводили оптимізацію АСП (вузла електродинамічної левітації): довжини і ширини шляхової катушки; кроку намотування шляхової катушки і зазору між шляховою та надпровідною катушками.

Згідно з рис. 3.3, вагон (2) рухається всередині U-подібного шляхового полотна (1), надпровідні магніти вертикальної орієнтації (4) взаємодіють з вертикально встановленими у стінках колійного полотна катушками статорної обмотки двигуна (5), а також з горизонтально вбудованими в колійне полотно короткозамкненими катушками для підвісу (6). При старті на малих швидкостях вагон рухається на колесах (3) та здійснюється його розгін. При середніх швидкостях двигун працює на розгін і для часткового підвісу, приймаючи на себе до 1/3 ваги вагона. Надалі, на максимальних швидкостях, двигун повністю працює на тягу, а левітація здійсню-

²⁶¹ Там само.

²⁶² Дзензерский В.А., Омеляненко В.И., Васильев С.В., Матин В.И., Сергеев С.А. Высокоскоростной магнитный транспорт с электродинамической левитацией. Киев: Наук. думка, 2001. 480 с.

ється повністю за рахунок АСП. На рис. 3.4 зазначені властивості ТЛС для вагона вагою 200 кН.



1 – сила підвісу АСП; 2 – сила підвісу від ЛСД і АСП;
3 – вага вагона; 4 – аеродинамічний опір; 5 – магнітний опір.

Рис. 3.4. Залежності сил від швидкості вагона для ТЛС

Джерело: ²⁶³.

АСП розвиває силу підйому, зображену у вигляді кривої 1; а крива 2 показує результуючу силу підйому, створювану за рахунок АСП і ЛСД при розвитку двигуном підйомного зусилля в 50 кН. Для стійкої левітації необхідно компенсувати вагу вагона в 200 кН (горизонтальна лінія 3). У діапазоні швидкостей вагона 35–92 м/с взаємодіють ЛСД і АСП. Починаючи зі швидкості вагона 35 м/с, створюються умови для переходу в режим магнітної левітації. При швидкостях, вищих ніж 92 м/с, для забезпечення левітації вже достатньо роботи тільки АСП. Після швидкості 110 м/с ЛСД можна перевести в чисто тяговий режим, який більш вигідний енергетично. Це виправдано ще й тим, що на більш високих швидкостях зростає аеродинамічний опір (крива 4) і зберігається магнітне гальмування (крива 5)²⁶⁴. ТЛС характеризуються великою кількістю параметрів, які вимагають оптимізації, причому тут закручується вузол суперечливих вимог. Потрібно мінімізувати потужність електрофізичного, магнітного гальмування, втрати на дисипації енергії в обмотках і провідниках, зменшити витрату провіднико-

²⁶³ Там само.

²⁶⁴ Там само.

вого матеріалу, але домогтися при цьому стійкого і швидкого переміщення поїзда уздовж траси. Завдання оптимізації дуже складне і може бути вирішене при використанні відповідного програмного забезпечення на сучасних комп'ютерах.

Передовими ТЛС для Hyperloop вважаються системи, засновані на пасивній магнітній левітації (Inductrack), технологію якої винайшли у 1990-х роках. Компанія Hyperloop Transportation Technologies у 2016 р. оголосила, що використовуватиме Inductrack для Hyperloop. Це дозволить рухомому складу ефективно левітувати і рухатися. В Maglev в Україні та Японії використовується активна магнітна левітація, що вимагає роботи охолоджених надпровідних електромагнітів, які закріплені на поїздах, і роботи кріосистеми. Це дорога і складна технологія, тому такий тип Maglev поки не поширився по всьому світу. Але технологія Inductrack обіцяє спростити рішення завдання руху і левітації та здешевити Hyperloop. В Inductrack використовуються не надпровідні магніти на рухомому складі, а постійні магніти (супермагніти). Коли поїзд з постійними магнітами рухається щодо провідних елементів на дорожньому полотні, то в них наводяться струми і з'являється електромагнітне поле, яке й відштовхує капсулу від землі. Система автоматично стабілізується. Стендові випробування Inductrack показали настільки хороші результати, що в NASA зацікавилися цією технологією як способом доставки об'єктів на орбіту. У Inductrack використовуються супермагніти, наприклад NdFeB, розташовані в масивах Halbach на поїзді²⁶⁵.

При старті поїзда, починаючи з певної швидкості, забезпечуються постійна висота його підйому і постійна використовувана потужність. Технологія дозволяє забезпечити левітацію вантажу вагою у 50-кратному розмірі ваги магнітів. При використанні NdFeB-магнітів експериментальна модель Inductrack левітує на швидкостях руху поїзда, вищих за 35 км/год (9,7 м/с), але можливо досягти зменшення цієї величини²⁶⁶. Inductrack є новітнім know-how, тож вимагає експериментальної перевірки. У відкритому

²⁶⁵ Зеньков А. Благодаря этой технологии проект Hyperloop может стать реальностью. 11.05.2016. URL: <https://rb.ru/story/cheaper-hyperloop/>; Inductrack / Wikipedia. URL: <https://en.wikipedia.org/wiki/Inductrack>

²⁶⁶ Там само.

доступі є лише кілька публікацій і патентів, що захищають цю розробку. В патенті US 20130174757A1 наведено графіки залежності використовуваної потужності та висоти підйому (левітації) від швидкості руху поїзда для одного з варіантів пасивної магнітної левітації. З графіків видно, що використовувана потужність досягає постійної величини вже при швидкостях усього лише 2 м/с, а висота підйому стає найбільшою вже при швидкостях 2–6 м/с (7,2–21,6 км/год). Стверджується, що система Inductrack цілком поєднується з роботою ЛСД²⁶⁷.

3.2.2. Системи енергозабезпечення та системи управління

Розглянемо систему енергозабезпечення тягового електропривода Maglev на полігоні Яманаші в Японії (рис. 3.5)²⁶⁸. Вона включає: систему управління рухом (1); систему силових перетворювачів (2); силовий трансформатор (3); систему зовнішнього енергозабезпечення (4); блок із запрограмованим графіком руху (5); блок визначення положення поїзда (6); блок управління рухом поїзда (7); блок управління перетворювачем частоти (8); випрямляч (9); переривник постійного струму (10); гальмівний опір (11); блок керування перемикачами фідерних зон (12); інвертори фідерів (13); фідери (14); шину управління перемикачами фідерних зон (15); перемикачі фідерних зон (16); обмотки якоря лінійного синхронного двигуна (17); індукційну лінію визначення положення поїзда (18); поїзд (19).

Фактично система енергопостачання (рис. 3.5) складається з двох підсистем: управління рухом і силового перетворення. Обмотки якоря лінійного синхронного двигуна мають високий опір, тому вони зроблені у вигляді секцій довжиною кілька сотень метрів. Ці секції живляться силовими перетворювачами за допомогою системи фідерів і перемикачів фідерних зон, відповідно до руху поїзда. Обмотка якоря розділена на три групи секцій, так що використовуються три групи інверторів – А, В і С, які підвищують надійність системи²⁶⁹.

²⁶⁷ Patent US 20130174757A1, B60L 13/04. Pub. Date: 11.07.2013.

²⁶⁸ Дзензерский В.А., Омельяненко В.И., Васильев С.В., Матин В.И., Сергеев С.А. Высокоскоростной магнитный транспорт с электродинамической левитацией. Киев: Наук. думка, 2001. 480 с.

²⁶⁹ Там само.

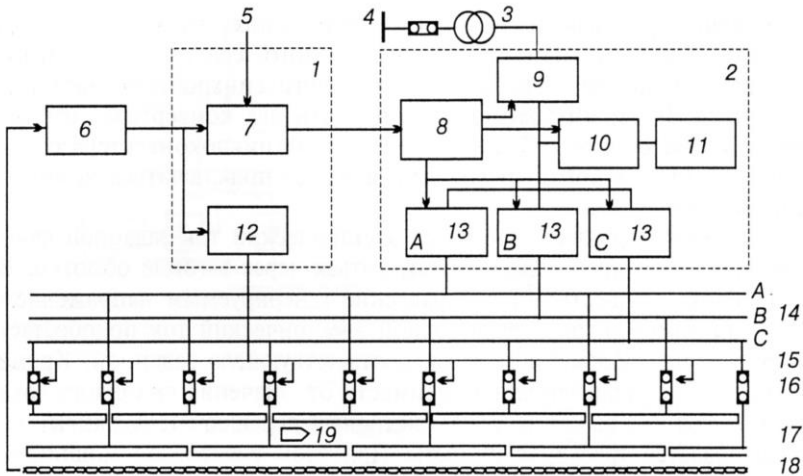


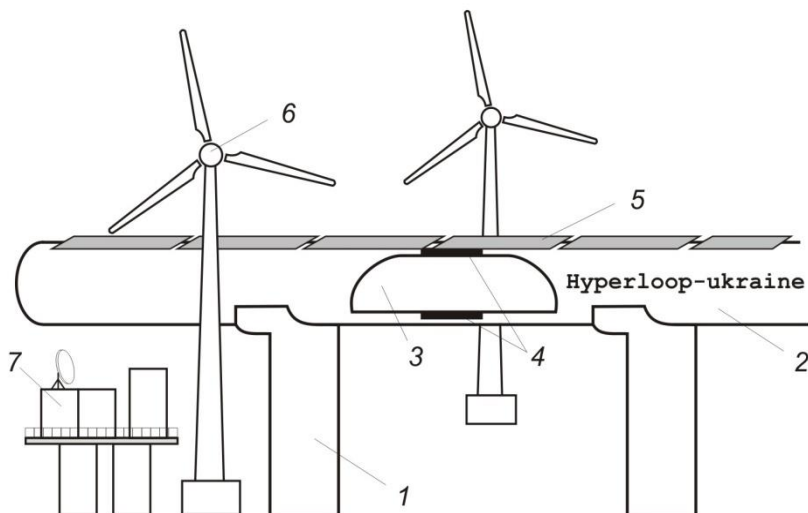
Рис. 3.5. Система енергозабезпечення на полігоні Яманаші
 Джерело: ²⁷⁰.

Управління рухом як підсистема включає такі частини: керуючу програму; управління базовою швидкістю; керування перемиканням фідерних зон. Керуюча програма потрібна для того, щоб встановлювати пуск і зупинку вагона та його рух із заданою швидкістю. Крім того, керуюча програма задає пуск і зупинку всіх інших пристроїв управління рухом. Завдяки силовому перетворенню відбувається трансформація потужності, що надходить із зовнішньої мережі, у тягову потужність, що подається до обмоток якоря лінійного синхронного двигуна. Причому потужність подається з регульованими амплітудою і частотою ²⁷¹.

Нижче приведена остання розробка фахівців ІТСТ НАНУ, в якій напрацювання для технології Maglev вдало переносяться на Hyperloop (рис. 3.6). Зазначене технічне рішення дозволяє підвищити надійність енергозабезпечення ВШНТ типу Hyperloop, який може бути використано в умовах України. Більше того, технічне рішення може бути використано для розробки та експлуатації надшвидкісного наземного транспорту між Україною, Польщею та Білоруссю, наприклад, на шляхах: Київ – Варшава і Київ – Мінськ.

²⁷⁰ Там само.

²⁷¹ Там само.



1 – опори; 2 – труба, в якій рухається транспорт; 3 – транспорт;
4 – магнітна або повітряна подушка; 5 – сонячні панелі, які живлять транспорт;
6 – вітроенергетичні установки, які живлять транспорт;
7 – блоки акумуляторних батарей для накопичення енергії.

Рис. 3.6. Схематичне зображення ВШНТ типу Hyperloop, розроблено в ІТСТ НАНУ

Джерело: ²⁷².

У цій розробці ВШНТ може використовувати сталеву трубу товщиною 20–25 мм і діаметром 2,5–4 м, в якій забезпечено атмосферний тиск $\sim 0,001$ атм. (101 Па) за рахунок експлуатації вакуумних насосних станцій. Труба встановлена на опорах висотою 10–20 м. У трубі рухається вагон-капсула з пасажирами, що має довжину 25–40 м і розрахована на 25–50 осіб. Статор лінійного тягового електроприводу і прилади магнітної подушки розміщено у верхній частині труби і зверху вагона-капсули або у нижній частині труби і знизу вагона-капсули. Такий транспорт має забезпечити швидкість 480–1220 км/год, залежно від ландшафту. Оскільки вважається, що наземні траси довжиною до 1500 км економічно

²⁷² Дзензерський В.О., Бурилов С.В., Скосар В.Ю. Надшвидкісний наземний транспорт. Патент 121028 Україна. Опубл. 27.11.2017, бюл. № 22.

доцільніші та дешевші, ніж авіаційні перельоти, то запропоновані авторами маршрути Київ – Варшава і Київ – Мінськ є раціональними. Технічні параметри сонячних панелей, вітроенергетичних установок, блоків акумуляторних батарей зазначені в описі патенту²⁷³.

Система управління в проєкті Transrapid (Китай) характеризується центральним автоматизованим управлінням усіма функціями в поєднанні з децентралізованим контролем і забезпеченням безпеки всіх операцій по всій довжині маршруту. Розклад руху рухомого складу повністю запрограмовано.

Частина апаратури системи управління розміщена на рухомому складі, а інша частина – на стаціонарних, нерухомих установках. Причому для обміну інформацією між окремими пристроями використовується волоконно-оптична лінія зв'язку. Уздовж шляху проходження рухомого складу розміщені радіощогли – так, що антени на рухомому складі надійно отримують сигнал у будь-який момент часу від двох розташованих поруч радіощогл. У процесі руху рухомого складу система управління порівнює задані в програмі локальні швидкості зі значеннями реально виміряних швидкостей і, за необхідності, здійснює відключення тягової потужності і включення гальм. Інформація про місцезнаходження рухомого складу передається за допомогою щільної хвилевідної лінії передачі на центральний пункт управління. Щільна хвилевідна лінія передачі забезпечує безконтактну передачу даних від екіпажу з високим ступенем надійності, незважаючи на погодні умови і електромагнітні перешкоди²⁷⁴. Команди з центрального пункту управління через оптоволоконний кабель подаються на перемикач, який замикається, що забезпечує надходження тягової потужності на відповідну секцію тягового приводу (двигуна). При цьому інформація про стан перемикача надходить на центральний пункт управління. Система управління Transrapid і подібні до неї забезпечують рух поїздів до швидкостей 400–500 км/год, але на сьогоднішній день вирішені далеко не всі питання стійкості

²⁷³ Там само.

²⁷⁴ Дзензерский В.А., Плаксин С.В., Погорелая Л.М., Толдаев В.Г., Шкиль Ю.В. Системы управления и энергообеспечения магнитолевитирующего транспорта. Киев: Наук. думка, 2014. 276 с.

магнітного підвісу²⁷⁵. Тому в ІТСТ НАНУ проводилися роботи щодо вдосконалення системи керування Maglev, яка після відповідної доробки може бути використана для Hyperloop.

3.3. Концептуальні напрями створення магнітного підвісу вакуумованого ВШНТ²⁷⁶

Ефект магнітної левітації є найбільш практично затребуваним наслідком закону електромагнітної інерції Ленца. Спосіб безконтактного обпирання транспортних засобів на дорожнє полотно упродовж усієї історії застосування магнітолевітаційних технологій реалізувався у двох схемах – магнітного притягнення до колійної структури і магнітного відштовхування. Схема притягнення являла собою єдину систему «Трансрапід», яка виявилася надмірно енерговитратною і поширення не отримала. Схема відштовхування реалізувалася у двох формах – електромагнітній та електродинамічній.

3.3.1. Огляд концептуальних принципів магнітолевітаційних технологій

Електромагнітний підвіс полягає у прямій взаємодії магнітів вагону з магнітами колії. Електродинамічна левітація отримана в практичній формі при відносному русі локального джерела магнітного поля над полотном дороги, виконаним з електропровідного матеріалу. Полотно може бути суцільним, виконаним у вигляді металевого листа, або дискретним, набраним у вигляді доріжки з короткозамкнених металевих контурів. Джерела магнітного поля можуть бути виконані з постійних магнітів, електромагнітів з нормальною провідністю або надпровідних магнітів.

При русі магнітів (рис. 3.7 а) у полотні під дією потоку магнітної індукції наводяться струми Фуко, причому вихори орієнтовані так, щоб витіснити силові лінії поля магніту з матеріалу полотна. Стиснення поля створює підйомну силу F_L , яка змушує джерело поля зависати над полотном.

²⁷⁵ Там само.

²⁷⁶ Підрозділ написаний за участю О.А. Буряка.

Електромагніти (рис. 3.7 б) при зближенні з полотном дають такий самий ефект, і сила левітації виникає теж від стиснення поля. Ці елементарні схеми підвісу не забезпечують стійкого прямолінійного руху екіпажу, оскільки, відповідно до теореми Ірншоу, система вільних магнітних зарядів позиційно нестійка.

