

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ ТА АВТОМОБІЛЬНІ ДОРОГИ

УДК 656.2.027:004.9-047.37

М. Б. КУРГАН¹, Д. М. КУРГАН², Н. П. ХМЕЛЕВСЬКА³, Д. Л. КОВАЛЬСЬКИЙ⁴

¹Каф. «Транспортна інфраструктура», Український державний університет науки і технологій, ННІ ДІПТ, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 48, ел. пошта m.b.kurhan@ust.edu.ua, ORCID 0000-0002-8182-7709

²Каф. «Транспортна інфраструктура», Український державний університет науки і технологій, ННІ ДІПТ, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 42, ел. пошта d.m.kurhan@ust.edu.ua, ORCID 0000-0002-9448-5269

³Каф. «Транспортна інфраструктура», Український державний університет науки і технологій, ННІ ДІПТ, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 48, ел. пошта n.p.hmelevska@ust.edu.ua, ORCID 0000-0002-2360-8671

⁴Каф. «Транспортна інфраструктура», Український державний університет науки і технологій, ННІ ДІПТ, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 42, ел. пошта kvalskyid@gmail.com, ORCID 0000-0002-0247-2074

Перспективи впровадження високошвидкісного руху на залізницях України

Мета. ЄС має амбітну мету – суттєво розширити мережі високошвидкісних залізничних ліній. Наразі Україна не має прямого досвіду будівництва високошвидкісних залізниць порівняно з європейськими проєктами. Незважаючи на його відсутність, Україна має стратегію розвитку високошвидкісного залізничного сполучення. Дослідження спрямовано на аналіз та обґрунтування умов, за якими будівництво магістралі Київ – Львів – Варшава може стати економічно доцільним проєктом, який принесе значні економічні, соціальні та екологічні вигоди. **Методика.** Для оцінки ефективності будівництва високошвидкісної магістралі на новій трасі автори застосували модель прогнозування й оцінки ефективності здійснення залізничних перевезень з урахуванням усіх витрат за показником NPV (Net Present Value of Discounted Cash Flow). NPV служить потужним інструментом для оцінки інвестиційних проєктів, що дозволяє приймати обґрунтовані фінансові рішення з урахуванням обліку часової вартості грошей і максимізації прибутковості інвестицій. **Результати.** У ході дослідження автори встановили, за яких умов будівництво магістралі Київ – Львів – Варшава може стати економічно доцільним проєктом. У разі збільшення обсягів пасажирських поїздів чистий дисконтований дохід зростає за лінійним законом, величина якого залежить від вартості будівництва високошвидкісної магістралі. Для збільшення прибутковості проєкту важливіше зосередитися на збільшенні обсягів перевезень, ніж на зниженні вартості будівництва. **Наукова новизна.** Нові результати базуються на застосуванні таких наукових підходів, як усебічне й детальне вивчення різних аспектів проєктування високошвидкісних магістралей у Європі, що надало можливість підвищити інтегрованість української і європейської транспортних систем та рекомендувати варіанти з організації високошвидкісного руху поїздів в Україні. **Практична значимість.** На основі отриманих результатів можливий подальший розвиток залізничної інфраструктури на напрямках упровадження високошвидкісного руху поїздів, здійснюваного шляхом інноваційного розвитку і вдосконалення науково-технічного потенціалу. Розв'язання питань упровадження методів аналізу й оцінки під час вибору варіантів високошвидкісних магістралей є основою для будівництва траси високошвидкісних магістралей на території України.

Ключові слова: високошвидкісний залізничний рух; залізнична колія; залізнична інфраструктура; інноваційні технології; чистий дисконтований дохід

Вступ

Високошвидкісна залізниця є комфортним, безпечним, гнучким та екологічно доцільним видом транспорту. Починаючи з 2000 року, Європейський Союз виділив 23,7 мільярди євро

спільного фінансування для підтримки розвитку високошвидкісної залізничної інфраструктури.

Загальна довжина мережі станом на початок 2025 року становить майже 12 000 км. Лідерами за довжиною високошвидкісних ліній є Іспанія –

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ ТА АВТОМОБІЛЬНІ ДОРОГИ

майже 4,0 тисячі кілометрів, Франція – понад 2,7 тисячі кілометрів.

ЄС має амбітну мету – збільшити довжину високошвидкісних ліній утричі до 2030 року. Утім, Європейська комісія зазначає, що наразі існує лише набір національних високошвидкісних залізничних мереж (ВШМ), які планували та будували окремі держави-члени без достатньої міждержавної координації. У результаті лінії, що перетинають національні кордони, не є пріоритетними для окремих країн, попри підписані міжнародні угоди та вимоги Регламенту TEN-T щодо створення основних транскордонних коридорів.

Сучасний огляд поточного стану ВШМ і викликів, з якими вони стикаються, представлено в статті [13]. Дослідження [8] на прикладі Іспанії показує проблеми інтеграції високошвидкісних залізниць у пан'європейську мережу.

Європейська комісія та Європейський інвестиційний банк розробили стратегію з інтеграції залізничних мереж України, Молдови та Євро-союзу. Основний висновок проведеного дослідження полягає в необхідності побудови в Україні та Молдові нової магістральної мережі з колією 1 435 мм, яка працюватиме паралельно з наявною колією 1 520 мм на двох принципових засадах, по-перше, євроколія 1 435 мм буде призначена для швидкісних перевезень, по-друге, розвиток магістральної мережі 1 435 мм здійснюватиметься поетапно – із заходу на схід [2, 6, 9, 10].

У Національній транспортній стратегії України [5] зазначено, що основні міста повинні бути зв'язані євроколією. Планувалося, що в 2021 року розпочнеться робота над проектом будівництва в Україні залізничної мережі європейського стандарту, по якій зможуть їздити поїзди із західних країн, а повністю інтегрувати українську залізницю з європейською мережею передбачалося до 2025 року. Основними містами, з яких будуть прямувати поїзди за кордон, стануть Київ, Харків, Львів та Одеса. Згідно з новим проектом, поїзди будуть рухатися зі швидкістю від 300 до 350 кілометрів на годину. Новий маршрут дозволить значно скоротити час руху до столиці.

Мета

Автори дослідження мають за мету показати, за яких умов будівництво магістралі Київ – Львів – Варшава може стати економічно доцільним проектом, який принесе значні економічні, соціальні та екологічні вигоди.

Методика

Світовий досвід будівництва високошвидкісних магістралей можна розділити на два варіанти – японський і західноєвропейський. Їх особливості детально описані в монографії [4]. Відзначимо в узагальненому вигляді основні з них.

Японський варіант характеризується практично повною ізолюваністю колійних обладнань ВШМ від звичайних залізниць. Це викликало необхідність спорудження на всій ВШМ нових прохідних пасажирських станцій із повним комплексом обладнань. Для забезпечення зручності пересадки пасажирів з поїздів наявної мережі на високошвидкісні ці станції по можливості суміщають на одній площадці зі станціями звичайних залізниць.

Західноєвропейський варіант передбачає використання наявних станцій, як правило, реконструйованих і розширених. Власне пасажирські операції виконують на наявних пасажирських комплексах, на які по спеціальних з'єднаннях заходить частина високошвидкісних поїздів.

Оскільки в Україні розглядають варіант ВШМ європейського стандарту (1 435 мм), а всі наявні колії мають ширину 1 520 мм, то рекомендовано прийняти японський варіант з ізолюваністю колійних обладнань ВШМ від звичайних залізниць.

У зв'язку з інтенсивним розвитком процесів інтеграції залізничного транспорту України у європейську транспортну систему великого значення набувають такі питання, як функціонування міжнародних транспортних коридорів (МТК), упровадження спеціалізованого рухомого складу, застосування європейських технологій роботи прикордонних станцій. З урахуванням результатів вітчизняних і зарубіжних наукових розробок намічено шляхи вирішення проблеми застосування комплексного підходу до модернізації транспортних коридорів у межах України з метою підвищення швидкості руху поїздів і скорочення терміну обігу рухомого складу.

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ ТА АВТОМОБІЛЬНІ ДОРОГИ

Питання перспективи розбудови інфраструктури в напрямку Румунії, Молдови і Польщі досліджено в роботі [1]. Стаття спрямована на вирішення актуальних завдань інфраструктурного розвитку в регіоні та має наукову цінність завдяки використанню передових методів та міжнародних стандартів. Водночас вона надає практичні рекомендації щодо впровадження конкретних проєктів і стратегій для поліпшення транспортної інфраструктури в зазначеному напрямку.

Особливого значення набуває питання продовження європейської колії 1 435 мм від кордонів Європи на територію України. В Україні вже є досвід використання європейської колії [3].

Для оцінки залізничних проєктів перевагу надають методам на основі визначення чистого дисконтованого доходу (Net Present Value of Discounted Cash Flow, NPV). NPV служить потужним інструментом для оцінки інвестиційних проєктів, що дозволяє приймати обґрунтовані фінансові рішення з урахуванням обліку часової вартості грошей і максимізації прибутковості інвестицій [7, 12, 14].

Розглянемо можливість і доцільність використання цих методів під час впровадження високошвидкісного руху на залізницях України, табл. 1.

Таблиця 1

Призначення методів аналізу, переваги й недоліки

Table 1

Purpose of analysis methods, advantages, and disadvantages

Вид аналізу	Призначення	Можливості	Сильні сторони	Слабкі сторони	Приклади
1. SWOT-аналіз	Використовують для оцінки сильних (Strengths), слабких (Weaknesses) сторін, можливостей (Opportunities) та загроз (Threats) організації чи проєкту	Виявлення внутрішніх і зовнішніх чинників, що впливають на успіх проєкту; підтримка стратегічного планування та прийняття рішень	Високий попит на міжнародні перевезення, наявна інфраструктура	Обмежена кількість рухомого складу європейської колії; конкуренція з автобусними перевізниками	Запуск маршруту Київ – Варшава через Ковель, який має скоротити час подорожі між Україною та Польщею
2. Аналіз вартості-користі (Cost-Benefit Analysis, CBA)	Оцінює співвідношення витрат і вигод від проєкту для визначення його економічної доцільності	Вимірювання фінансової ефективності інвестицій; обґрунтування вибору між кількома проєктами	Скорочення часу подорожі, стимулювання бізнесу та туризму	Землевідведення, прокладання колій 1 435 мм, електрифікація	Будівництво високошвидкісної магістралі Київ – Львів – Варшава
3. Ризик-аналіз	Ідентифікація, оцінка та управління ризиками, пов'язаними з реалізацією проєкту	Визначення ймовірності виникнення ризиків і їх впливу на результат; розробка заходів для мінімізації негативного впливу	Підвищені опори, дренажні системи	Коливання рівня води, можливі паводки; затримки в постачанні матеріалів	Будівництво моста через річку Дніпро на лінії Київ – Черкаси