Уперше ідея магнітного підвісу Дж.Р. Пауела та Г.Т. Денбі²⁷⁷ розроблена Г. Колмом і Р. Торнтоном у вигляді проекту конкретного пристрою типу Magneplane. Жолобоподібна конфігурація направляючої шляхової структури, що сполучена по кривій із циліндричним корпусом вагону, забезпечувала задовільну стабільність руху.

У сучасних транспортних засобах використовуються набагато складніші системи підвісу, так звані нуль-потоківі (рис. 3.8), виконані за ідеєю Г. Вега²⁷⁸, які гарантують екіпажу максимальну позиційну стійкість.

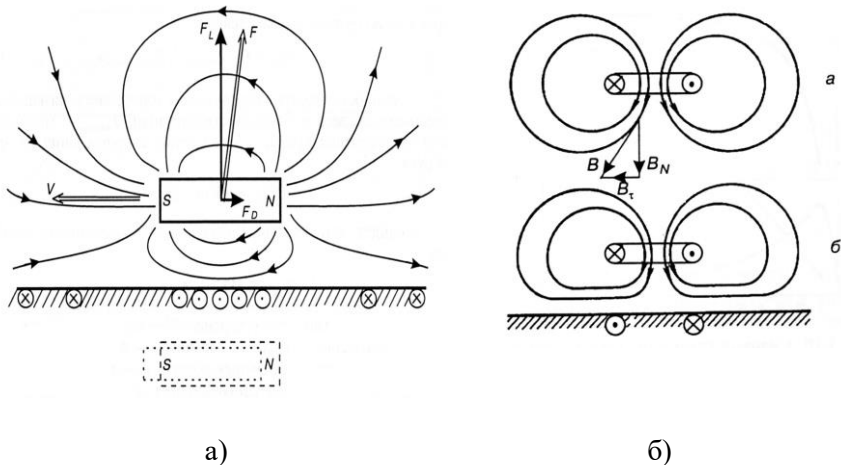


Рис. 3.7. Взаємодія рухомого постійного магніту (а) та електромагніту (б) з металевим листом

Джерело: ²⁷⁹.

²⁷⁷ Kolm H.H., Thornton R.D. The magneplane system. *Cryogenics*. July 1975. P. 377–384.

²⁷⁸ Weh H. Пат. 2412221 ФРГ BRD DE. Elektrodinamisches Tragund Führungssystem. Оpubл. 14.03.74.

²⁷⁹ Дзензерский В.А., Омеляненко В.И., Васильев С.В., Матин В.И., Сергеев С.А. Высокоскоростной магнитный транспорт с электродинамической левитацией. Киев: Наук. думка, 2001. 480 с.

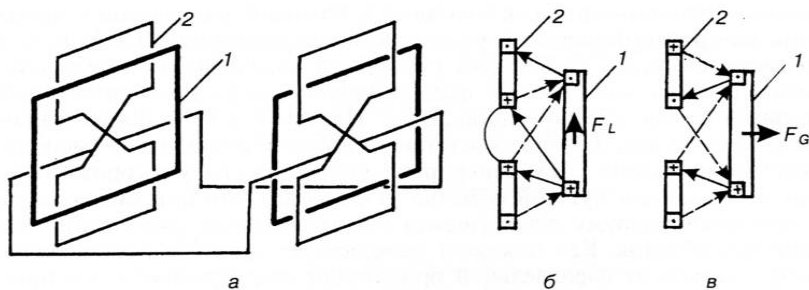


Рис. 3.8. Нуль-потоктова система підвісу

Джерело: ²⁸⁰.

Усі швидкісні транспортні системи типу Maglev (лінійки MLU, MLX та ін.) мають саме цей принцип настінного підвішування, при якому вагон рухається в каналі між магнітами. Екіпажі цієї лінійки транспортних засобів досягли при своєму розвитку рекордних швидкостей (до 600 км/год) і досі мають солідний технічний ресурс модернізації.

Подальшому зростанню швидкостей перешкождала наявність опору повітряного середовища. Спробу зняти цю проблему було здійснено у США в 1972–1981 рр. на експериментальній транспортній системі MEL ²⁸¹. Були досліджені її потенційні можливості з прокладенням шляху в підземному трубопроводі, де створюється розрідження повітря до 101 Па. Таке середовище у щільних шарах атмосфери на рівні землі планувалося фізично відтворити в обмеженому просторі герметичного трубопроводу. Система не була реалізована у повномасштабній формі, але послужила прототипом для сучасної системи Hyperloop.

У світовій практиці розробка концептуальних проєктів магнітолевітуючих поїздів мала два пікові періоди, що супроводжувалися максимальним інтересом як з боку наукових колективів, так і з боку громадськості. Це період 1972–1981 рр. і період, який почався з 2013 р. і продовжується до сьогодні.

²⁸⁰ Weh H. Пат. 2412221 ФРГ BRD DE. Elektrodinamisches Tragund Führungssystem. Опубл. 14.03.74.

²⁸¹ Дзензерский В.А., Омельяненко В.И., Васильев С.В., Матин В.И., Сергеев С.А. Высокоскоростной магнитный транспорт с электродинамической левитацией. Киев: Наук. думка, 2001. 480 с.

Магнітолевітаційні технології першого періоду запропонували нові та перспективні різновиди пасажирського «залізничного» транспорту типу Maglev. Вони відрізняються від традиційного колісного за рядом важливих параметрів, які останнім часом стали пріоритетними. Головні з них – екологічна чистота, мала гучність, комфортність і висока швидкість руху.

Електродинамічний підвіс із використанням надпровідних магнітів піднімає екіпаж над полотном на висоту 200–250 мм. Такий зазор (кліренс) усуває небезпеку дотику днища екіпажу з полотном при автоколиваннях і здешевлює шляхову структуру.

3.3.2. Магнітолевітаційна технологія Inductrack

Поява постійних супермагнітів (самарій-кобальтових, а потім залізо-неодимових), що мають високу стійкість до розмагнічування, давало величину кліренсу всього лише в сантиметровому діапазоні. Ситуацію вдалося виправити за допомогою збірок типу array Halbach (масивів Хальбаха), які збільшили кліренс у кілька разів. На їх базі фізик Річард Пост у Ліверморській національній лабораторії розробив магнітолевітаційну технологію Inductrack. Реалізувати її стало можливим за поєднання трьох чинників: використання супермагнітів на базі рідкоземельних металів (типу NdFeB), особливого типу укладання брусків – у вигляді масивів Гальбаха та виконання шляхової структури у вигляді доріжки щільноупакованих короткозамкнених металевих контурів.

Особливі конфігурації укладання постійних супермагнітів, відомих як масиви Хальбаха, – це контактні збірки з магнітів за різними схемами відносних поворотів векторів намагніченості. Укладки з примусово зсунутих поляризованих брусків дають ефект зміни сумарного розподілу потоку індукції. В результаті – з одного боку, дифузія магнітного поля набагато збільшується, а з іншого – настільки ж зменшується (рис. 3.9).

Архітектура магнітного вузла підвісу Inductrack наведена на рис. 3.10. Вузол займає мало місця і генерує сильне магнітне поле. Кліренс левітації досягає 10 см.

Дослідження способів збільшення швидкості руху транспортних засобів за рахунок зняття в'язкого опору повітря проводяться давно. Перші у світі досліди із переміщенням тіла у вакуумованій трубі

за рахунок електромагнітного поля поставив у 1914 р. Б. Вейнберг²⁸². Однак це були тільки лабораторні експерименти.

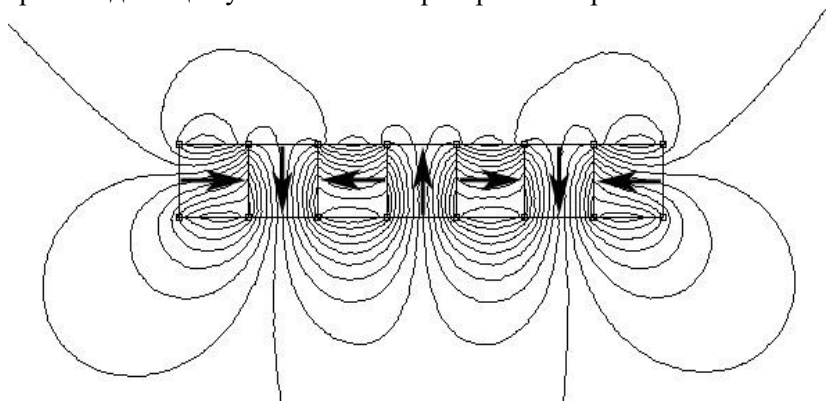


Рис. 3.9. Розподіл потоку магнітної індукції навколо масиву постійних магнітів Хальбаха

Джерело: ²⁸³.

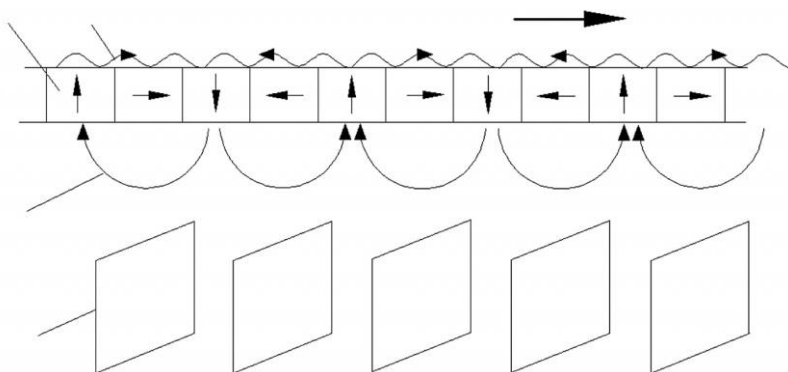


Рис. 3.10. Схема вузла магнітного підвісу Inductrack

Джерело: ²⁸⁴.

²⁸² Вейнберг Б.Л. Движение без трения (безвоздушный электрический путь). Санкт-Петербург: книгоиздательство «Естествоиспытатель». 1914. URL: http://veinberg.o7.ru/pdf/no_friction_motion.pdf

²⁸³ Inductrack / Wikipedia. URL: <https://en.wikipedia.org/wiki/Inductrack>

²⁸⁴ Там само.

3.3.3. Порівняння за швидкісним показником існуючих швидкісних транспортних систем та інноваційної системи Hyperloop

Перший патент на Evacuated Tube Transport Technologies було отримано лише в 1999 р. американським інженером Дерілом Остером. Поява в останнє десятиліття (з 2013 р.) ідеї технології Hyperloop²⁸⁵ зумовила інтеграцію приватних технологій, придатних для його реалізації.

Проект Hyperloop на магнітній подушці є граничним втіленням ідеї швидкісного переміщення транспортних засобів. Розробники планують досягти звукових швидкостей руху (1200 км/год і більше) у форвакуумному середовищі, що створюється в герметичній трубі. Магістраль виконується зі сталевих труб (рис. 3.11а). Вона здатна пропускати капсули, варіант конкретного виконання яких показаний на рис. 3.11б²⁸⁶. Однак слід зауважити, що швидкість пасажирських перевезень не є єдиним і визначальним параметром транспортної системи. Будь-яку транспортну систему характеризує сукупність майже рівноцінних параметрів, таких як: комфортність, безпека, рентабельність і швидкість.

Швидкісні показники діючих пасажирських швидкісних ліній наразі такі.

1. Shinkansen (Сінкансен, Японія, траса Токіо – Осака). Максимальна швидкість – 581 км/год (магнітний підвіс), експлуатаційна швидкість становить 320 км/год.

2. TGV POS (Франція), колісна підвіска. Робоча швидкість – 320 км/год, максимальна швидкість – 575 км/год.

3. Maglev Train (магнітний підвіс), Китай (розробник – Німеччина), траса Шанхай – аеропорт. Максимальна швидкість – 501 км/год, робоча – 431 км/год.

4. CRH380A Китай (колісна підвіска), траса Шанхай – Ханчжоу. Експлуатаційна швидкість – 380 км/год, максимальна швидкість – 486 км/год.

²⁸⁵ Подземный космос: вакуумные поезда. *Популярная механика*. URL: <https://www.popmech.ru/technologies/12685-podzemnyy-kosmos-vakuumnyy-poezda/#part2>

²⁸⁶ Hyperloop представила первую в мире сверхскоростную пассажирскую капсулу. 03.10.2018. URL: <https://www.obozrevatel.com/tech/news/hyperloop-predstavila-pervuyu-v-mire-sverhskorostnuyu-passazhirskuyu-kapsulu.htm>

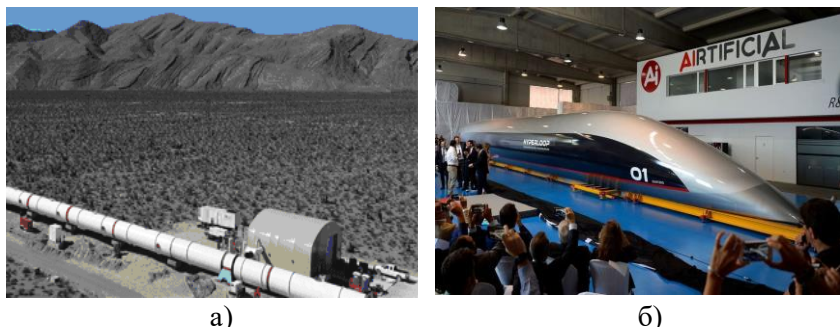


Рис. 3.11 Тестова ділянка траси Hyperloop (а) та аеродинамічний макет капсули Quintero One (б)

Джерело: ²⁸⁷.

Аналіз технічних параметрів зазначених транспортних систем дає змогу зробити такі висновки: привертає увагу велика різниця між робочими і максимальними (технічно досяжними) швидкостями руху. Причому це стосується як транспортних засобів з магнітним підвісом, так і колісних модифікацій. Так, японська транспортна система «Сінкансен» здатна розвивати рекордну швидкість 581 км/год, а експлуатаційна крейсерська швидкість не перевищує 320 км/год. Різниця величезна – понад 260 км/год. Для системи TGV POS різниця відповідних швидкостей становить 255 км/год, для системи Maglev Train – 70 км/год, для системи CRH380A – 106 км/год тощо. Тенденція однакова і характерна.

Безперервне підвищення технічних можливостей систем не усуває різниці між максимально досяжною і робочою швидкостями. Швидкістю жертвують заради оптимізації інших важливих параметрів поїзда, таких як безпека пасажирів, комфортабельність тощо. Береться до уваги навіть фактор погіршення якості життя в житловому секторі, який розташований поблизу траси, внаслідок шуму руху поїздів.

Розвиток різних видів шляхів сполучення відбувався за альтернативними стратегіями. Зауважимо, до речі, що історія модернізації всіх видів пасажирського транспорту підпорядкована одній

²⁸⁷ Hyperloop представила перву в мире сверхскоростную пассажирскую капсулу. 03.10.2018. URL: <https://www.obozrevatel.com/tech/news/hyperloop-predstavila-pervuyu-v-mire-sverhskorostnuyu-passazhirskuyu-kapsulu.htm>

закономірності: коли за рахунок наукових розробок якийсь із видів транспортних засобів отримує технічну можливість істотного нарощення максимальної швидкості, то при високій швидкісній межі поступово визначається практичний діапазон оптимальних швидкостей, в якому всі параметри (технічні, економічні, соціальні, екологічні та ін.) гармонійно узгоджуються. Цей діапазон, як правило, буває вузьким і досить далеким від технічного максимуму, а подальша модернізація транспортних засобів цього класу спрямована в напрямі підвищення комфортності (розширення особистого життєвого простору кожного пасажира, підвищення рівня побутових зручностей, полегшення доступності засобів зв'язку та ін.). Крім цього, нарощування швидкості в усіх розвинених транспортних системах показує, що для кожної з них існує певна психотехнічна швидкісна межа, після якої система стає об'єктом особливого призначення, – тобто перестає бути транспортним засобом масового користування. Надшвидкісні автомобілі та плавзасоби переходять у розряд спортивних (гоночних) болідів, літальні апарати беруть на озброєння військові, а залізничний транспорт просто раціонально обмежує робочу швидкість за сукупністю причин.

В історії розвитку авіації існує показовий у цьому сенсі прецедент. В кінці 60-х років минулого століття на лінії вийшли два надзвукові пасажирські лайнери: британо-французький Конкорд (1969 р.) та радянський Ту-144 (1968 р.)²⁸⁸. Крейсерські швидкості машин становили 2500 км/год і 2200 км/год відповідно. При їх експлуатації на граничних швидкостях виявлено такі недоліки:

- по-перше, втричі збільшується питома витрата пального на пасажира порівняно зі звичайними «Боїнгами»;
- по-друге, шум у салоні сягає травматичного рівня;
- по-третє, виникає небезпечний розігрів обшивки літака, який може бути зменшений тільки системою примусового охолодження.

Таким чином, швидкість руху надзвукових літальних апаратів оплачується надмірним збільшенням конструкційної складності, падінням технічної надійності та зниженням комфортності. Усі

²⁸⁸ Бодрихин Н.Г. Великие самолеты мира. 100 историй о крылатых машинах, изменивших авиацию. Москва: Центрполиграф, 2012. 256 с.

зазначені причини призвели до того, що ера надзвукової пасажирської авіації закінчилася. «Конкорди» були витіснені у військову сферу, а на ринку послуг їх замінили комфортабельні, безпечні та набагато більш економічні «Боїнги». Важливо, що оптимальною швидкістю для збалансованих за всіма параметрами авіалайнерів встановилася зовсім далеко від рекордних показників, «скромна» швидкість у 900–950 км/год. За всіх вдосконалень літальних апаратів вона є стандартною і наразі дає можливість узгоджувати та оптимізувати увесь спектр їх технічних характеристик, включаючи й злітно-посадочні проблеми.

У системі Hyperloop зроблено остаточний логічний хід – зняття втрат енергії на тертя у вузлах спірання і на опір повітряного середовища. Для цього на рівні землі у замкнутому просторі труби створено умови стратосфери (0,01 атм) і навіть ближнього космосу (0,001 атм). Компонування типу «герметична капсула у вакуумованій трубі» фактично опускає ближній космос на землю. Транспортний засіб (капсула) стає за фактом ракетою, що укриває пасажирів від абсолютно смертельного середовища, що штучно створюється у трубі. Виникає логічна пастка: максимальна швидкість руху оплачується максимальною втратою безпеки.

Таким чином, Hyperloop стоїть особно – як граничне втілення однієї швидкісної тенденції. Він відразу вийшов у сферу, де поки що не може автоматично стати загальнодоступним пасажирським транспортом, а тільки екзотичним і дорогим засобом переміщення тіл.

Усі перераховані вище аргументи, перенесені на споріднену описану транспортну систему Hyperloop, дозволяють з великою часткою впевненості стверджувати, що в результаті еволюціонування оптимальна комерційна швидкість капсул цієї системи у складі єдиної транспортної системи буде істотно нижчою за теоретичну, отриману з урахуванням лише її технічних можливостей.

3.3.4. Проблеми укладання траси Hyperloop, пов'язані з особливостями ландшафту

Будь-яка кривизна траси при гіперзвукових швидкостях небезпечна, оскільки в цьому випадку велику проблему становить компенсація відцентрових сил. Природно, що без криволінійних ділянок на реальній місцевості обійтися неможливо, але в такому

випадку ці ділянки повинні оптимізуватися за трьома параметрами, такими як:

- швидкість руху капсули на криволінійній ділянці;
- енерговитрати;
- протяжність ділянки.

За будь-яких варіантів вирішення проблеми руху криволінійною ділянкою траси енерговитрати завжди будуть пропорційні швидкості проходження повороту і радіусу заокруглення траси. А збільшення радіусу кривизни для уведення поперечних навантажень у їх оптимальний діапазон (0,1–0,15g) подовжує час дії цих навантажень. Таким чином, велика кількість заокруглень у лінії прокладки призведе до занадто істотного падіння середньої швидкості руху капсули по всій довжині траси і до збільшення енерговитрат на роботу блоків корекції траєкторії на заокругленнях.

Як вихід убачається:

- виконання траси окремими прямолінійними ділянками, тобто повна траєкторія руху виконується у вигляді ламаної лінії;
або
- перенесення доріжки підвісу (і, відповідно, тяги) на бічну стінку.

За другого способу вирішення проблеми слід враховувати, що відхилення салону від вертикалі може стати значним при великій кривизні поворотів.

Незважаючи на зрозумілу поки незрілість системи Hyperloop і зростаючий тестовий список її недоліків, зусилля щодо її доведення здаються продуктивними. Судячи з ентузіазму, з яким транспортна система Hyperloop наразі упроваджується в єдину транспортну систему, вона може досить швидко стати каталізатором нових цільових досліджень практичного характеру, що можуть зумовити прискорення прогресу наземних засобів пересування. А прийнята до впровадження у силових вузлах (левітації і тяги) Hyperloop система підвісу Inductrack уже зараз має чудові характеристики і абсолютно чутлива до подальшої модернізації.

3.4. Концептуальні напрями забезпечення і контролю герметичності ВШНТ проєкту Hyperloop²⁸⁹

3.4.1. Загальні проблеми контролю герметичності вакуумованих систем

Проблема забезпечення та контролю герметичності конструкцій, які застосовуються у вакуумованих ВШНТ, полягає в тому, що вирішувати питання, пов'язані зі ступенем герметичності, необхідно при виявленні міні-течій на великих об'ємах; при важкодоступності зовнішньої поверхні герметичних виробів.

До того ж ця проблема загострюється необхідністю відповідності технологій контролю герметичності певним вимогам:

- за часом проведення контролю;
- за продуктивністю операцій контролю;
- за пожежонебезпечністю; екологічністю;
- за відповідністю новим європейським (EN) стандартам та

Міжнародним правилам охорони навколишнього середовища.

В аерокосмічній галузі та авіації втрату герметичності корпусу або будь-якої системи літального апарату прийнято називати розгерметизацією, що може бути: штатною (при проведенні технічних робіт) або аварійною (що виникла непередбачено внаслідок технічного дефекту – внутрішнього або зовнішнього впливу).

Надзвичайна небезпека аварійної розгерметизації обумовлена порушенням значною мірою функцій усієї системи, що може призвести до людських жертв. Аварійну розгерметизацію можуть викликати такі чинники:

а) внутрішні:

- виробничі дефекти, за яких герметичні елементи не витримують експлуатаційні навантаження;
- «людський фактор», який пов'язаний з діями обслуговуючого персоналу, екіпажу та пасажирів, що призвів до порушення герметичності системи;

б) зовнішні:

- позаштатна ситуація, за якої навантаження на систему виявляються вищими, ніж розрахункові значення;

²⁸⁹ Підрозділ написаний за участю С.М. Пономаренка.

– порушення герметичності стороннім предметом.

Багато теоретичних та практичних аспектів контролю герметичності виробів у сфері неруйнівного контролю передбачають вирішення питань тільки пошуку протікання²⁹⁰ із посиланням на відповідні нормативні документи. Однак необхідно враховувати те, що сутність контролю герметичності – визначити, чи герметичний виріб, а пошуку протікання – визначити місце протікання (наскрізного дефекту). Ці два моменти передбачають:

- для герметичного виробу (сумарна герметичність) – відсутність необхідності в пошуку протікання (локальна герметичність);
- при контролі малогабаритних і дешевих виробів застосування пошуку протікання недоцільне через великі фінансові витрати на його проведення.

Таким чином, необхідно розділяти поняття сумарної та локальної герметичності, визначення яких залежить від необхідності реєстрації пробної речовини безпосередньо в місцях протікання, якщо вони відомі.

Порушення герметичності виробів, яке пов'язане з порушенням щільності з'єднань виробів, залежить від характеру стикування окремих елементів, виду та фізико-механічних властивостей еле-

²⁹⁰ Евлампиев А.И., Попов Е.Д., Сажин С.Г. Контроль герметичности. *Неразрушающий контроль*: справочник. Т. 2. Книга 1 / под редакцией В.В. Клюева. Москва: Машиностроение, 2003. С. 1–339;

Гурвич А.К., Ермолов И.Н., Сажин С.Г. *Неразрушающий контроль. Неразрушающий контроль*: справочник. Книга 1: Общие вопросы. Контроль проникающими веществами. Москва: Высшая школа, 1992. 242 с.;

Справочник по дефектоскопии сварных швов / Троицкий В.А., Боровиков А.С., Радько В.П. Київ: Техніка, 1987. 126 с.;

Средства контроля герметичности / под ред. А.С. Зажигина. Т. 13. Москва: Машиностроение, 1976. ;

Левина Л.Е., Сажин С.Г. Манометрический метод контроля герметичности. *Дефектоскопия*. 1980. № 11. С. 4551;

Неразрушающий контроль: справочник: в 8-ми т. / под общ. ред. В.В. Клюева. Том 2: в 2-х книгах. Книга 1: Контроль герметичности / Евлампиев А.И., Попов Е.Д., Сажин С.Г. и др. Книга 2: Вихретоковый контроль / Федосенко Ю.К., Герасимов В.Г., Покровский А.Д. и др. 2-ое издание, испр. Москва: Машиностроение, 2006. 688 с.

ментів ущільнювачів. За походженням порушення щільності з'єднань і дефекти зварних з'єднань можуть бути:

– первинними, що отримані при виготовленні та складанні виробу;

– вторинними, що отримані за рахунок температурних або втомливих порушень цілісності, а також пошкоджень, викликаних дією вібраційного навантаження, сейсмічним та іншим впливом.

Аналіз найбільш часто вживаних методів контролю герметичності показує, що вирішити головне завдання контролю – оцінити ступінь герметичності виробу загалом – дає змогу тільки один манометричний метод контролю. Однак, з огляду на те, що поріг чутливості цього методу безпосередньо залежить від вільного об'єму об'єкта контролю, можливості практичної реалізації методу істотно обмежені. Наприклад, до залізничних цистерн висуваються норми герметичності порядку (10^{-2} – 10^{-3}) Вт, а найбільш відомі способи манометричного методу контролю дозволяють оцінити ступінь герметичності в межах (10^2 – 10^3) Вт. У цьому випадку можливі величезні втрати і низька безпека при зберіганні та транспортуванні хімічних, канцерогенних, енергетичних та інших матеріалів.

Ще одним з основних аспектів, які обмежують можливості манометричного методу контролю герметичності, є вплив термодинамічних процесів, які відбуваються в об'єкті контролю, на чутливість, достовірність і продуктивність контролю. Це обумовлено насамперед неможливістю підтримання сталості температури в атмосферних умовах (особливо при контролі герметичності трубопроводів та інших великих об'єктів).

Незважаючи на специфічні особливості манометричного методу контролю герметичності, які знижують його переваги, він, як і раніше, залишається найбільш привабливим у сенсі промислового застосування, з огляду на його простоту та технологічність.

Однією з проблем у питанні контролю герметичності систем ВШНТ є те, що виробу можуть бути як замкнуті (закупорена транспортна капсула), так і незамкнуті (трубопровід). При цьому в замкнутому виробі в його порожнині неможливо створювати надлишковий тиск від зовнішнього джерела без порушення цілісності виробу.

Актуальність і гострота проблеми контролю герметичності замкнутих виробів загострюється такими факторами:

- задля умов забезпечення безпеки та якості продукції необхідний контроль герметичності цих виробів;
- більшість герметизованих виробів, які застосовуються в системах ВШНТ, не можуть бути піддані прямому неруйнівного контролю герметичності.

Концептуальні напрями в питаннях забезпечення та контролю герметичності ВШНТ типу Hyperloop повинні орієнтуватися на рішення проблем подібного роду відносно виробів ракетно-космічної галузі та технологічних трубопроводів.

У ракетно-космічній галузі вимоги за ступенем герметичності (розмірність відповідно до чинних нормативних документів береться в позасистемних одиницях: л·мкм рт. ст./с) приладового відсіку корпусу космічного апарату (КА), визначаються припустимим спадом тиску контрольного газу (азоту) в ньому від тиску заправки до мінімально допустимого тиску, за якого гарантується працездатність апаратури у відсіку. Ступінь допустимої негерметичності гермовідсіків прийнято визначати, використовуючи загальноприйняту у вакуумній техніці формулу²⁹¹:

$$\Delta \leq V_{\text{в}} \frac{P_{\text{в,п}} - P_{\text{в,к}}}{\tau K_3},$$

де Δ – витік газу з виробу, л·мкм рт. ст./с;

$V_{\text{в}}$ – об'єм вільної порожнини виробу, куб. м;

$P_{\text{в,п}}$ та $P_{\text{в,к}}$ – абсолютний тиск газу у виробі відповідно на початку та у кінці випробувань, Па;

τ – час випробувань, сек;

$K_3 \geq 3$ – коефіцієнт запасу.

Як правило, для всіх видів ракетно-космічної техніки номінальний тиск заправки корпусу космічного апарату (КА) на політ,

²⁹¹ Волошин А.И., Булат А.Ф., Пономаренко С.Н., Губенко Д.И., Кутумов И.В. Прецизионные средства контроля герметичности. Мариуполь: Східний видавничий дім, 2016. 246 с.;

Вакуумная техника: справочник / под общ. ред. Е.С. Фролова, В.Е. Минайчева. Москва: Машиностроение, 1985. 134 с.

приведений до температури 20 °С, приймається рівним 0,125 МПа. Цей тиск забезпечує:

- мінімальну вагу оболонки гермовідсіків КА;
- запобігання сплющуванню оболонки при зниженні температури зовнішнього середовища у процесі транспортування та зберігання КА при температурі до мінус 50°С.

Згідно з прийнятими стандартами тиск перевірки герметичності приборних відсіків КА приймають рівним від 0,12 МПа до 0,14 МПа, а величину допустимої сумарної негерметичності – в межах від 0,5 л·мкм рт. ст./с до 2 л·мкм рт. ст./с.

У роботі²⁹² показано, що для виробів ракетно-космічної галузі найбільш точним є мас-спектрометричний метод контролю з використанням як індикаторного газу гелію, а найбільш «грубим» за чутливістю є метод щодо «спаду тиску», який обумовлено:

- величиною допустимого спаду тиску за час витримки;
- точністю контролю і необхідністю визначення середньої за об'ємом температури газу у виробі.

Основним недоліком манометричного методу контролю герметичності є те, що допустима величина спаду тиску – через свою малу величину – з високим ступенем імовірності може бути скомпенсована підвищенням температури газу у виробі за час витримки. Цей висновок впливає із рівняння газового стану, записаного для ізохорного процесу²⁹³:

$$\Delta P_{\text{в}} = P_{\text{в,п}} \cdot \frac{\Delta T_{\text{в}}}{T_{\text{в,п}}},$$

де $\Delta P_{\text{в}}$ – величина перепаду тиску газу у виробі, Па;

$\Delta T_{\text{в}}$ – зміна температура газу в виробі, К;

²⁹² Волошин А.И., Булат А.Ф., Пономаренко С.Н., Губенко Д.И., Кутумов И.В. Прецизионные средства контроля герметичности. Мариуполь: Східний видавничий дім, 2016. 246 с.

²⁹³ Кухлинг Х. Справочник по физике. Москва: Мир, 1985. 519 с.;
Болгарский А.В. Термодинамика и теплопередача: учебник для вузов. Изд. 2-ое, переработ. и доп. / Болгарский А.В., Мухачев Г.А., Щукин В.Г. Москва: Высшая школа, 1975. 495 с.;
Карабин А.И. Сжатый воздух: выработка, потребление, пути экономии. Москва: Машиностроение, 1964. 344 с.

$T_{в,п}$ – температура газу у виробі на початку випробувань.

Допустима похибка вимірювання температури газу (або її зміна за час витримки) у виробках ракетно-космічної техніки при контролі на герметичність методом спаду тиску дорівнюватиме²⁹⁴:

$$\Delta T_{в} = \sigma_T \frac{T_{в,п} \tau}{P_{в,п} V_{в}} \Delta,$$

де σ_T – похибка визначення негерметичності виробу за рахунок похибки вимірювання температури газу у виробі, що, як правило, приймається рівною 0,3.

Таким чином, підвищення точності визначення ступеня негерметичності виробів за спадом тиску можливо за:

- термостабілізації всього виробу загалом, що вимагає значних капітальних вкладень і не завжди прийнятне для виробів великих об'ємів;
- корекції змін тиску газу у виробі за вимірюваннями середньої за об'ємом (середньо інтегральної) температури газу у виробі з високою точністю.

Існуючі та ті, що застосовуються на практиці, методи вимірювання середньої температури газового середовища поділяються:

- на багаточисленні системи;
- системи, що сканують;
- системи, що візуалізують теплові поля;
- ультразвукові вимірювачі середньої температури.

Багаточисленні системи передбачають застосування великої кількості термодатчиків, які необхідно розмістити в неоднорідному і нестационарному тепловому полі, при цьому:

- оптимальний розподіл термодатчиків у досліджуваному об'ємі досить складний і не завжди можливий;
- пристрій обробки інформації, що одержується з термодатчиків, досить складний і не може забезпечити високу точність вимірювання.

²⁹⁴ Волошин А.И., Булат А.Ф., Пономаренко С.Н., Губенко Д.И., Кутумов И.В. Прецизионные средства контроля герметичности. Мариуполь: Східний видавничий дім, 2016. 246 с.

Системи, які сканують, мають складну оптико-механічну систему, вимагають використання низьких температур, що обмежує сферу їх застосування.

Системи візуалізації теплових полів використовуються в основному для контролю теплового стану поверхні досліджуваного об'єкта.

В ультразвукових вимірниках середньої температури середня температура між джерелом і приймачем ультразвукових коливань визначається у вузькому просторі, обмеженому областю поширення ультразвукового променя.