Продовження таблиці 1

Continuation of Table 1

Вид аналізу	Призначення	Можливості	Сильні сторони	Слабкі сторони	Приклади
4. Аналіз конкурентоспроможності	Вивчення ринкової позиції організації або проєкту стосовно конкурентів	Оцінка унікальних переваг і недоліків; формування стратегій для підвищення конкурентоспроможності	Центральне розташування вокзалів, відсутність контролю безпеки	Довший час подорожі порівняно з літаком	Порівняння нового швидкісного поїзда Київ – Харків з авіарейсом
5. Оцінка впливу на навколишнє середовище (Environmental Impact Assessment, EIA)	Аналіз екологічних наслідків реалізації проєкту	Визначення можливих негативних ефектів для довкілля; розробка заходів для пом'якшення впливу на природу	Створення екодуків, шумозахисних екранів; використання безшумного рухомого складу	Порушення природних екосистем, знищення флори та фауни, шум	Будівництво нової лінії Львів – Ужгород через Карпатський біосферний заповідник

Наведені в табл. 1 методи використовують для комплексного дослідження проєктів або рішень, що дає змогу підвищити ефективність управління та мінімізувати ризики в разі досягнення стратегічних цілей. Кількісна оцінка методів аналізу є важливим етапом для вибору найкращого підходу в процесі ухвалення рішень щодо перебудови залізниць України на європейський стандарт (1 435 мм).

Наразі Україна не має прямого досвіду будівництва високошвидкісних залізниць порівняно з європейськими проєктами. Незважаючи на його відсутність, Україна має стратегію розвитку високошвидкісного залізничного сполучення. Такий проєкт, як будівництво ВШМ Київ – Львів – Варшава свідчать про прагнення інтегруватися в європейську транспортну систему.

Розглянемо застосування аналізу вартості-користі (СВА) в проєкті Київ – Львів – Варшава (п.2, табл. 1), який передбачає визначення чистого приведенного доходу (NPV_t).

Оскільки будівництво високошвидкісних магістралей – це масштабний проєкт, який, як правило, ініціюють на державному рівні, то й аналіз вартості-користі (СВА) зазвичай проводять за участю державних органів, наукових інститутів

та, можливо, із залученням міжнародних консультантів.

Перелік даних, які використано для проведення СВА, є досить великим і містить:

- дані про поточний стан транспортної системи: обсяги перевезень, структура пасажиро- та вантажопотоків, швидкість руху, щільність транспортних потоків тощо;
- прогнози розвитку економіки та населення: очікуване зростання ВВП, зміна чисельності населення, міграційні процеси тощо;
- соціально-економічні показники регіонів: рівень доходів населення, зайнятість, інвестиції тощо;
- дані про вартість будівництва та експлуатації магістралі: кошторисні розрахунки, ціни на будівельні матеріали, енергоносії тощо;
- дані про екологічні наслідки: оцінка впливу на довкілля, витрати на заходи зі зменшення негативного впливу;
- дані про соціальні наслідки: оцінка впливу на зайнятість, розвиток регіонів, безпеку руху тощо.

Зупинимося на двох пунктах, які є визначальними для оцінки інвестиційного проєкту за методом аналізу вартості-користі (СВА): обсяги перевезень і вартість будівництва

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ ТА АВТОМОБІЛЬНІ ДОРОГИ

Для оцінки ефективності будівництва високошвидкісної магістралі на новій трасі автори розробили модель прогнозування й оцінки ефективності здійснення залізничних перевезень з урахуванням усіх витрат за показником NPV [3, 11]:

$$NPV_t = \sum_{t=0}^T \frac{[(D_t - C_t - P_t) - K_t]}{(1 + E_m)^t} \rightarrow \max, \quad (1)$$

де D_t – прогнозні річні доходи, що будуть отримані Укрзалізницею від упровадження швидкісного руху; C_t – прогнозні річні експлуатаційні витрати (без амортизаційних відрахувань) від упровадження швидкісного руху, які визначають як сумарні експлуатаційні витрати (матеріали, заробітна плата, нарахування на заробітну плату, паливо, електроенергія тощо); P_t – прогнозна величина податку на прибуток за податковим обліком у розрахунковому році від упровадження швидкісного руху поїздів; K_t – прогнозні інвестиції, необхідні для впровадження швидкісних магістралей у розрахунковому році, які визначають як річну сумарну вартість (без ПДВ) будівництва, реконструкції та технічного переоснащення інфраструктури залізниць, інвестицій на придбання рухомого складу та реконструкцію наявних депо для технічного обслуговування та ремонту поїздів швидкісного руху; E_m – модифікована норма дисконту, невизначеність і ризики під час оцінки ефективності варіантів; t – номер розрахункового року: $t = 0, 1, 2, \dots T$ (T – розрахунковий період).

Результати

Розроблена модель дозволяє досліджувати й прогнозувати доходи, які отримає АТ «Укрзалізниця» від упровадження швидкісного руху поїздів для різного рівня прогнозу й обсягів перевезень на перспективу. Обсяги перевезень враховують транзитні потоки пасажирів через територію України й чисельність населення в містах, охоплених високошвидкісною мережею [4]. Оскільки на цей час більшість даних невідомі, то автори розглядають різні обсяги перевезень і встановлюють значення, за яких буде досягнуто позитивний ефект.

Під час проектування високошвидкісних магістралей (ВШМ) географічні та ландшафтні умови відіграють ключову роль для визначення вартості будівництва, вибору технологій та експлуатаційних параметрів. Для встановлення вартості будівництва ВШМ в Україні було використано середні оцінки вартості на основі європейського досвіду. Наведемо порівняльний аналіз умов проектування й будівництва ВШМ у Франції, Німеччині, Іспанії та Італії (табл. 2).