Найбільш перспективним методом точного вимірювання середньої температури газового середовища в замкнутому просторі є акустичний резонансний метод, заснований на класичних законах термодинаміки, які встановлюють зв'язок між швидкістю звуку в газі та температурою.

Відповідно до розробленого свого часу «Галузевого стандарту ОСТ 92-4291-75. Методи гідравлічних і пневматичних випробувань виробів на міцність і герметичність» контроль герметичності за перепадом тиску вимагає витримки виробу під тиском не менше 10 діб для гарантованого терміну експлуатації випробуваного об'єкта до 10 років. Природно, що такі вимоги не завжди прийнятні та часто себе не виправдовують, особливо якщо необхідно з високою точністю оцінити досить малий витік із досить великого об'єму.

3.4.2 Деякі існуючі технічні засоби і технології контролю герметичності вакуумованих систем

Найбільший розвиток системи контролю герметичності в колишньому Радянському Союзі отримали в середині 1971 р. у космонавтиці – після трагічної загибелі радянських космонавтів, пов'язаної із розгерметизацією апарату, що спускався. Через це на кораблі типу «Союз» була поставлена терміново розроблена система контролю герметичності Дюза, а до складу орбітальних космічних станцій типу «Мир» уведено сигналізатор тиску ДСД, що також входили до складу кораблів типу «Союз» і орбітальних станцій. Надалі для космічних апаратів «Союз-ТМ» і «Прогрес-М» були створені системи контролю герметичності «Аргус» і «Камера». Для контролю герметичності та пошуку місць можливого витіку з розрахунком величини витіку був розроблений комплекс «Паскаль»,

де застосовано п'єзореzonансний датчик «Кварц», який вимірює тиск і температуру²⁹⁵.

Відносно вакуумованих (технологічних) трубопроводів слід зауважити, що їх випробування на герметичність можуть бути гідравлічними або пневматичними²⁹⁶.

Необхідно враховувати, що пневматичні випробування технологічних трубопроводів заборонені на естакадах, у каналах і лотках, в яких укладено трубопроводи.

Місця порушення герметичності в наземних технологічних трубопроводах при пневматичних випробуваннях виявляють за допомогою обмазування мильним або іншим розчином, галюїдним протікошукачем та іншими доступними методами контролю герметичності.

Особливістю пневматичних випробувань трубопроводів є те, що при витримці трубопроводу під тиском необхідний постійний контроль за показаннями манометра і при підвищенні тиску за рахунок нагріву трубопроводу (наприклад, сонячними променями) необхідно знижувати тиск випуском частини газу.

Ключовим моментом у питаннях контролю герметичності технологічних (вакуумованих) трубопроводів є відсутність єдиного нормативного документу, що регламентує технологію оцінки ступеня герметичності подібного виду виробів. Так, особливе місце серед технологічних трубопроводів займають трубопроводи систем газопостачання, які випробовують на герметичність відповідно до своєї нормативної документації²⁹⁷.

²⁹⁵ Рабинович Б.А., Юревич Е.И. Системы измерения и контроля параметров газовых и жидких сред на космических аппаратах. *Научно-технические ведомости СПбГПУ*. 2013. № 1. С. 139–143.

²⁹⁶ СНиП 2.04.02-84. Строительные нормы и правила. Водоснабжение. Наружные сети и сооружения. URL: <http://www.ukrgazkom.com.ua/assets/files/normative/2.04.02;>

СНиП 3.05.04-85. Строительные нормы и правила. Наружные сети и сооружения. Водоснабжение и канализация. URL: <http://www.ukrgazkom.com.ua/assets/files/normative/3.05.04>

²⁹⁷ СНиП 3.05.02-88. Строительные нормы и правила. Газоснабжение. URL: http://www.oхранatruda.ru/ot_biblio/normativ/data_normativ/2/2014/index.php

3.4.3. Роботи ІГТМ НАН України у сфері контролю герметичності

З огляду на обставини, що склалися у сфері контролю герметичності, та актуальність питання розробки високоточних, принципово нових, економічно ефективних, простих у виготовленні та обслуговуванні та надійних в експлуатації засобів високоточного контролю герметичності виробів і систем, ІГТМ НАН України протягом тривалого періоду часу виконував дослідження зі створення техніки та технології визначення із високою точністю ступеня фактичної величини сумарної негерметичності різних порожнистих виробів без використання індикаторних газів, вакуумних камер і контрольних течій.

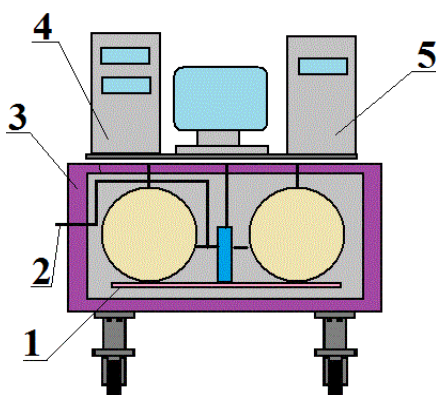
Концептуальний підхід при розробці пристрою прецизійного контролю герметичності порожніх виробів полягає у використанні розробленого в ІГТМ НАН України методу фіксування об'ємів (рис. 3.12), який заснований на інваріантності масової величини витоку газу з випробуваної судини через течію капілярного типу щодо температури та тиску зовнішнього повітряного середовища. У пристрої контролю герметичності за методом фіксування об'ємів (ПКГФ) контроль герметичності виконується в закритому об'ємі термостата із розміщенням у ньому компенсаційної та еталонної ємностей однакового об'єму і встановленим між ними диференціальним датчиком тиску²⁹⁸.

²⁹⁸ Волошин А.И. Основные достижения в области геотехнологий, систем трубопроводного пневмотранспорта, теплоэнергетики и контроля герметичности полых изделий. *Геотехническая механика*: межвед. сб. науч. тр. / ИГТМ НАНУ. Днепропетровск, 2012. Вып. 100. С. 79–91; Волошин А.И., Булат А.Ф., Пономаренко С.Н., Губенко Д.И., Кутумов И.В. Прецизионные средства контроля герметичности. Мариуполь: Східний видавничий дім, 2016. 246 с.; Свідоцтво № 51675 про реєстрацію авторського права на твір наукового характеру «Техніка та технологія визначення ступені негерметичності замкнутого об'єму, що знаходиться під надлишковим тиском» / Волошин О.І., Булат А.Ф., Пономаренко С.М., Губенко Д.І. Зареєстровано Державною службою інтелектуальної власності України 10.10.2013 р.;

Bulat A., Voloshyn O., Ponomarenko S., Gubenko D. New-generation technique and technology for leakage tests. *Annual Scientific-Technical Collection «Mining of Mineral Deposits»* / VII International scientific-practical



Рис. 3.12 Зовнішній вигляд базової моделі ПКГФ



1 – пневмоблок; 2 – штуцер для підключення випробуваного виробу;
3 – термостат; 4 – електронний блок вимірювання; 5 – ПК.

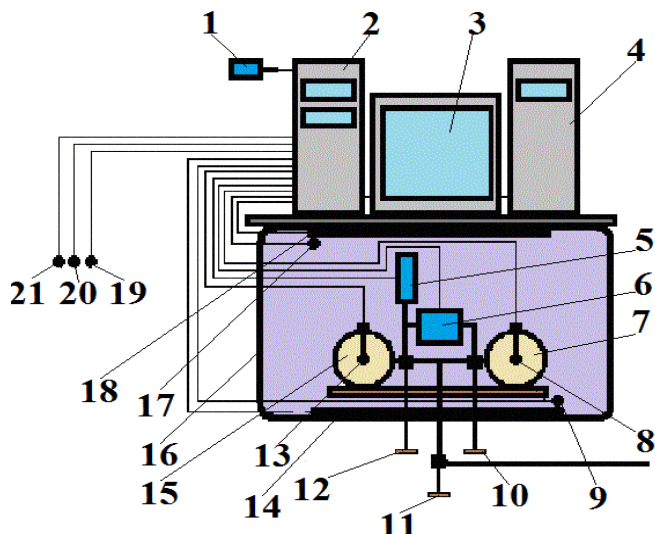
Рис. 3.13 Принципова схема базової моделі ПКГФ

Джерело: ²⁹⁹.

Базова модель ПКГФ (рис. 3.12 та 3.13) складається з розміщеного в термостаті пневмоблока 1 зі штуцером 2 для підключення випробуваного виробу, термостата 3, електронного блоку вимірювання 4 і персонального комп'ютера (ПК), мережевих і сполучних кабелів. Блок-схема ПКГФ представлена на рис. 3.14.

conference «School Underground Mining». Netherlands: CRC Press / Balkema, 2013. P. 1–4.

²⁹⁹ Волошин А.И., Булат А.Ф., Пономаренко С.Н., Губенко Д.И., Кугузов И.В. Прецизионные средства контроля герметичности. Мариуполь: Східний видавничий дім, 2016. 246 с.



1 – датчик барометричного тиску RPT 410F; 2 – електронний блок вимірювання; 3 – монітор ПК; 4 – системний блок ПК; 5 – датчик абсолютного тиску RPT 200 STANDART; 6 – диференційний датчик тиску LPM 9481; 7 – компенсаційна або вимірювальна ємність; 8 – датчик температури вимірювальної ємності ПКЧТ; 9 – датчик температури нагрівального елемента нижнього ПКЧТ; 10, 11 і 12 – запірні вентиля; 13 – датчик температури еталонної ємності ПКЧТ; 14 – нагрівальний елемент нижній; 15 – еталонна ємність; 16 – термостат; 17 – датчик температури нагрівального елемента верхнього; 18 – нагрівальний елемент верхній; 19, 20 і 21 – датчики температури ПКЧТ вимірювання температури в трьох точках на вході в пневмоблоці та на випробуваному об'єкті.

Рис. 3.14. Блок-схема базової моделі ПКГФ

*Джерело:*³⁰⁰.

Основним елементом базової моделі ПКГФ є пневмоблок (рис. 3.12–3.15), розміщений в термостаті. Пневмоблок складається з еталонної ємності 15, вимірювальної ємності 7, диференціального датчика перепаду тиску 6, сполучних трубопроводів, трьох клапанів вакуумних 10, 11, 12 (рис. 3.14). Усі елементи пневмоблока зібрані на напрямних.

³⁰⁰ Там само.



Рис. 3.15. Загальний вигляд пневмоблока базової моделі ПКГФ

*Джерело:*³⁰¹.

Еталонна ємність 15 (рис. 3.14) призначена для фіксування параметрів газу (тиску та температури) у випробуваному виробі на початку випробувань і збереження цього стану в процесі виконання вимірювань. Вона представляє собою виконаний з міді посудину Дьюара, що має два штуцери для під'єднання трубопроводу і для установки в його внутрішню порожнину датчика температури 14. Вимірювальна ємність 7 (рис. 4.14) призначена для фіксування параметрів газу (тиску та температури) у випробуваному виробі у процесі виконання вимірювань. Вона виконана аналогічно еталонній ємності.

Термостат 16 ПКГФ (рис. 4.14) виконаний у вигляді мідного циліндра з кришками і має два нагрівальні елементи 14 і 18 опором 5 Ом. Він встановлений у корпус із зазором і заповнений утеплювачем з мінеральної вати. Призначення термостата – забезпечувати підтримання сталості заданої температури у внутрішній порожнині корпусу з точністю $\pm 0,1$ °С. Робота термостата здійснюється в автоматичному режимі й управляється електронним блоком вимірювання.

Електронний блок вимірювання 2 (рис. 3.14) складається з блоку вимірювання температур, блоку вимірювання тиску, управління

³⁰¹ Волошин А.И., Булат А.Ф., Пономаренко С.Н., Губенко Д.И., Кугузов И.В. Прецизионные средства контроля герметичности. Мариуполь: Східний видавничий дім, 2016. 246 с.

термостатом, блоку обробки та аналізу інформації із подальшою її передачею на жорсткий диск ПК.

Блок вимірювання температури (рис. 3.14) забезпечує вимірювання температури усередині еталонної 15 і вимірювальної 7 ємностей, на нагрівачах термостата 14, 18, а також температури газу на вході у пневмоблок і в двох точках на об'єкті випробувань. Блок вимірювання тиску (рис. 3.3) складається з трьох пристроїв: вимірювання абсолютного тиску, вимірювання барометричного тиску і вимірювання перепаду тиску.

Для вимірювання температури в ПКГФ застосовані п'єзокварцові частотні термометри (ПКЧТ), які представляють кварцовий термочутливий резонатор з базовою частотою (5–10) МГц і аналого-цифровий перетворювач. Абсолютна похибка вимірювань (при довірчій імовірності 0,95) у діапазоні температур від 0 до +50 °С не перевищує 0,03 °С при дозвільній здатності до 10⁻⁵ °С. Електронний блок вимірювання температури пройшов метрологічну атестацію в Національному науковому центрі «Інститут метрології» (Харків, Україна) і отримав відповідне свідоцтво.

Для вимірювання перепаду тиску між еталонною і компенсаційною ємностями застосовано низькомежовий датчик диференціального тиску мембранного типу серії LPM 9481, який виготовляється американською фірмою «DRUCK», і аналого-цифровий перетворювач. Вимірювання надлишкового та барометричного тисків засновано на використанні резонансного контуру, в якому чутливий елемент виконаний на кристалі кремнію. До складу блоку вимірювання входять два резонансні датчики тиску підвищеної точності серії RPT, які виготовляються фірмою «DRUCK», і аналого-цифровий перетворювач. Електронний блок вимірювання тисків пройшов вхідний метрологічний контроль у Національному науковому центрі «Інститут метрології» (Харків, Україна).

Комп'ютеризація контролю герметичності дозволяє не тільки управляти процесом в автоматичному режимі та контролювати поточні зміни параметрів стисненого повітря, а й визначати фактичний ступінь негерметичності об'єкта контролю у загальноприйнятій розмірності.

Пристрій ПКГФ дає змогу контролювати в діапазоні від 10⁻⁵ Вт до 10⁻³ Вт герметичність виробів в діапазоні від 10⁻⁵ Вт до 10⁻³ Вт,

об'єм яких, відповідно, становить від 0,01 куб. м до 100 куб. м, з урахуванням при цьому реальних змін параметрів зовнішнього повітряного середовища. Залежно від об'єму виробу та вимірюваного діапазону ступеня негерметичності можливе або самостійне застосування ПКГФ, або в комплекті з технологічним каліброваним протіканням капілярного типу.

3.5. Оцінка аеродинамічних та теплових навантажень на корпус вакуумованого ВШНТ при різних значеннях тиску в шляхопроводі³⁰²

Аеродинаміка займає важливе місце при проектуванні високошвидкісного наземного транспорту. При русі транспорту зі швидкостями, вищими 500 км/год, в умовах атмосферного тиску основні енергетичні витрати припадають на подолання аеродинамічного опору. Створення розрідженої атмосфери всередині шляхопроводу з метою істотного зменшення втрат енергії – одна з ключових ідей проекту ВШНТ типу Hyperloop.

3.5.1. Постановка задачі аеродинамічного моделювання

Математична постановка задачі спирається на чисельне рішення рівнянь Нав'є – Стокса для в'язкого стисненого теплопровідного газу, замкнута диференціальною моделлю турбулентності³⁰³. Розглядається звернений рух, коли капсула вважається нерухомою та обтікається потоком повітря, який на неї набігає. Принцип звернення руху є стандартом для вирішення аеродинамічних задач і за фізичним змістом відповідає продувкам у аеродинамічних трубах³⁰⁴.

³⁰² Підрозділ написаний за участю Д.О. Редчиця.

³⁰³ Приходько А.А. Компьютерные технологии в аэрогидродинамике и тепломассобмене. Киев: Наук. думка, 2003. 380 с.;

Pulliam T.H. Efficient solution methods for the Navier-Stokes equations. *Lecture notes for the von Karman Institute for Fluid Dynamics. Lecture Series / Von Karman Institute*. Belgium, 1985. 98 p.

Spalart P.R., Allmaras S.R. A one-equation turbulence model for aerodynamic flow. *AIAA Paper*. 1992. № 439. 22 p.

³⁰⁴ Лойцянский Л.Г. Механика жидкости и газа. Москва: Наука, 1987. 840 с.;

Чисельне моделювання проводилося на основі спеціалізованого пакета обчислювальної аеродинаміки, який був розроблений співробітниками ІТСТ НАН України «Трансмаг». Розроблений спеціалізований пакет обчислювальної аеродинаміки раніше було протестовано на широкому колі задач ламінарного та турбулентного обтікання тіл³⁰⁵.

Швидкості руху капсули вакуумованого ВШНТ типу Hyperloop задаються в діапазоні $V_{HL} = 360\text{--}1080$ км/год = 100–300 м/с. Параметри повітряного середовища визначаються за допомогою ГОСТ 4401-81 «Атмосфера стандартна». Температура повітря, яке перебуває у шляхопроводі, покладалася рівною $T_{atm} = 288,15$ К = +15 °С і приймалася незмінною в усіх розрахунках. Атмосферний тиск і щільність повітря становили $P_{atm} = 101325$ Па і $\rho_{atm} = 1,225$ кг/м³. У середині шляхопроводу тиск повітря, яке перебуває в спокої, приймає значення від $P_{pipe} = 0,001P_{atm} = 101,3$ Па до $P_{pipe} = P_{atm} = 101325$ Па. Оскільки при постійній температурі щільність повітря, яке перебуває в спокої, прямо пропорційне тиску, то значення щільності перебувало у відповідному діапазоні

$$\rho_{pipe} = (0,001 - 1,0)\rho_{atm} = 0,001225\text{--}1,225 \text{ кг/м}^3.$$

Корпорація Hyperloop Transportation Technologies 2 жовтня 2018 р. представила аеродинамічний макет капсули Quintero One

Приходько А.А., Сохацкий А.В. Математическое и экспериментальное моделирование аэродинамики элементов транспортных систем вблизи экрана. Днепропетровск: Наука и образование, 1998. 160 с.;

Тимошенко В.И. Теоретические основы технической газовой динамики. Киев: Наук. думка, 2013. 432 с.

³⁰⁵ Приходько А.А. Компьютерные технологии в аэрогидродинамике и тепломассобмене. Киев: Наук. думка, 2003. 380 с.;

Приходько А.А., Сохацкий А.В. Математическое и экспериментальное моделирование аэродинамики элементов транспортных систем вблизи экрана. Днепропетровск: Наука и образование, 1998. 160 с.;

Редчиц Д.А., Моисеенко С.В. Численное моделирование обтекания турбулентным потоком транспортного средства вблизи экрана. *Вестник Херсонского национального технического ун-та*. 2016. Вып. 3(58). С. 398–402.

(рис. 3.11а)³⁰⁶. При проведенні оціночних розрахунків фіюзеляж капсули визначався за геометричними параметрами, що приймалися близькими до капсули Quintero One.

Між днищем капсули та шляховою структурою задається деякий аеродинамічний зазор, обумовлений роботою магнітного підвісу. Створення повітряної подушки під днищем капсули в цьому підрозділі не розглядається.

Оскільки розглянута розрахункова область містить центральне тіло (капсулу Hyperloop), то проводилася геометрична декомпозиція повної задачі. Декомпозиція полягає в поділі всієї області інтегрування на окремі блоки. У кожному блоці проводився одночасний розрахунок стану фізичного процесу обтікання з передачею інформації в сусідні блоки. Схема геометричної декомпозиції розрахункової області наведена на рис. 3.16.

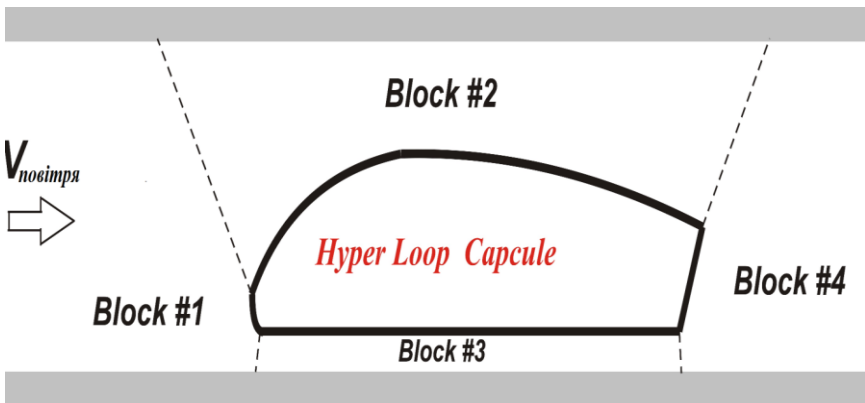


Рис. 3.16. Схема декомпозиції розрахункової області на окремі блоки

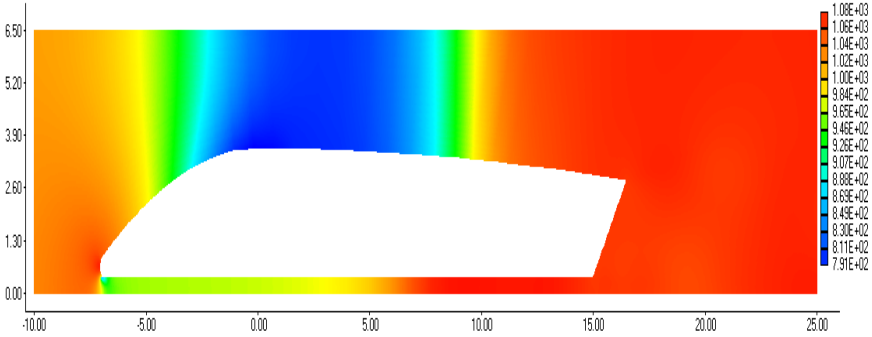
Джерело: ³⁰⁷.

³⁰⁶ Hyperloop представила першу в мире сверхскоростную пассажирскую капсулу. 03.10.2018. URL: <https://www.obozrevatel.com/tech/news/hyperloop-predstavila-pervuyu-v-mire-sverhskorostnuyu-passazhirskuyu-kapsulu.htm>

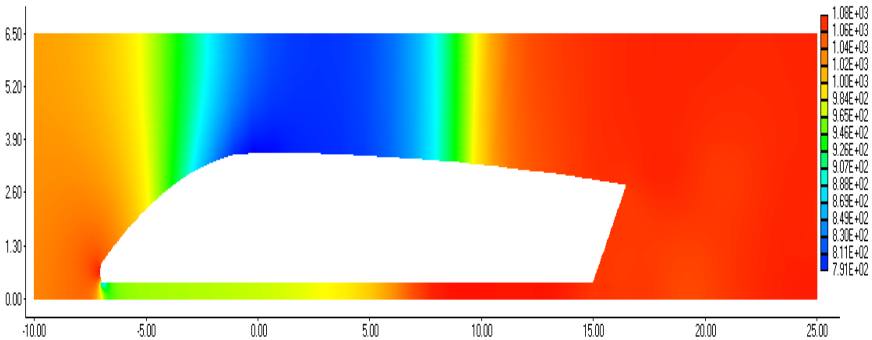
³⁰⁷ Приходько А.А., Сохацкий А.В. Математическое и экспериментальное моделирование аэродинамики элементов транспортных систем вблизи экрана. Днепропетровск: Наука и образование, 1998. 160 с.

3.5.2. Результати чисельного моделювання аеродинамічних та теплових навантажень на корпус вакуумованого ВШНТ

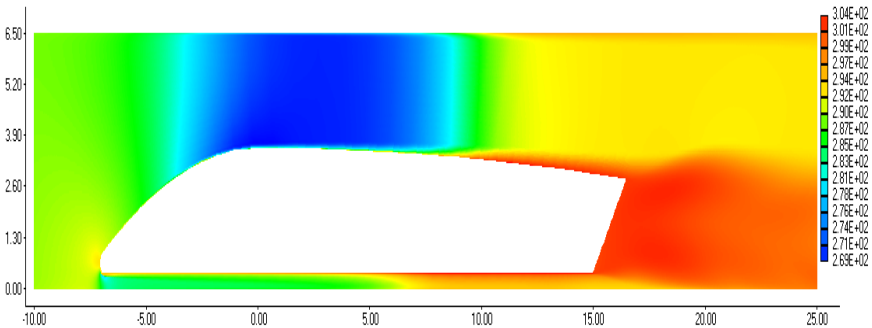
Загальна структура течії у площині симетрії капсули ВШНТ типу Hyperloop представлена у вигляді ізоліній для локальних розподілів газодинамічних величин (рис. 3.17–3.19).



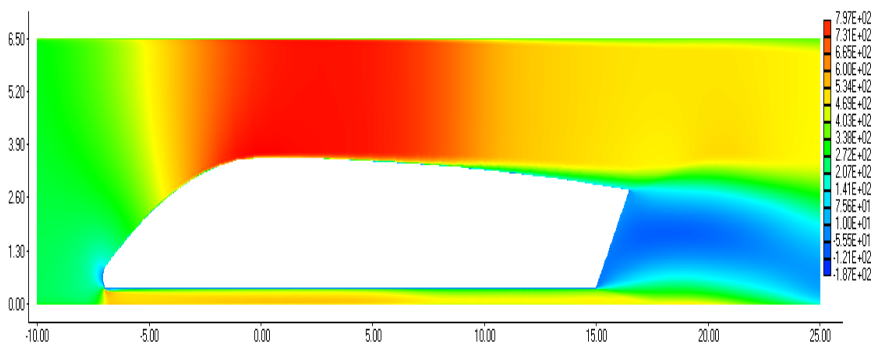
а) Локальні числа Маха



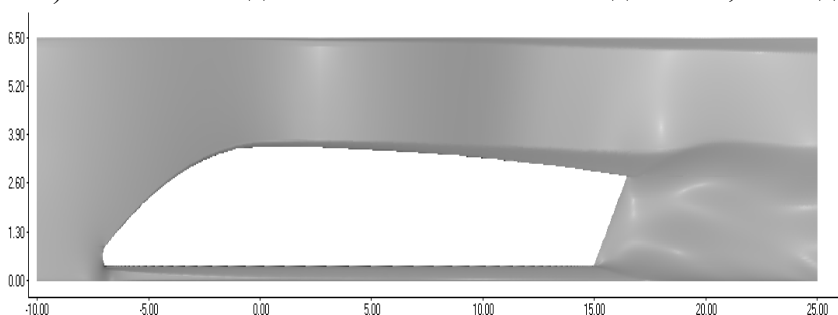
б) безрозмірний статичний тиск p/p_{pipe}



в) температура T , К



г) значення поздовжньої компоненти швидкості U , км/год

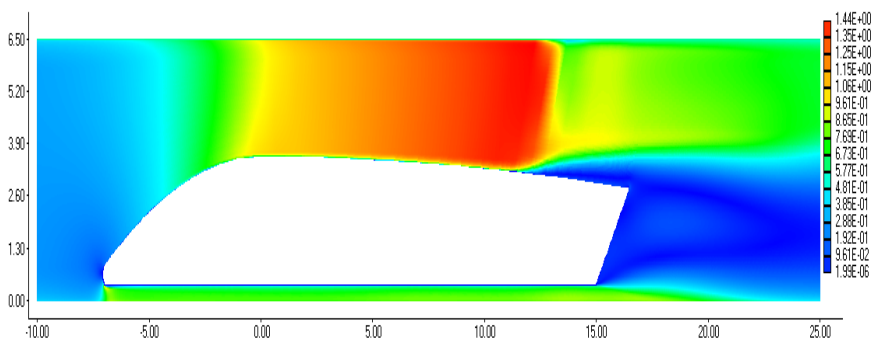


д) чисельна «шлірен-фотографія»

Рис. 3.17. Розподіл газодинамічних величин поблизу капсули

Hyperloop при $V_{HL} = 360$ км/год (100м/с)

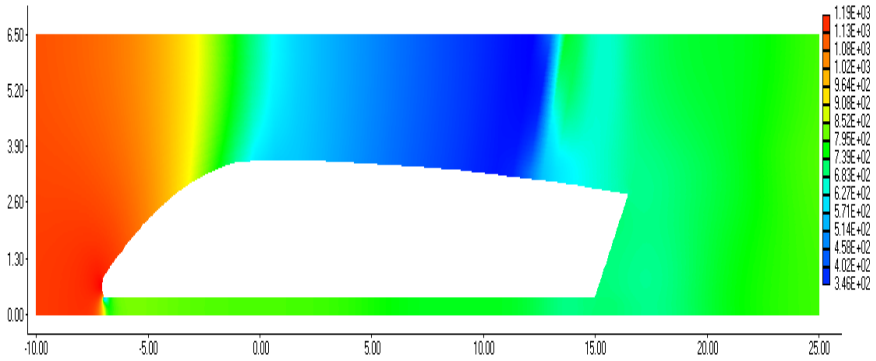
Джерело: ³⁰⁸.



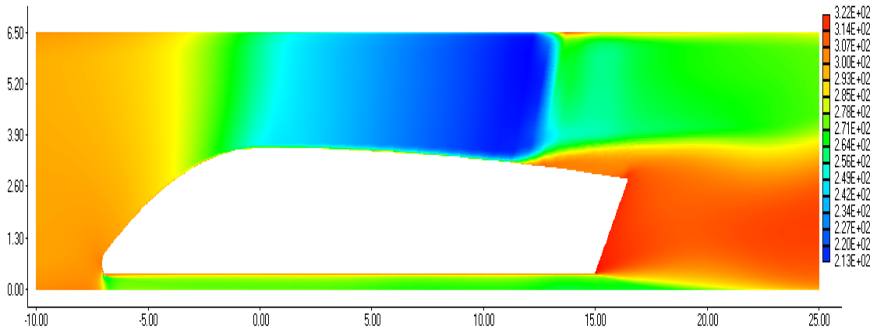
а) Локальні числа Маха

³⁰⁸ Там само.

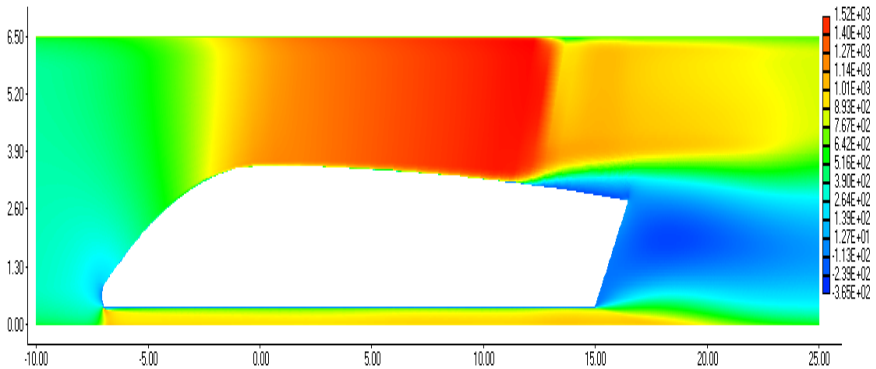
Розділ 3. Деякі концептуальні напрями створення...



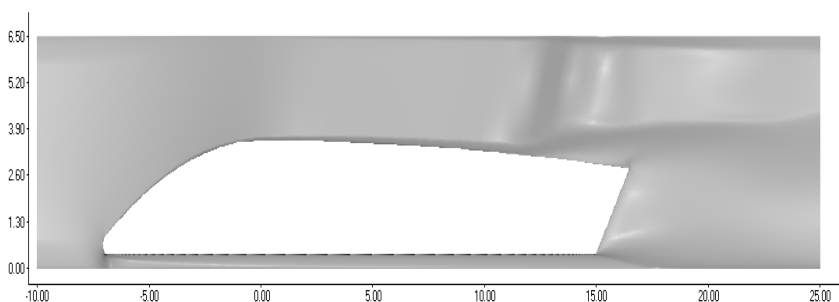
б) безрозмірний статичний тиск p / p_{pipe}



в) температура T , К



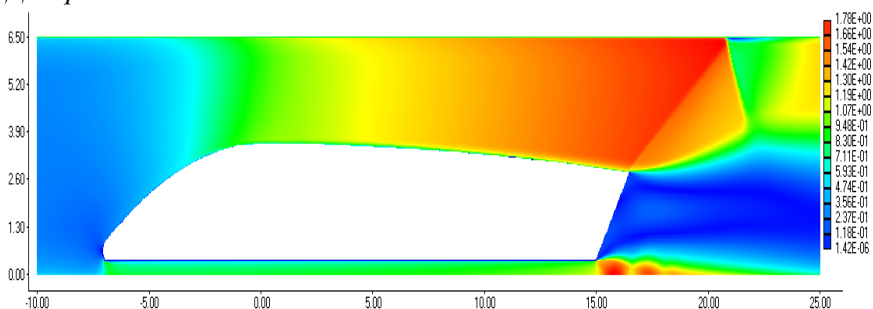
г) значення поздовжньої компоненти швидкості U , км/год



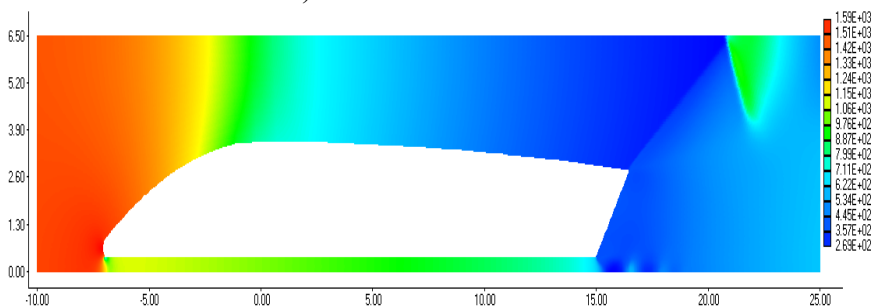
д) чисельна «шлірен-фотографія»

Рис. 3.18. Розподіл газодинамічних величин поблизу капсули
Hyperloop при $V_{HL} = 720$ км/год (200м/с)

Джерело: ³⁰⁹.