Порівняльний аналіз ключових факторів, що впливають на вартість та терміни будівництва високошвидкісних залізниць у країнах Європи наведено в табл. 3.

Найвищі витрати на будівництво ВШМ спостерігаються в Німеччині й Італії, найнижчі – в Іспанії. Франція займає проміжні позиції, а Італія має додаткові витрати через сейсмічну активність і культурну спадщину.

Для проектування ВШМ Київ – Львів – Варшава використано середні оцінки вартості на основі європейського досвіду, з урахуванням географічних, технічних і регуляторних умов України та Польщі. Розрахунок зроблено з урахуванням таких припущень і факторів:

1. Орієнтовна середня вартість:

- рівнинні ділянки (70–80 % маршруту): 15–25 млн євро/км;
- складні ділянки з тунелями і мостами (10–15 %): 40–80 млн євро/км;
- урбанізовані ділянки з необхідністю обходу (5–10 %): 50–100 млн євро/км.

2. Фактори, що впливають на вартість:

- географічні умови: лінія проходитиме здебільшого рівниною, але в Карпатах між Львовом і кордоном Польщі потрібно врахувати тунелі або віадук;
- технічні рішення: вибір між стандартами UIC і можливим використанням суміщеної колії 1 435 мм і 1 520 мм у перехідних вузлах;
- вимоги до екології: у Польщі та ЄС екологічні обмеження суворіші, ніж в Україні, що збільшить витрати на захист навколишнього середовища;
- ціна землі: в Україні, особливо в сільській місцевості, ціна землі нижча, ніж у Польщі чи Західній Європі.

3. Середні витрати на подібні проекти:

- вартість будівництва ВШМ у Польщі варіюється в межах 20–40 млн євро/км для нових ліній;

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ ТА АВТОМОБІЛЬНІ ДОРОГИ

– в Україні залежно від масштабів будівництва і застосованих технологій – 15–30 млн євро/км є реалістичною оцінкою для рівнинних ділянок.

4. Прогноз для ВШМ Варшава – Львів – Київ:

– довжина маршруту: орієнтовно 820–900 км (залежно від обраного маршруту). Середня вартість будівництва на всьому маршруті:

– для базового сценарію з помірною кількістю тунелів і мостів: 20–30 млн євро/км;

– для сценарію з більш складними умовами та інтеграцією в міста: 30–50 млн євро/км.

З урахуванням вищевикладеного можна прийняти оцінку вартості (табл. 4).

Із табл. 4 випливає, що середня вартість будівництва ВШМ Варшава – Львів – Київ може скласти 20–30 млн євро/км з можливим збільшенням до 40–50 млн євро/км на складних ділянках. Загальні витрати можуть перевищувати 20–25 мільярдів євро залежно від обраного маршруту, технічних рішень і регуляторних вимог.

Таблиця 2

Географічні особливості проєктування й екологічні вимоги до ВШМ в країнах Європи

Table 2

Geographical features of HSR design and environmental requirements in european countries

Країна	Географічні особливості	Вплив на будівництво ВШМ	Екологічні вимоги
Франція Помірна щільність населення (близько 123 осіб/км ²). Основні міста з'єднано прямими маршрутами без потреби в складній інтеграції в густо забудованих районах	Переважає рівнинний рельєф, зокрема в північній і центральній частинах країни Гірські регіони на півдні (Альпи, Піренеї) впливають лише на окремі ділянки	Відносно низька кількість тунелів і мостів у порівнянні з іншими країнами Будівництво перших ліній (LGV) було менш складним через сприятливі природні умови	Високі екологічні стандарти, але рівень шумозахисних заходів і контроль за впливом на природні екосистеми добре регульовані й менш дорогі порівняно з деякими іншими країнами
Німеччина Дуже висока щільність населення (близько 240 осіб/км ²) та щільна міська забудова	Різноманітний рельєф: гори в центральній частині, пагорби та рівнини на півночі, густі лісові масиви Висока щільність міської забудови	Часте використання тунелів і мостів для подолання природних бар'єрів Складна інтеграція ліній у густозаселених районах	Одні з найжорсткіших у Європі Суворі стандарти з шумозахисту, ландшафтного відновлення та мінімізації впливу на природні зони
Іспанія Низька щільність населення (близько 94 особи/км ²) Малі витрати на землю та відносно простий доступ до територій для будівництва	Гористий рельєф займає значну частину території (Сьєрра-Морена, Кантабрійські гори) Велика кількість пустельних і малонаселених районів	Широке використання тунелів і мостів у гірських районах Відносно низька вартість земель через малу щільність населення	Хоча Іспанія дотримується європейських стандартів, її вимоги менш жорсткі, ніж у Німеччині або Італії Пріоритет надано використанню відкритих просторів, що знижує потребу в тунелях і захисних спорудах

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ ТА АВТОМОБІЛЬНІ ДОРОГИ

Продовження таблиці 2

Continuation of Table 2

Країна	Географічні особливості	Вплив на будівництво ВШМ	Екологічні вимоги
Італія Середня щільність населення (близько 200 осіб/км ²), але велика кількість густозаселених регіонів у північній частині країни Часте будівництво в міських і передміських зонах	Дуже складний рельєф із численними гірськими масивами (Апенніни, Альпи) Висока щільність міської забудови, особливо на півночі	Величезна кількість тунелів (на деяких лініях понад 60% траси проходить під землею) Високі витрати на будівництво мостів і тунелів, а також посилення сейсмостійкості	Жорсткі, з особливим акцентом на сейсмостійкість, охорону природи та історичних пам'яток Значні витрати на шумозахист, екологічні коридори та захист ландшафтів