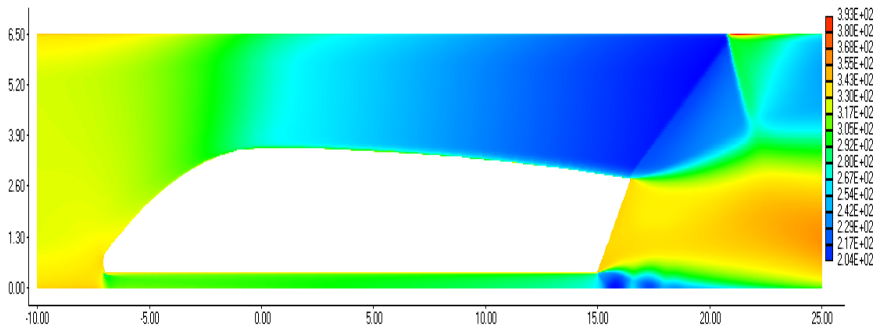


а) Локальні числа Маха

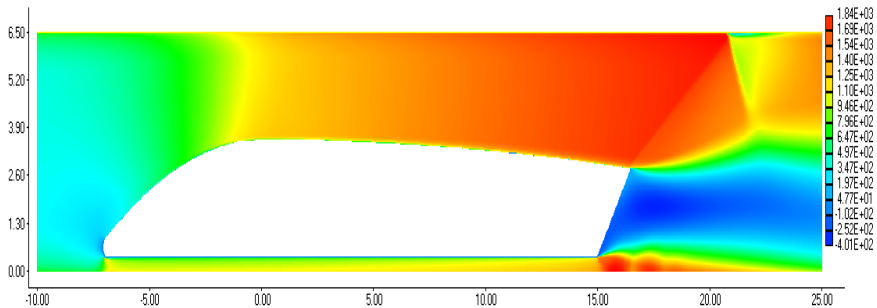


б) безрозмірний статичний тиск p / p_{pipe}

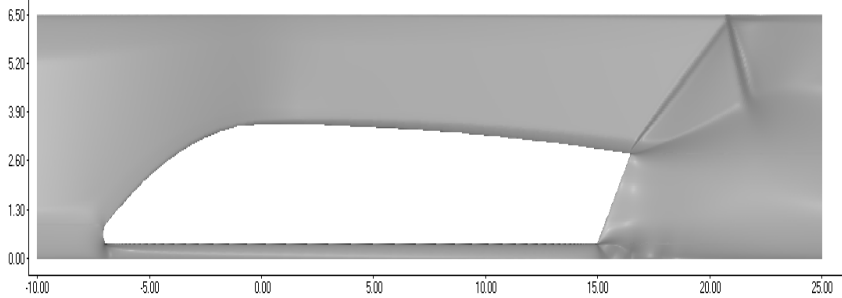
³⁰⁹ Приходько А.А., Сохацкий А.В. Математическое и экспериментальное моделирование аэродинамики элементов транспортных систем вблизи экрана. Днепропетровск: Наука и образование, 1998. 160 с.



в) температура T , К



г) значення поздовжньої компоненти швидкості U , км/год



д) чисельна «шлірен-фотографія»

Рис. 3.19. Розподіл газодинамічних величин поблизу капсули

Нурелoop при $V_{HL} = 1080$ км/год (300м/с)

Джерело: ³¹⁰.

³¹⁰ Приходько А.А., Сохаккий А.В. Математическое и экспериментальное моделирование аэродинамики элементов транспортных систем вблизи экрана. Днепропетровск: Наука и образование, 1998. 160 с.

Початок координат по осі OX відповідає максимальному значенню висоти капсули $D_{HL} = 3,2$ м. Загальна довжина капсули становила $L_{HL} = 23,58$ м, що трохи менше, ніж у представленому корпорацією Hyperloop Transportation Technologies аеродинамічному макеті Quintero One. Висота труби шляхопроводу, що прийнята в розрахунках, дорівнювала $H_{pipe} = 6,5$ м. Величина аеродинамічного зазору між днищем капсули і нижньою стінкою шляхопроводу дорівнювала $0,4$ м.

Як показали обчислювальні експерименти, існує подібність розподілу газодинамічних величин при різних значеннях тиску p_{pipe} у шляхопроводі. Для розглянутого діапазону параметрів усі значення числа Рейнольдса відповідали турбулентному режиму обтікання, що в кінцевому підсумку зумовило подібність щодо тиску. Разом із тим розмірне значення швидкості руху капсули надає ключовий вплив на структуру обтікання через безрозмірне число Маха. Для розглянутих випадків швидкості капсули $V_{HL} = 100$ м/с; 200 м/с і 300 м/с числа Маха були $0,2939$; $0,5878$ і $0,8817$, відповідно. Значення числа Маха визначають кінетичну енергію потоку, який набігає, що в свою чергу веде до істотних відмінностей у перебігу процесу.

Для значення швидкості 100 м/с (360 км/год) спостерігається повністю дозвукова течія з максимальним значенням числа Маха в потоці $M_{max} = 0,673$ (рис. 3.17). Конфузорно-дифузорна частина потоку в цьому випадку працює аналогічно трубці Вентурі³¹¹. У частини, що звужується над носиком капсули, дозвуковий потік розганяється, а потім гальмується поблизу кормової частини.

При швидкості 200 м/с (720 км/год) над верхньою поверхнею капсули відбувається утворення локальної надзвукової зони малої

³¹¹ Лойцянский Л.Г. Механика жидкости и газа. Москва: Наука, 1987. 840 с.;

Тимошенко В.И. Теоретические основы технической газовой динамики. Киев: Наукова думка, 2013. 432 с.;

Богар Т.Дж., Сейбен М., Кроутил Дж.К. Экспериментальное исследование параметров течения и характерных частот возмущений в сверхзвуковых диффузорах. *Аэрокосмическая техника*. 1984. № 5. С. 3–14.

інтенсивності (рис. 3.18). Максимальне значення числа Маха в потоці становило $M_{\max} = 1,44$. Локальна надзвукова зона закінчується прямим стрибком ущільнення, розташованим трохи вище за потоком від корми капсули. За своїми фізичними особливостями цей випадок відповідає добре вивченій течії у надзвукових дифузорах³¹². В аеродинамічному зазорі утворюється інтенсивний дозвуковий струмінь, який при розширенні створює невелику локальну надзвукову зону з максимальним числом Маха $M_{\max} = 1,11$. Слід зазначити, що рух цього струменя має нестационарний характер, що викликаний коливаннями потоку в донній частині та в сліді за капсулою.

Значення швидкості 300 м/с (1080 км/год) було вибрано максимальним із розглянутого діапазону. Кінетична енергія потоку, що набігає, була достатньо великою, щоб над верхньою поверхнею капсули утворилася структура потоку, аналогічна соплу Лавалю³¹³ (рис. 3.19). Надзвукова область простягається вздовж усього корпусу капсули. За кормою утворюється система ударних хвиль у вигляді маховської конфігурації, що переводить надзвуковий потік у дозвуковий (рис. 4.19д). Під днищем капсули формується надзвуковий струмінь, який на виході в донну область потоку утворює добре відому бочкоподібну структуру³¹⁴. Така структура

³¹² Приходько А.А. Компьютерные технологии в аэрогидродинамике и тепломассобмене. Киев: Наук. думка, 2003. 380 с.;

Тимошенко В.И. Теоретические основы технической газовой динамики. Киев: Наук. думка, 2013. 432 с.;

Годунов С.К., Забродин А.В., Иванов В.Я., Крайко А.И., Прокопов Г.П. Численное решение многомерных задач газовой динамики. Москва: Наука, 1976. 400 с.;

Аржанников Н.С., Садекова Г.С. Аэродинамика летательных аппаратов. Москва: Высшая школа, 1983. 359 с.

³¹³ Приходько А.А. Компьютерные технологии в аэрогидродинамике и тепломассобмене. Киев: Наук. думка, 2003. 380 с.; Годунов С.К., Забродин А.В., Иванов В.Я., Крайко А.И., Прокопов Г.П. Численное решение многомерных задач газовой динамики. Москва: Наука, 1976. 400 с.; Аржанников Н.С., Садекова Г.С. Аэродинамика летательных аппаратов. Москва: Высшая школа, 1983. 359 с.

³¹⁴ Тимошенко В.И. Теоретические основы технической газовой динамики. Киев: Наук. думка, 2013. 432 с.;

має пульсуючий характер, що додатково впливає на нестационарність потоку в донній області.

Разом із тим слід зазначити, що нестационарний характер течії за кормою та в сліді за капсулою мало впливав на інтегральне значення безрозмірного коефіцієнта аеродинамічного опору C_x . Відхилення поточних значень від усередненого не перевищувало 1,5%.

Отримані в результаті обчислювальних експериментів значення безрозмірного коефіцієнту аеродинамічного опору зведені в табл. 3.1. На підставі даних табл. 3.2 і співвідношень, що визначають розмірне значення сили аеродинамічного опору F_x , можна зробити оцінку аеродинамічних навантажень на корпус капсули Hyperloop.

Отримані результати дають змогу зробити висновок, що при незмінній швидкості капсули сила аеродинамічного опору фактично прямо пропорційна значенню тиску повітря у шляхопроводі P_{pipe} .

Тепловий вплив на капсулу Hyperloop можна ілюструвати розподілами змін температури потоку повітря у шляхопроводі щодо температури повітря, який перебуває у спокої. Різниця $\Delta T = T - T_{pipe}$ поблизу капсули, що обтікається при швидкості $V_{HL} = 1080$ км/год і $P_{pipe} = 0,01 \cdot P_{atm}$, представлена на рис. 4.20 для значення $T_{pipe} = 288,15$ К (+15 °С). Над капсулою виникає потік холодного повітря, з температурою, меншою T_{pipe} , та локальними зонами гарячого повітря. Максимальне значення гарячого повітря становило +104°С. Така температура спостерігається на верхній стінці шляхопроводу відразу за замикаючим стрибком ущільнення.

З точки зору теплових навантажень на корпус вакуумованого ВШНТ необхідно розглядати розподіл температури на поверхні капсули. Тут температура повітря підвищується внаслідок аеродинамічного тертя. Максимальне значення ΔT_{wall} становило +54 °С у

Розділ 3. Деякі концептуальні напрями створення...

донній частині капсули. Слід зазначити, що теплові навантаження не залежать від значення тиску повітря у шляхопроводі.

Таблиця 3.1

Оцінка безрозмірного коефіцієнта аеродинамічного опору C_x для капсули Hyperloop з діаметром міделевого перерізу $D = 3,2$ м

Швидкість руху капсули V_{HL}	Тиск повітря у шляхопроводі P_{pipe}			
	$1,0 \cdot P_{atm}$	$0,1 \cdot P_{atm}$	$0,01 \cdot P_{atm}$	$0,001 \cdot P_{atm}$
360 км/год	0,377	0,376	0,374	0,368
720 км/год	0,528	0,526	0,523	0,514
1080 км/год	0,800	0,796	0,789	0,771

Джерело: ³¹⁵.

Таблиця 3.2

Оцінка сили аеродинамічного опору F_x для капсули Hyperloop з діаметром міделевого перерізу $D = 3,2$ м

Швидкість руху капсули V_{HL}	Тиск повітря в шляхопроводі P_{pipe}			
	$1,0 \cdot P_{atm}$	$0,1 \cdot P_{atm}$	$0,01 \cdot P_{atm}$	$0,001 \cdot P_{atm}$
360 км/год	18,6 кН (1900 кгс)	1,85 кН (189 кгс)	0,184 кН (18,8 кгс)	0,183 кН (1,87 кгс)
720 км/год	104,0 кН (10600 кгс)	10,4 кН (1057 кгс)	1,03 кН (105 кгс)	0,102 кН (10,4 кгс)
1080 км/год	355,0 кН (36200 кгс)	35,2 кН (3590 кгс)	3,5 кН (357 кгс)	0,34 кН (35 кгс)

Джерело: ³¹⁶.

³¹⁵ Приходько А.А., Сохачкий А.В. Математическое и экспериментальное моделирование аэродинамики элементов транспортных систем вблизи экрана. Днепропетровск: Наука и образование, 1998. 160 с.

³¹⁶ Там само.

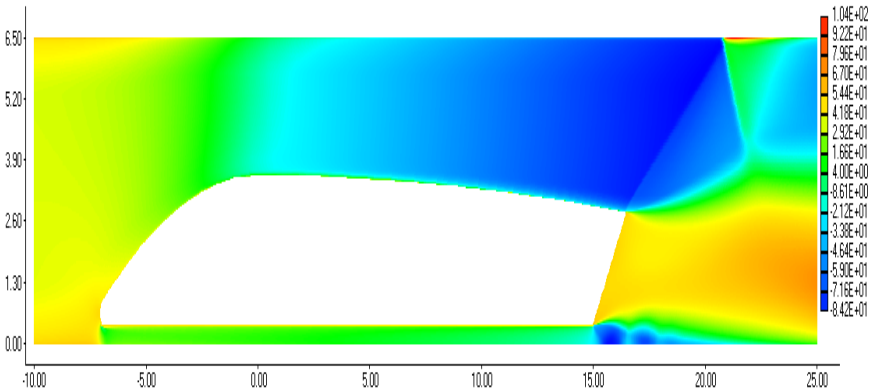


Рис. 3.20. Розподіл зміни температури $\Delta T = T - T_{pipe}$ поблизу капсули Hyperloop при $V_{HL} = 1080$ км/ч (300м/с)

Джерело: ³¹⁷.

3.5.3. Постановка питання про вибір економічно обґрунтованого значення тиску повітря у трубі

Наразі не існує єдиної точки зору на вибір раціонального значення тиску повітря у шляхопроводі. В різних проектах зі створення ВШНТ типу Hyperloop значення тиску повітря варіюються в діапазоні від 1 Па до 1000 Па. Для визначення раціонального значення тиску повітря необхідне залучення економічної складової цього питання.

У першому наближенні можна вважати, що вартість енерговитрат на рух капсули Hyperloop у вакуумованому шляхопроводі пропорційна подоланій силі аеродинамічного опору F_x . Значення F_x при атмосферному тиску залежить від різних чинників, але при зниженні тиску p_{pipe} сила аеродинамічного опору F_x знижується пропорційно. На рис. 4.21 ця пропорційність схематично позначена трикутником сірого кольору. З іншого боку, витрати на підтримку стану розрідженого повітря в багатокілометровому шляхопроводі зростають у геометричній прогресії. Ця обставина відзначається

³¹⁷ Там само.

усіма зарубіжними дослідниками³¹⁸. Відповідна залежність витрат зображена на рис. 4.21 червоною лінією.

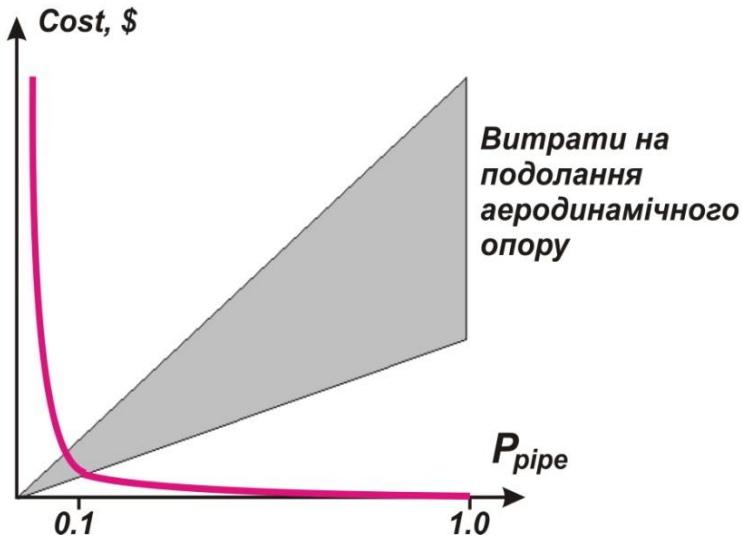


Рис. 3.21. Схематична діаграма витрат на подолання аеродинамічного опору та витрат на підтримку вакууму у шляхопроводі Hyperloop

Джерело: ³¹⁹.

Виникає цілком закономірне питання – чи варто економити частки відсотків витрат на подолання аеродинамічного опору при

³¹⁸ Taylor C.L., Hyde D.J., Barr L.C. Hyperloop Commercial Feasibility Analysis: High Level Overview. NASA Report DOT-VNTSC-NASA-16-01, July 2016. 47 p.;

Hyperloop in The Netherlands. Main report. TNO Report R10715, August 2017. 48 p.;

Decker K., Chin J.R., Peng A. et al. Conceptual Feasibility Study of the Hyperloop Vehicle for Next-Generation Transport. NASA Report GRC-E-DAA-TN37945, 2017. 22 p.;

MIT HYPERLOOP. Final Report / Massachusetts Institute of Technology. USA, August 2017. 134 p.