Таблиця 3

Порівняльний аналіз основних факторів, що визначають вартість будівництва ВШМ

Table 3

Comparative analysis of key factors determining HSR construction costs

Критерій	Країна			
	Франція	Німеччина	Іспанія	Італія
Вартість робочої сили	Висока	Дуже висока	Низька	Середня
Інноваційні технології	Дуже високий рівень	Високий рівень	Оптимізовані для економії	Сейсмостійкість та автоматизація
Отримання дозволів	Помірний рівень складності	Дуже складно	Відносно просто	Складно
Екологічна експертиза	Високі вимоги	Дуже високі вимоги	Гнучкі вимоги	Жорсткі вимоги
Узгодження проєктів	Ефективне	Тривалий процес	Прискорене	Бюрократично складне
Вартість, млн євро/км	20–29	28–50	16–19	30–51

Таблиця 4

Вартість будівництва ВШМ Варшава – Львів – Київ

Table 4

Construction cost of the HSR Warsaw–Lviv–Kyiv

Ділянка	Довжина, км	Середня вартість, млн євро/км	Загальна вартість, млн євро
Варшава – кордон	350	25	8 750
Кордон – Львів	200	30	6 000
Львів – Київ	300	20	6 000
Загальні дані	850	25–30	21 250–25 500

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ ТА АВТОМОБІЛЬНІ ДОРОГИ

Для виконання розрахунків за формулою (1) необхідно мати вихідні дані щодо високошвидкісного рухомого складу на напрямку Київ – Львів – Варшава. Зараз це питання потребує додаткових досліджень.

Польща активно розвиває свою високошвидкісну залізничну мережу, має досвід експлуатації високошвидкісних поїздів, зокрема моделей Siemens Velaro. Польські залізниці також розглядають й інші сучасні моделі, такі як Alstom AGV та Bombardier Velaro.

Спроектовано високошвидкісну залізницю «Спиця № 5» між Травниками та Белжецем, що проходитиме найближче до українського кордону та дозволить продовжити її до Львова. Під час вибору рухомого складу для високошвидкісної залізниці «Спиця № 5» буде враховано такі фактори:

- технічні характеристики колії: максимальна швидкість, радіуси кривих, ухили;
- пасажиропотік: очікувана кількість пасажирів, структура поїздів (міжміські, регіональні);
- інтеграція з іншими лініями: сумісність із наявним рухомих складом, стандарти сполучення;
- економічні фактори: вартість придбання та обслуговування, енергоефективність.

Зважаючи на європейські стандарти та досвід інших країн, можна допустити, що для «Спиці № 5» буде розглянуто моделі рухомого складу, які вже успішно експлуатують у багатьох країнах Європи, що підтверджує їхню надійність та ефективність:

- Siemens Velaro: популярна модель, яку експлуатує багато європейських залізниць. Відрізняється високою швидкістю, комфортом та надійністю;
- Alstom AGV: інноваційний поїзд з активним нахилом кузова, що дозволяє розвивати високу швидкість на кривих ділянках колії;
- Bombardier Velaro: ще одна популярна модель, що відрізняється високою швидкістю та комфортом.

Передбачаючи інтеграцію з українською мережею, під час вибору рухомого складу необхідно враховувати перспективи продовження лінії в сторону Львова та сумісність із наявною інфраструктурою в Україні.

Для подальших розрахунків прийнято рухомий склад Siemens Velaro для високошвидкісного обслуговування, оскільки він сертифікований для роботи в Польщі та може бути адаптований для українських умов. Експлуатаційна швидкість 250–300 км/год, середня маса поїзда 500 тонн, пасажиромісткість 450–600 пасажирів.

Варіантні розрахунки за розробленою моделлю, формула (1), дозволили отримати результати, що представлені на рис. 1.

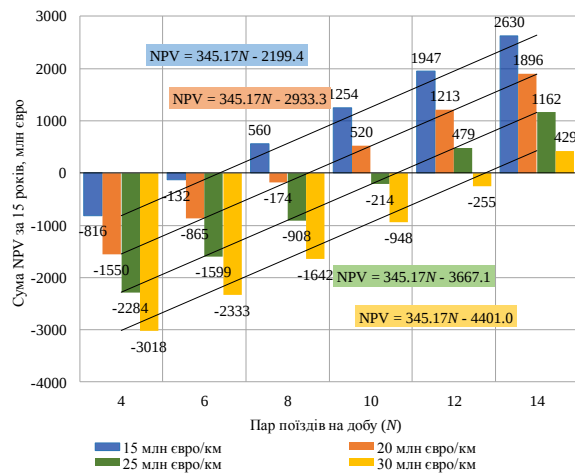


Рис. 1. Чистий дисконтований дохід залежно від кількості пасажирських поїздів і вартості будівництва

Fig. 1. Net Present Value depending on the number of passenger trains and construction cost

З аналізу рис. 1 випливає, що велике значення на остаточне рішення мають такі основні параметри, як вартість будівництва, яка була прийнята в діапазоні 15–30 млн євро/км, і обсяги пасажирських перевезень, прийняті від 4 до 14 пар поїздів на добу.

За відносно невисоких витрат (15 млн євро/км) позитивне рішення щодо будівництва нової високошвидкісної магістралі можна отримати вже в термін 12,5 років для кількості 7 пар поїздів на добу $\sum_{t=0}^T NPV_t = 126$ млн

євро, у разі вартості 20 млн євро/км – у термін 13,5 років для кількості 9 пар поїздів на добу $\sum_{t=0}^T NPV_t = 173$ млн євро; у разі вартості 25 млн євро/км – у термін 14 років для кількості

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ ТА АВТОМОБІЛЬНІ ДОРОГИ

11 пар поїздів на добу $\sum_{t=0}^T NPV_t = 133$ млн євро; за вартості 30 млн євро/км – у термін 14,5 років для кількості 13 пар поїздів на добу $\sum_{t=0}^T NPV_t = 84$ млн євро, рис. 2.