³¹⁹ Taylor C.L., Hyde D.J., Barr L.C. Hyperloop Commercial Feasibility Analysis: High Level Overview. NASA Report DOT-VNTSC-NASA-16-01, July 2016. 47 p.

малих значеннях тиску та одночасно споруджувати дорогу систему постійного підтримання форвакууму? Слід підкреслити, що йдеться насамперед про постійні експлуатаційні витрати, необхідні для тривалого функціонування ВШНТ типу Hyperloop.

Через це як концептуальний напрям створення транспортної системи типу Hyperloop пропонується розглянути діапазон тиску у шляхопроводі від 0,01 до 0,1 атмосферного. Такий діапазон дає змогу зменшити аеродинамічний опір капсули на 90–99% при помірному значенні експлуатаційних витрат.

Тут слід звернути увагу на важливу обставину: в діапазоні значень тиску $p_{pipe} = (0,001-0,01)P_{atm}$ аеродинамічні навантаження являють собою малі величини. У той час як при значенні тиску $p_{pipe} \approx 0,1P_{atm}$ необхідно буде враховувати підйомну силу, моменти тангажу і крену. Ці величини можуть вплинути на роботу систем управління руху капсулою ВШНТ типу Hyperloop.

3.6. Проблемні питання концепції ВШНТ Hyperloop

Для реалізації концепції Hyperloop на практиці необхідно вирішити ряд серйозних науково-технічних та інженерно-конструкторських проблем, які тісно пов'язані між собою.

Необхідні детальні дослідження і модернізація технології пасивної левітації Inductrack – як у її базовому варіанті, так і в інноваційному (масиви Хальбаха – індукційні доріжки, введені в магнітне зачеплення із суцільними феромагнітними підкладками). Крім того, серйозні перспективи мають багатошарові шляхові полотна, виконані з матеріалів із різною магнітною проникністю.

У відкритих джерелах відсутня повноцінна інформація про ефективність і надійність тягово-левітаційних систем для руху капсули Hyperloop зі швидкостями, що перевищують 400 км/год, оскільки такі відомості становлять промислову та комерційну таємницю розробників. Хоча принципових технічних перешкод тут не існує, проте визначення раціональної схеми і параметрів тягово-левітаційного системи представляє серйозне науково-технічне та інженерно-конструкторське завдання.

Сучасний рівень розвитку кріогенної техніки, досягнення в модернізації надпровідних матеріалів і перспективи доведення високотемпературних надпровідників до рівня технічного використання дають підстави для альтернативних розробок систем ВШНТ на базі надпровідних магнітів. Активна магнітна левітація на базі надпровідних магнітів забезпечує більш високу левітаційну якість, ніж пасивна. Тут виникає перспектива розробки гібридних силових вузлів ТЛС і магнітного підвісу, що поєднують елементи активної та пасивної (Inductrack) магнітної левітації.

Існують проблеми організації системи захисту пасажирів від магнітного поля. Вони повинні бути пом'якшені застосуванням для левітації та тяги технології Inductrack, але ці проблеми зняті не до кінця. Потрібні глибокі дослідження цього питання, тому що організація захисту пасажирів від магнітного поля, можливо, обумовить необхідність розробки активних і пасивних способів екранування салону.

Енергопостачання Hyperloop може бути забезпечено за рахунок комбінованого використання сонячних батарей та вітроенергетичних установок, але цей висновок вимагає ретельної перевірки. Ефективність застосування сонячних батарей залежить від кліматичних умов і сезонних змін погоди. Енергоспоживання системи Hyperloop у кліматичних особливостях України не може бути забезпечено тільки полями сонячних батарей, як це пропонується у США, внаслідок малої кількості сонячних днів. Використання акумуляторів пов'язане із необхідністю будівництва пунктів зарядки акумуляторів, додаткового часу і витрат на зміну та підключення акумуляторів. Підключення до єдиної системи електропостачання вимагає додаткових капітальних витрат і вирішення цілого ряду питань щодо безпеки та безперебійного постачання електроенергії.

Система управління в технології Hyperloop повинна не тільки забезпечувати злагоджену роботу тягово-левітаційної системи при русі на звукових швидкостях, а й, за виникнення позаштатних ситуацій, організувати екстрене та безпечне для пасажирів гальмування капсул на маршруті. Тут потрібні високоточні та – одночасно – потужні вузли управління, що пов'язано із забезпе-

ченням невеликого зазору між шляховою структурою і капсулою при високій швидкості руху. Ефективність такої системи вимагає ретельної перевірки на експериментальних лініях Hyperloop.

При проведенні проектно-конструкторських робіт щодо ВШНТ типу Hyperloop необхідні повномасштабні теоретичні дослідження та експерименти для визначення аеродинамічних і теплових навантажень, які діють на корпус капсули. Як показали проведені оцінки, корпус вакуумованого ВШНТ у процесі руху може нагріватися до температур $+60^{\circ}$... $+90^{\circ}$ °С. Таке нагрівання може вплинути на працездатність бортових систем електропостачання та управління, а також на забезпечення комфорту пасажирів у дорозі.

Додатковою проблемою може стати розробка систем охолодження та вентиляції, оскільки традиційні системи повітряно-радіаторного типу в умовах сильно розрідженого повітря будуть малоефективними. Джерелом тепла є аеродинамічний нагрів і потужне електрообладнання, розташоване в капсулі Hyperloop та всередині шляхопроводу. Системи вентиляції також необхідні для забезпечення комфортного перебування пасажирів у дорозі.

Необхідна розробка шлюзових камер, що забезпечують завантаження та вивантаження вантажів і пасажирів. Супутнє завдання становить проектування перехідних ділянок траси Hyperloop, на яких відбувається розгін і гальмування капсули.

Головною ключовою проблемою створення нового виду транспорту п'ятого покоління є забезпечення безпеки пасажирів. Незважаючи на те, що Hyperloop несприйнятливий до поганих погодних умов, таких як вітер, сніг, туман, дощ, низькі або високі температури, необхідно ретельно відпрацювати можливі сценарії позаштатних ситуацій з метою забезпечення насамперед безпеки пасажирів. При виникненні надзвичайної ситуації пасажирам необхідно мати можливість зв'язку з оператором першої допомоги, за необхідності проведення консультації з лікарем та нештатного припинення руху.

Можливу розгерметизацію пасажирської капсули слід назвати ахіллесовою п'ятою технології Hyperloop. Швидке потрапляння повітря із зовнішнього середовища призведе до різкого гальмування капсули, що веде до сильного перевантаження для

пасажирів і можливості аварійного зіткнення капсули зі шляховою структурою. Існує також небезпека розгерметизації капсули, коли повітря з пасажирського салону потрапить у шляхопровід із дуже низьким тиском. Для запобігання цим загрозам необхідна розробка надійних систем вакуумування шляхопроводу, а також автономних систем життєзабезпечення пасажирів усередині капсули.

До проблем, які пов'язані зі створенням транспорту п'ятого покоління, включаючи Hyperloop як частину транспортної інфраструктури України, слід віднести:

- розробку схем маршрутів;
- вплив місцевого ландшафту на проєктовану трасу;
- проєктування плану та профілю трас;
- вибір і розробку інженерних споруд (естакад, мостів, дорожніх розв'язок, тунелів) та ін.

Щоб уникнути радіусів кривизни, які призведуть до незручних прискорень та дискомфорту для пасажирів, необхідно оптимізувати маршрут. Це може бути досягнуто шляхом відхилення від поточної схеми маршруту, видалення землі, створення пілонів для досягнення зміни висоти або прокладки тунелів. При будівництві та утриманні траси в геологічних і метеорологічних умовах України необхідно враховувати вплив опадів на фундамент естакади та на подушку траси (в разі її прямого укладання на ґрунт). Підвищена схильність до ерозії ґрунтів України потребує розробки адаптованих способів укладання трубопроводів траси. Існуючі в кліматичній зоні України значні температурні перепади передбачають ускладнення структури протяжних ділянок траси, зокрема, вимагаючи розробки специфічних стикувальних вузлів, що компенсують термічні подовження і деформації труб.

Лабораторні та полігонні випробування обов'язково виявлять і інші технічні проблеми нової транспортної технології. Тому будівництво експериментальних стендів і, можливо, експериментальних ліній Hyperloop – просто необхідне та неминуче.

Але загалом можна зауважити, що роботи з проєктування і створення новітньої транспортної системи ВШНТ типу Hyperloop в Україні актуальні й необхідні. Соціальний ефект від них може бути досить високим. Тим більше, що в НАН України є кадровий

Розвиток економічних та науково-технічних основ транспорту...

потенціал і технічні напрацювання зі створення експериментального зразка технологій Maglev, а також накопичено досвід у сфері трубопровідного пневмотранспорту та контролю герметичності. Науково-дослідні та прикладні роботи зі створення у країні надшвидкісного транспорту будуть природним продовженням робіт, проведених раніше в Інституті транспортних систем і технологій НАН України та Інституті геотехнічної механіки НАН України.

У світі триває швидке нарощування довжини мережі ліній HSR та постійно збільшується пасажирообіг, в основному за рахунок Китаю, на який припадає понад 50% перевезення пасажирів HSR у світі, у той час як у Європі зростання пасажирообігу є незначним. У Китаї починаючи з 2008 р. довжина мережі зросла втричі, а пасажирообіг за цей час зріс у понад 10 разів, але така ситуація є винятковою і характерною лише для Китаю, тож HSR є *економічно вигідним для густонаселених регіонів*. Саме тому поїздки високошвидкісною залізницею більш конкурентоспроможні в районах з високою щільністю населення або там, де висока вартість пально-мастильних матеріалів.

Треба зазначити, що станом на 2018 р. такі країни, як Бельгія, Нідерланди та Тайвань, уже повністю використали можливості розширення своєї високошвидкісної мережі, тоді як Іспанія, Італія, Франція, Німеччина та Японія продовжують розвиток у цьому напрямі, хоча основна частина мережі вже сформована. Такі країни, як Велика Британія, Південна Корея та Китай, мають амбітні плани щодо розширення мережі HSR, а в деяких країнах, таких як Саудівська Аравія, Марокко, США та Росія, процес уведення швидкісного руху тільки розпочато. Нарешті деякі країни Східної Європи (зокрема країни Балтії та Україна) та Азії тільки планують впровадити високошвидкісну залізницю в майбутньому.

Зважаючи на аналіз розвитку високошвидкісного руху у світі, варто зазначити, що глобальна високошвидкісна мережа не є однорідною з точки зору швидкості навіть у регіональному розрізі. Це означає, що не всі високошвидкісні лінії працюють з однаковою швидкістю, що пов'язано, по-перше, із тим, що існує невідповідність між розрахунковою і робочою швидкостями. По-друге, деякі лінії призначені для швидкостей, нижчих за 250 км/год. Це може бути зумовлено змішаними вантажо-пасажирськими перевезеннями, які зменшують максимальну швидкість та знижують пропускну здатність лінії.

Подібна ситуація простежується також і на таких високошвидкісних лініях, як Maglev. Так, сьогодні на світовому ринку швидкісних перевезень представлено Maglev як високої швидкості (≥ 400 км/год), так і низької (≤ 150 км/год) Urban Maglev), які використовуються на міському рівні. При цьому мережа Maglev локалізована в Азії й серед діючих ліній високошвидкісною є лише одна гілка, а інші використовуються як приміські лінії та лінії метро.

Швидкісні діючі системи Maglev, які є двома провідними Maglev-системами у швидкісному наземному транспорті, обмежені двома типами, такими як: 1) німецька та китайська Transrapid-системи; 2) надпровідний тип JR (Japan MLX). Transrapid добре розроблений для практичного застосування. JR-Maglev має доведену достовірність і високу технічну доцільність. Ці системи пропонують рішення в основному залежно від швидкості транспортної системи та механічного розриву для повітря між транспортним засобом і трасою.

Система пасивної магнітної левітації Inductrack з 2016 року використовується компанією Hyperloop Transportation Technologies, Inc. при створенні транспортної системи Hyperloop, що має значні перспективи в розвитку швидкостей, які значно перевищують швидкості діючих систем Maglev за рахунок переміщення у вакуумному тунелі.

Усі Maglev працюють повністю автоматично, що підвищує ефективність експлуатації, надійність і безпеку. Maglev має чіткі переваги щодо викидів, шуму та енергоспоживання. Значно нижчі витрати на експлуатацію та технічне обслуговування Maglev дозволяють знизити загальну вартість швидкісних перевезень порівняно з високошвидкісними залізничними перевезеннями.

Попри те, що порівняно з авіаційним транспортом комерційні швидкості HSR та Maglev більш низькі, останні виступають потенційними конкурентами на відстанях до 900 км, надаючи більші переваги у перевезеннях від дверей до дверей та скорочуючи час на доїзд/від'їзд до кінцевої точки подорожі. Разом із тим ці види транспорту майже не впливають на ринок автомобільних та автобусних перевезень.

Зважаючи на рівень автомобілізації країн світу та України, а також посилення уваги спільноти до екологічних питань, велику роль відіграє розвиток таких інноваційних видів транспорту, як електромобілі та безпілотники. Перспективи зростання попиту на електромобілі залежать від можливостей якісного стрибка характеристик акумуляторних літій-іонних батарей: збільшення їх ємності, прискорення зарядки, здешевлення, більшої безпечності та довговічності, а також заміни. Прогнозується, що до 2030 р. їх вартість може зменшитись на 77%, а ціни на електромобілі почнуть знижуватись уже з 2025 р. Так, у Європі для збільшення обсягів електромобілів існують урядові програми, за якими компенсація на придбання електромобіля доходить до 15% вартості. Україна увійшла у п'ятірку країн з розвитку ринку електромобілів. Усього станом на 1 вересня 2018 р. в Україні зареєстровано 8267 електромобілів при загальній кількості автомобілів в Україні 6,9 млн шт. Отже, частка електрокарів в Україні становить менше одного відсотка. За прогнозами, до 2035 р. кожен четвертий автомобіль в Україні може бути електричним.

У III кварталі 2018 р. в Україні зросла реєстрація електромобілів, причинами чого стало звільнення від ПДВ (16,8%), акцизного збору (109 євро) та ввізного мита. Попит же підвищився в основному за рахунок імпорту уживаних машин. Помітно дешевшими стали електромобілі, які ввозилися офіційно, а це лише: BMW i3, Rover Quick 2000, Mitsubishi, Hyundai Ioniq, Renault Kengoo Z.E. та Renault Zoe.

Причинами, за якими автомобілі в Україні не подешевшали пропорційно зниженню податків, такі: по-перше, зростання попиту на б/у електромобілі в Україні призвело до підняття цін на аукціонах США, тому скасування податків вплинуло на ціни несуттєво; по-друге, раніше на кордоні «сірі дилери» декларували ціну електрокара нижче за реальну і платили менше податків, а тепер податки скасували.

Інноваційним проривом для створення новітніх передових підземних магістралей стало завершення роботи із обладнання компанією The Boring Company підземного транспортного тунелю Loop в грудні 2018 р., основне завдання якого – швидка й ком-

фортна доставка автомобілів та електромобілів, оминаючи наземні корки.

Тунель протестували, використовуючи оновлену версію електромобіля Tesla Model X, але система вже може використовувати будь-який автономний електромобіль, а не тільки Tesla. Система тунелів передбачає спеціальні колісні кріплення та рейки, з якими і з'єдналася модель електромобіля. На сьогодні такий формат перевезень є унікальним, електромобілю вдалося розігнатися до швидкості в 65 км/год. Заплановані Ілоном Маском 161 км/год будуть втілені при відкритті наступного – довшого та ширшого – транспортного тунелю. Вартість прокладки становила 10 млн. дол., що для такого роду робіт є незначною.

The Boring Company підписала контракт із Chicago Infrastructure Trust на будівництво системи експрес-петлі до міжнародного аеропорту О'Хара в Чикаго. Плани The Boring Company поширюються також на Лос-Анджелес, де планується побудувати лінію від західних кварталів до стадіону Доджер, а також 56-кілометрову лінію подвійних тунелів від Вашингтона до Меріленда, якою можна доставляти пасажирів між двома точками приблизно за 15 хвилин.