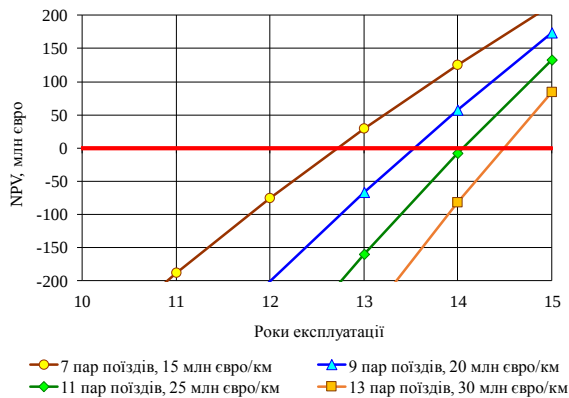


Рис. 2. Чистий дисконтований дохід для ВШМ
Варшава – Львів – Київ (1 435 мм)

Fig. 2. Net Present Value for the HSR
Warsaw – Lviv – Kyiv (1 435 mm)

У разі збільшення обсягів пасажирських поїздів чистий дисконтований дохід зростає за лінійним законом, величину якого можна визначити за формулою:

$$\sum_{t=0}^T NPV_t = 345,17 \cdot N - 146,77 \cdot B + 2,17 \quad (2)$$

де N – кількість пар пасажирських поїздів на добу; B – вартість будівництва високошвидкісної магістралі у млн євро віднесена до 1 км.

З аналізу формули (2) можна зробити такі висновки:

- коефіцієнт перед N (345,17) більший за абсолютним значенням, ніж коефіцієнт перед B (146,77). Це означає, що зміна обсягу перевезень на одну одиницю матиме більший вплив на значення NPV , ніж зміна вартості будівництва на одну одиницю;

- обидва коефіцієнти мають різні знаки: перед N – додатний, а перед B – від’ємний. Це означає, що збільшення обсягу перевезень призводить до збільшення NPV , а збільшення вартості будівництва – до зменшення NPV ;

– вільний член (2,17) відображає певний базовий рівень NPV , який не залежить від обсягу перевезень та вартості будівництва.

Згідно з наведеною формулою (2), обсяг перевезень (N) має більш суттєвий вплив на величину чистого дисконтованого доходу (NPV), ніж вартість будівництва (B). Це означає, що для збільшення прибутковості проекту важливіше зосередитися на збільшенні обсягів перевезень, ніж на зниженні вартості будівництва.

Наукова новизна та практична значимість

Нові результати базують на застосуванні таких наукових підходів, як усебічне й детальне вивчення різних аспектів проектування високошвидкісних магістралей у Європі, що надало можливість підвищити інтероперабельність української і європейської транспортних систем та рекомендувати варіанти з організації високошвидкісного руху поїздів в Україні.

На основі отриманих результатів можливий подальший розвиток залізничної інфраструктури на напрямках упровадження високошвидкісного руху поїздів, здійснюваного шляхом інноваційного розвитку і вдосконалення науково-технічного потенціалу.

Розв’язання питань упровадження методів аналізу й оцінки під час вибору варіантів високошвидкісних магістралей є основою для прокладання й будівництва траси високошвидкісних магістралей на території України.

Висновки

У роботі використано аналіз вартості-користі (Cost-Benefit Analysis), який надає можливість отримувати чистий приведений дохід (Net Present Value). Це найпоширеніший метод у країнах Європи, який дозволяє порівнювати вартість грошей у різні періоди часу й показує, чи проект принесе додаткову вартість.

За результатами проведеного дослідження встановлено, за яких умов будівництво магістралі Київ – Львів – Варшава може стати економічно доцільним проектом: за вартості 15 млн євро/км і 7 пар поїздів на добу, у разі вартості 20 млн євро/км і 9 пар поїздів на добу, за вартості 25 млн євро/км і 11 пар поїздів на добу,

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ ТА АВТОМОБІЛЬНІ ДОРОГИ

у разі вартості 30 млн євро/км і 13 пар поїздів на добу.

У випадку збільшення обсягів пасажирських поїздів чистий дисконтований дохід зростає за лінійним законом, величина якого залежить від вартості будівництва високошвидкісної магістралі. Для збільшення прибутковості проєкту важливіше зосередитися на збільшенні обсягів перевезень, ніж на зниженні вартості будівництва.

Будівництво високошвидкісної магістралі Київ–Львів–Варшава матиме значний вплив на економіку регіонів, через які вона пролягатиме. Основні позитивні ефекти:

– розвиток економічної активності: магістраль стане потужним стимулом для розвитку промисловості, сільського господарства, туризму та інших галузей економіки в регіоні;

– створення нових робочих місць: під час будівництва та експлуатації магістралі буде створено значну кількість робочих місць, що сприятиме зниженню рівня безробіття;

– залучення інвестицій: поява високошвидкісної магістралі зробить регіон більш привабливим для інвесторів, що сприятиме розвитку нових підприємств і бізнесів;

– збільшення обсягів торгівлі: магістраль поліпшить транспортну доступність регіону, що сприятиме збільшенню обсягів торгівлі з іншими регіонами України та країнами Європи;

– розвиток туризму: швидкісне сполучення між великими містами сприятиме розвитку туризму, що принесе додаткові доходи в регіон.

Для будівництва високошвидкісної магістралі можуть бути використані інноваційні технології, які дозволять забезпечити високу якість і безпеку спорудження, а також мінімізувати негативний вплив на довкілля.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Баль О. М., Болжеларський Я. В., Баб'як М. О., Терещак Ю. В., Солодяк Л. Й. Перспективи розбудови інфраструктури в напрямку Румунії, Молдови і Польщі. *Транспортні системи та технології*. 2023. Вип. 26. С. 14–29. DOI: <https://doi.org/10.15802/tstt2023/293340>
2. Водяний А. ЄС розробив стратегію переходу України на євроколію 1435 мм. *LIGA.net*. 2023. URL: <https://biz.liga.net/ua/all/transport/novosti/evrosoyuz-razrabotal-strategiyu-perehoda-ukrainy-na-evroputi-karta>
3. Курган М. Б., Курган Д. М. *Науково-технічне забезпечення залізничного сполучення Україна–Євросоюз*: монографія. Дніпро : ПФ «Стандарт-Сервіс». 2018. 268 с.
4. Курган М. Б., Курган Д. М. *Теоретичні основи впровадження високошвидкісного руху поїздів в Україні*: монографія. Дніпро : Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, 2016. 284 с.
5. *Національна транспортна стратегія України на період до 2030 року*. Міністерство інфраструктури України. URL: <https://ips.ligazakon.net/document/NT3297>
6. A European high-speed rail network: not a reality but an ineffective patchwork. *European Court of Auditors Publications a European high-speed rail network*. URL: <https://op.europa.eu/webpub/eca/special-reports/high-speed-rail-19-2018/en/>
7. Arga K., Susetyo B., Syafwandi S. Feasibility study of a railway construction project as intermodal transportation in Tanjung Perak port. *Sinergi*. 2021. Vol 25, No 1. P. 59–68. DOI: <https://doi.org/10.22441/sinergi.2021.1.008>
8. Buier N. The second coming of rail: the spanish high-speed rail- finance complex. *Antipode*. 2020. Vol. 52. Iss. 6. P. 1603–1623. DOI: <https://doi.org/10.1111/anti.12672>
9. Flaviu N. I. Railway border connections, double railway gauge in Romania during Ukraine crisis and development possibilities. *AIP Conference Proceedings*. 2023. Vol. 2928. Iss. 1. P. 190014. DOI: <https://doi.org/10.1063/5.0170536>
10. Hubar O., Markul R., Tiutkin O., Andrieiev V., Arbuzov M., Kovalchuk V. Study of the interaction of the railway track and the rolling stock under conditions of accelerated movement. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2020. Vol. 985. P. 1–8. DOI: <https://doi.org/10.1088/1757-899X/985/1/012007>

11. Kurhan M., Fischer S., Tiutkin O., Kurhan D., Hmelevska N. Development of High-Speed Railway Network in Europe: A Case Study of Ukraine. *Polytechnica Transportation Engineering*. 2024. Vol. 52. Iss. 2. P. 151–158. DOI: <https://doi.org/10.3311/PPtr.23464>
12. Priyanto S., Churniawan E., Darmawan E. S. Financial feasibility study and economic impact of Krl electrification project development yogyakarta – solo. *Jurnal Syntax Transformation*. 2023. Vol. 4. Iss. 7. P. 58–67. DOI: <https://doi.org/10.46799/jst.v4i7.760>
13. Russo F., Sgro D., Musolino G. Sustainable Development of Railway Corridors: Methods and Models for High Speed Rail (HSR) Demand Analysis. *Computational Science and Its Applications – ICCSA 2023 Workshops*. 2023. P. 527–538. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-031-37123-3_36
14. Venezia E. Cost–benefit analysis in high-speed railway projects: appraisal of methodological approaches and an initial social equity evaluation, a case study. *Sustainability*. 2023. Vol. 15. Iss. 14. P. 11344. DOI: <https://doi.org/10.3390/su151411344>

M. B. KURHAN¹, D. M. KURHAN², N. P. KHMELEVSKA³, D. L. KOVALSKYI⁴

¹Dep. «Transport Infrastructure», Ukrainian State University of Science and Technologies, SEI DIIT, Lazaryana St., 2, Dnipro, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 373 15 48, e-mail m.b.kurhan@ust.edu.ua, ORCID 0000-0002-8182-7709

²Dep. «Transport Infrastructure», Ukrainian State University of Science and Technologies, SEI DIIT, Lazaryana St., 2, Dnipro, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 373 15 42, e-mail d.m.kurhan@ust.edu.ua, ORCID 0000-0002-9448-5269

³Dep. «Transport Infrastructure», Ukrainian State University of Science and Technologies, SEI DIIT, Lazaryana St., 2, Dnipro, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 373 15 48, e-mail n.p.hmelevska@ust.edu.ua, ORCID 0000-0002-2360-8671

⁴Dep. «Transport Infrastructure», Ukrainian State University of Science and Technologies, SEI DIIT, Lazaryana St., 2, Dnipro, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 373 15 42, e-mail mail.kvalskyid@gmail.com, ORCID 0000-0002-0247-2074