Середня собівартість реалізації проєктів HSR у ЄС становить 25–30 млн євро за км. Водночас витрати на будівництво HSR у Китаї, як правило, нижчі, ніж в інших регіонах, у тому числі й у ЄС. Це пов'язано із тим, що вартість робочої сили в Китаї нижча, ніж в інших регіонах світу. Вартість будівництва високошвидкісних залізниць у Китаї становить 82% у структурі загальних витрат реалізації проєкту HSR, при цьому ці проєкти є складними інженерно-інфраструктурними рішеннями. Отже, китайська HSR з максимальною швидкістю 350 км/год має типову собівартість будівництва інфраструктури у 17–21 млн дол. США (100–125 млн юанів) за 1 км, навіть враховуючи велику кількість віадуків та тунелів. Найдорожче будівництво HSR (не виключаючи витрати на землю, рухомий склад та відсотки під час будівництва) – у США, собівартість реалізації такого проєкту HSR оцінюється у 52 млн дол. США за 1 км траси, що є середньою собівартістю 1 км ліній для США. Собівартість проєктів HSR збільшується залежно від необхідності будівництва складних інженерних споруд, таких як

тунелі, мости та віадуки, та локалізація виробництва обладнання та матеріалів і великі обсяги реалізації проєктів HSR скорочують витрати.

Отже, найбільші витрати на будівництво HSR – у США, а найнижчі – в Китаї, про що безпосередньо свідчить потужна мережа ліній HSR у Китаї, натомість у США розвиток HSR відбувається дуже повільними темпами.

Загалом вартість реалізації проєктів HSR у всіх регіонах світу залежить від запланованого швидкісного режиму – вищі швидкості означають вищу собівартість 1 км треку, а собівартість 1 км Hyperloop матиме пряму залежність від географічного розташування системи, що пов'язано з вартістю земельних ділянок, особливостями внутрішньої політики країн та особливостями технологій будівництва (максимально прямий трек, різні способи розміщення). До того ж Hyperloop передбачає більш низькі витрати на будівництво порівняно з HSR та Maglev, у той час як експлуатаційні витрати в Maglev та Hyperloop будуть нижчими, ніж у HSR.

Регуляторна транспортна політика в різних країнах світу має свою специфіку. Так, в Європі активно відбувається процес лібералізації залізничних послуг, що створює внутрішньодержавну конкуренцію. А от такі країни Азії, як Китай та Японія, не допускають конкуренції на своєму ринку, для них характерна централізована система управління.

З одного боку, позитивним фактором централізованої системи управління в Китаї є напрацювання єдиної системи стандартів будівництва HSR. Так, стандартизація конструкції для насипів, ліній, віадуків, тунелів, систем безпеки, електрифікації, сигналізації та зв'язку в Китаї дозволяє значно скороти витрати на будівництво порівняно з Європою. А з іншого – результатом такої системи управління є нарощування обсягів будівництва ліній HSR, незважаючи навіть на те, що на HSR уже припадає 80% боргу ChinaRailway. Натомість у Європі відмінності зазначених вище елементів інфраструктури створюють значні проблеми в розвитку єдиної європейської залізничної мережі, викликають великі затримки поїздів, знижуючи швидкість доставки пасажирів і

вантажів, чим і послаблюють позиції залізниць на ринку транспортних послуг.

В Азії також розміщується головний світовий ринок систем Maglev, що можна пояснити великими відстанями, складним ландшафтом та високими вимогами щодо мобільності. Сучасний стан магнітолевітаційного транспорту обмежується комерційними лініями пасажирського Maglev, що побудовані та функціонують лише в трьох країнах – Китаї, Японії та Південній Кореї. Transrapid у Шанхаї успішно працює в комерційних цілях з 2004 року, а китайський Maglev, заснований на системі Transrapid, також націлений на високошвидкісний сегмент. Японські Linimo Maglev і корейський Rotem Maglev використовуються для швидких, але менш швидкісних міських перевезень.

Ситуація в європейських країнах демонструє, що *не існує реалістичного довгострокового плану ЄС щодо високошвидкісних залізниць. Наразі не побудовано і єдиної європейської високошвидкісної залізничної мережі та існують розриви між національними лініями, особливо на транскордонних ділянках, так зване «клаптеве шиття», які не мають між собою належного зв'язку. До того ж більшість країн мають різні параметри систем електрифікації, що особливо відчутно для країн Європи – не лише на рівні інфраструктурних мереж, а й на рівні взаємодії виробників рухомого складу та кінцевого користувача. Але, незважаючи на ситуацію, пов'язану з HSR, проникненню Maglev на ринок Європи сьогодні стає на заваді добре розвинена мережа високошвидкісних залізничних перевезень та європейські розробки нових ліній TEN-T, а також неодноразові спроби впровадження транспортної системи Maglev у різних європейських країнах, що поки що обмежилися рівнем випробувальних треків або були згорнуті через економічну неефективність. Сполучені Штати Америки мають кілька коридорів, що випробовуються понад 20 років, але реально не використовуються.*

Наразі Європа намагається виправити ситуацію за рахунок уведення обов'язкових стандартів та спроби скоординувати загальну політику ЄС щодо розвитку HSR.

Країни ЄС активно впроваджують масштабні та далекосяжні програми інвестування в модернізацію та створення транспортної інфраструктури шляхом їх «екологізації» задля мінімізації негативного впливу на довкілля та збереження конкурентних позицій.

В Україні трансформаційні процеси на транспорті лише починаються, тоді як світова спільнота вже давно усвідомила наслідки експлуатації застарілої та неефективної транспортної системи та почала рішуче з ними боротися.

Зважаючи на той факт, що останній світовий рекорд швидкості серед HSR було встановлено під час випробувань поїзду TGV у 2007 р. (574,8 км/год.), та японського поїзду на магнітній подушці у 2015 р. (603 км/год), робимо висновок про неможливість збільшення середньої швидкості за рахунок існуючих на сьогодні технологій. Саме тому зараз постала потреба у розробках високотехнологічних інноваційних видів транспорту, здатних поєднати переваги, які надає авіаційний транспорт з позицій швидкості, а також комфорт та доступність наземних видів транспорту. Таким чином, сьогодні економічно і технічно прийнятне вирішення проблеми підвищення швидкості наземного транспорту – це створення, поряд із системою «колесо-рейка», системи магнітного підвісу і заміни навколишнього середовища на штучно створену вакуумну систему. Зростання потреби на більш швидке перевезення викликало великий попит на технологію Hyperloop. Тож, коли цю систему буде впроваджено, то безперечна перевага щодо швидкості буде за нею (1200 км/год).

З 2014 року концепцію Hyperloop просувають такі компанії, як Hyperloop Transportation Technologies (HTT) та Virgin Hyperloop One. Крім того, над різними аспектами транспортної системи Hyperloop – такими як капсули, труби, маршрути тощо – працює багато незалежних команд і організацій

Рішення про будівництво майбутніх видів транспорту п'ятого покоління мають базуватися на співвідношенні вартості та вигоди. Потрібно визначити перші початкові витрати на будівництво, інфраструктуру та транспортні засоби та більш чітко розглянути майбутні витрати на утримання та обслуговування, щоб створити найбільш стійку транспортну систему.

Крім того, низька вартість технології транспортування порівняно з іншими видами транспорту та енергоефективним й екологічно чистим природним паливом сприятиме зростанню ринку Hyperloop. Тим не менше, небезпека технічних збоїв і браку електроенергії значно обмежує ринок. І навпаки, очікується, що процес дезактивації трафіку забезпечить потенційні можливості для розширення ринку.

Серед важливих критеріїв, які впливають на вибір надшвидкої транспортної системи Hyperloop, – соціально-економічний стан, приміський спосіб життя, сприйняття технологій, демографічні умови, доступність інфраструктури та глобальні економічні умови.

Основними бар'єрами щодо розвитку транспорту п'ятого покоління для України виступають не лише недостатнє фінансування інноваційного розвитку транспорту України, відсутність мотивації до «екологізації» транспортної системи, бюрократизм та корупованість, а й відсутність необхідного інституційного середовища, що, наприклад, створено в європейських країнах.

Задля розвитку в Україні транспорту п'ятого покоління необхідно працювати над створенням необхідного інституційного середовища та імплементацією законодавства ЄС, паралельно досягаючи високої економічної та екологічної ефективності функціонування транспортних систем.

Тож ті країни, які мають великі площі, високу щільність населення та амбітні плани щодо розширення HSR, становлять цільовий сегмент для впровадження системи Hyperloop. Україна також має шанси потрапити у цю категорію.

В Україні такі системи, як Hyperloop та HSR, можуть існувати паралельно. Кожен із цих видів транспорту може зайняти свої частки як у пасажирських, так і у вантажних перевезеннях. HSR та Hyperloop у пасажирських перевезеннях становитимуть основну конкуренцію авіаційному транспорту, насамперед щодо швидкості та екологічності, оскільки ці види транспорту є високоекологічними. Так, HSR може займати нішу пасажирських перевезень у діапазоні від 150 км до 900 км, авіаційний – від 600 км і вище, а Hyperloop є досить гнучким у цьому сенсі та може займати нішу від 300 км (між кінцевими станціями). Через це від авіаційних

компаній можна очікувати спротив щодо уведення таких систем перевезень в Україні.

Зважаючи на середні швидкості залізничного руху в Україні – 58,2 км/год (так, пасажирський нічний поїзд їде із середньою швидкістю 43,2 км/год, нічний експрес – 57,4 км/год, а Інтерсіті та Інтерсіті + їдуть зі швидкістю 80,6 км/год) та на те, що високошвидкісних перевезень в Україні наразі немає, а лише швидкісні (що пов'язано зі спільним використанням інфраструктури для пасажирських та вантажних залізничних перевезень), то для впровадження в Україні швидкісного руху – як HSR, так і Hyperloop – необхідне будівництво саме нових ліній. Для HSR нові лінії мають бути побудовані з урахуванням Спільних стандартів, напрацьованих у ЄС. На сьогодні вартість будівництва проекту HSR для України може обійтись приблизно в 23 млрд дол. США. Перевагами HSR, порівняно з Hyperloop, є: більша кількість проміжних зупинок без суттєвої втрати швидкості, тоді як швидкість Hyperloop при відстані між зупинками в 55 км знизиться до 550 км/год; а от при перевезеннях на далекі відстані Hyperloop має безперечну перевагу.

Таким чином – як основний концептуальний напрям розробки ВШНТ типу Hyperloop – рекомендується використання технологій магнітолевітуючого транспорту (Maglev). На сьогоднішній день у рамках технологій Maglev існують розробки магнітолевітаційних систем (МЛС), систем магнітного підвісу, електроприводів, енергозабезпечення, управління і бортового електропостачання. Вони можуть бути доопрацьовані до умов експлуатації при більш високих швидкостях, які декларуються в технологіях Hyperloop. Крім того, в Україні напрацьовано значний науково-технічний доробок щодо ключових аспектів технологій Maglev.

При проектно-конструкторських роботах зі створення ВШНТ типу Hyperloop рекомендується використання МЛС з лінійними синхронними двигунами в поєднанні з магнітним підвісом на основі технології Inductrack на постійних магнітах. Як альтернатива можливий розгляд лінійних асинхронних двигунів і/або використання електродинамічного підвісу на базі кріомодулів (надпровідних магнітів).

Пропонується розглядати комплексну систему енергозабезпечення як від зовнішньої енергомережі, так і за рахунок автономних джерел енергії (фотоелектричних панелей і вітроенергетичних установок). Як накопичувачі енергії можуть застосовуватися високонадійні, енергоємні, в тому числі й літєві акумуляторні батареї; для бортового електропостачання перспективною видається безконтактна система живлення, що включає лінійні індукторні генератори й акумуляторні батареї.

Як концептуальні напрями щодо забезпечення герметичності ВШНТ Hyperloop пропонується застосувати техніку і технологію контролю герметичності за методом фіксованих об'ємів, що дозволяють незалежно від змін параметрів зовнішнього середовища з високою точністю визначати ступінь фактичної величини сумарної негерметичності вакуумованих систем ВШНТ без використання індикаторних газів, вакуумних камер і контрольних течій. Цей метод орієнтований на експрес-контроль герметичності виробів при виявленні мінівитоків на великих обсягах або коли зовнішня поверхня об'єкта контролю перебуває у важкодоступному місці.

При розробці вакуумної транспортної системи пропонується розглянути діапазон тиску у шляхопроводі від 0,01 до 0,1 атмосферного. Цей діапазон дозволяє зменшити аеродинамічний опір капсули на 90÷99%. Подальше зниження тиску в шляхопроводі аж до 0,001 атмосферного лише частково зумовлює зменшення відсотків витрат на подолання аеродинамічного опору, тоді як витрати на підтримання форвакууму зростатимуть у геометричній прогресії.

Для вирішення перерахованих вище проблем необхідне виконання фундаментальних досліджень, побудова коректних математичних моделей, розвиток прикладних методів створення Hyperloop. Результати перерахованих теоретичних і прикладних робіт повинні давати вченим і конструкторам можливість при проєктуванні й доведенні системи оцінювати стійкість руху, динамічні характеристики та якості ВШНТ, які гарантували б безпеку, надійність і комфортність для пасажирів та збереження вантажів.

Також необхідне створення експериментальних стендів і полігонів для тестування вакуумованого трубопровідного ВШНТ Нуреглоор, у тому числі Maglev-підсистем. Це обумовлено тим, що розробка транспорту п'ятого покоління можлива лише при ретельних перевірках на експериментальних полігонах, наприклад у м. Дніпро.

Сьогодні для створення в Україні транспорту п'ятого покоління типу Нуреглоор необхідне фінансування фундаментальних наукових та прикладних розробок, а також впровадження розробок, що вже запущені у виробництво у вітчизняній промисловості.

Перелік скорочень, умовних позначень, одиниць і термінів

- ВШМ, HSR – високошвидкісні залізничні магістралі
HTT – Hyperloop Transportation Technologies
VH1 – Virgin Hyperloop One
ВШНТ – високошвидкісний наземний транспорт
МСЗ, UIS – Міжнародний союз залізниць
Maglev – магнітолевітуючий транспорт
Maglev Systems – магнітолевітаційні транспортні системи
ТЛС – тягово-левітаційна система
SNCF – Національна компанія французьких залізниць
AGV (Automotrice a grande vitesse) – високошвидкісний
самохідний вагон
LGV – спеціально побудовані шляхи
DB (Deutsche Bahn) – Німецька державна залізнична компанія
ICE – Inter City Express
AVE (Alta Velocidad Española) – Іспанська високошвидкісна
залізниця
RENFE (Red Nacional de Ferrocarriles Españoles) – Іспанська
державна компанія
ADIF (Administrador de Infraestructuras Ferroviarias) – Іспанський
національний оператор управління інфраструктурою
FS (Ferrovie Stato) – Італійська державна залізниця
NTV (Nuovo Trasporto Viaggiatori-Italo) – перший італійський
приватний залізничний оператор Italo
TREVI (TRENolo Veloce Italiano) – італійський Fast Train
ETR – високошвидкісний потяг
ККД – коефіцієнт корисної дії
KIMM – Корейський інститут машинобудування і матеріалів
IMB (Maglev) – Міжнародна рада Maglev
JR-Maglev (Japan Railway Maglev) – японська система
швидкісних поїздів на магнітній підвісці
Japan Railway Technical Research Institute – Японський
дослідницький інститут залізничної техніки
EDS (Electrodynamic suspension) – електродинамічна підвіска

EMS (Electromagnetic suspension) – електромагнітна підвіска
Inductrack System – пасивна підвіска постійного магніту
LLNL – Ліверморська національна лабораторія ім. Е. Лоуренса
Maglev Train Shanghai Transrapid – проєкт Трансрапід Maglev
Шанхай
JR Central – Центральна японська залізнична компанія
JR-Maglev MLX01 – триколісний потяг
L Zero – серія L0
Інчхон Maglev – магнітна лінія в Південній Кореї
LIM – двигун лінійного асинхронного двигуна
NAP (on-Pod Network Access Panel) – система зв'язку
HTT – компанія Hyperloop Transportation Technologies
H1 – компанія Virgin Hyperloop One
Devloop – повномасштабний трек
ЧДД (NPV) – чистий дисконтований дохід
TSI (Technical Specifications for Interoperability) – технічні
стандарти інтероперабельності
ERTMS – Європейська система управління залізничним рухом)
ETCS – Європейська система управління поїздом
GSM-R – Глобальна система мобільного зв'язку залізниць
TSI Energy – системи тягового електропостачання
HS – високошвидкісні стандарти

Наукове видання

Гесць Валерій Михайлович
Волошин Олексій Іванович
Дзензерський Віктор Олександрович
Никифорок Олена Ігорівна

РОЗВИТОК ЕКОНОМІЧНИХ ТА НАУКОВО-ТЕХНІЧНИХ ОСНОВ ТРАНСПОРТУ П'ЯТОГО ПОКОЛІННЯ

Редактори: *І.І. Бажал, А.К. Кокошко*
Оригінал-макет: *С.В. Чимбай*

Підписано у світ 15.07.2020 р.
Об'єм даних 5,51 Мб

ДУ «Інститут економіки та прогнозування НАН України»
вул. Панаса Мирного, 26, м. Київ, 01011
тел. (044) 254-20-36, факс (044) 280-88-69
E-mail: eip@ief.org.ua