Prospects for the Implementation of High-Speed Railway in Ukraine

Purpose. The European Union has an ambitious goal of significantly expanding the network of high-speed railway lines. Currently, Ukraine lacks direct experience in constructing high-speed railways compared to European projects. Despite this, Ukraine has a strategy for developing high-speed rail connections. This study aims to analyze and justify the conditions under which the construction of the Kyiv–Lviv–Warsaw high-speed rail corridor can become an economically viable project, bringing significant economic, social, and environmental benefits. **Methodology.** To assess the feasibility of constructing a high-speed railway along a new route, the authors applied a forecasting and efficiency evaluation model for railway transportation, considering all costs using the NPV (Net Present Value of Discounted Cash Flow) indicator. NPV serves as a powerful tool for investment project evaluation, allowing for informed financial decision-making by considering the time value of money and maximizing investment profitability. **Findings.** The study identifies the conditions under which the construction of the Kyiv–Lviv–Warsaw high-speed rail corridor can become an economically viable project. As passenger train volumes increase, the net discounted revenue grows linearly, with its magnitude depending on the construction costs of the high-speed railway. To enhance project profitability, it is more critical to focus on increasing transportation volumes rather than reducing construction costs. **Originality.** The new findings are based on the application of scientific approaches such as a comprehensive and detailed study of various aspects of high-speed railway design in Europe. This has enabled the improvement of the interoperability between Ukrainian and European transport systems and provided recommendations for organizing high-speed rail services in Ukraine. **Practical value.** Based on the obtained results, further development of railway infrastructure along high-speed rail corridors is possible through innovative advancements and the enhancement of scientific and technological potential. Addressing issues related to the implementation of analysis and evaluation methods for selecting high-speed rail options serves as the foundation for the planning and construction of high-speed railway routes in Ukraine.

Keywords: high-speed rail transport; railway track; railway infrastructure; innovative technologies; net present value

REFERENCES

1. Bal, O., Bolzhelarskyi, Ya., Babyak, M., Tereshchak, Yu., & Solodiak, I. (2023). Prospects of infrastructure development towards romania, moldova and poland. *Transport Systems and Transportation Technologies*, 26, 14–29. DOI: <https://doi.org/10.15802/tstt2023/293340> (in Ukrainian)

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ ТА АВТОМОБІЛЬНІ ДОРОГИ

2. Vodiani, A. (2023). EU readies plans for Ukraine's transition to European railway track. *LIGA.net*. Retrieved from <https://biz.liga.net/ua/all/transport/novosti/evrosoyuz-razrabotal-strategiyu-perehoda-ukrainy-na-evroputi-karta> (in Ukrainian)
3. Kurhan, M. B., & Kurhan, D. M. (2018). *Naukovo-tekhniche zabezpechennia zaliznychnoho spoluchennia Ukrainy–Yevrosoiuz: Monohrafiia*. Dnipro: PF «Standart-Servis». (in Ukrainian)
4. Kurhan, M. B., & Kurhan, D. M. (2016). *Teoretychni osnovy vprovadzhennia vysokoshvydkisnoho rukhu poizdiv v Ukraini: monohrafiia*. Dnipro: Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan. (in Ukrainian)
5. *Natsionalna transportna stratehiia Ukrainy na period do 2030 roku*. (2023). Ministry of Infrastructure of Ukraine. Retrieved from <https://mtu.gov.ua/news/28581.html> (in Ukrainian)
6. A European high-speed rail network: Not a reality but an ineffective patchwork (2018). *European Court of Auditors*. Retrieved from <https://op.europa.eu/webpub/eca/special-reports/high-speed-rail-19-2018/en/> (in English)
7. Arga, K., Susetyo, B., & Syafwandi, S. (2020). Feasibility study of a railway construction project as intermodal transportation in tanjung perak port. *Sinergi*, 25(1), 59-68. DOI: <https://doi.org/10.22441/sinergi.2021.1.008> (in English)
8. Buier, N. (2020). The Second Coming of Rail: The Spanish High-Speed Rail- Finance Complex. *Antipode*, 52(6), 1603-1623. DOI: <https://doi.org/10.1111/anti.12672> (in English)
9. Flaviu, N. I. (2023). Railway border connections, double railway gauge in Romania during Ukraine crisis and development possibilities. *AIP Conference Proceedings*, 2928(1), 190014. DOI: <https://doi.org/10.1063/5.0170536> (in English)
10. Hubar, O., Markul, R., Tiutkin, O., Andrieiev, V., Arbuzov, M., & Kovalchuk, O. (2020). Study of the interaction of the railway track and the rolling stock under conditions of accelerated movement. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 985(1), 1-8. DOI: <https://doi.org/10.1088/1757-899x/985/1/012007> (in English)
11. Kurhan, M., Fischer, S., Tiutkin, O., Kurhan, D., & Hmelevska, N. (2024). Development of High-Speed Railway Network in Europe: A Case Study of Ukraine. *Periodica Polytechnica Transportation Engineering*, 52(2), 151-158. DOI: <https://doi.org/10.3311/pptr.23464> (in English)
12. Priyanto, S., Churniawan, E., & Darmawan, E. S. (2023). Financial feasibility study and economic impact of krl electrification project development yogyakarta - solo. *Jurnal Syntax Transformation*, 4(7), 58-68. DOI: <https://doi.org/10.46799/jst.v4i7.760> (in English)
13. Russo, F., Sgro, D., & Musolino, G. (2023). Sustainable Development of Railway Corridors: Methods and Models for High Speed Rail (HSR) Demand Analysis. *Computational Science and Its Applications – ICCSA 2023 Workshops*, 527-538. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-031-37123-3_36 (in English)
14. Venezia, E. (2023). Cost–Benefit Analysis in High-Speed Railway Projects: Appraisal of Methodological Approaches and an Initial Social Equity Evaluation, A Case Study. *Sustainability*, 15(14), 11344. DOI: <https://doi.org/10.3390/su151411344> (in English)

Надійшла до редколегії: 02.12.2024

Прийнята до друку: 26.03.2025