

ЗБАЛАНСОВАНЕ РЕСУРСОКОРИСТУВАННЯ

УДК 536.7

DOI: 10.31471/2415-3184-2022-2(26)-48-57

*Л. Ю. Козак**Івано-Франківський національний
технічний університет нафти і газу*

ЕКОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ЗРОСТАННЯ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ЗАТРАТ ТРАНСПОРТНИХ СИСТЕМ

У статті розглянуто важливі питання ефективного використання енергії та екологічної безпеки довкілля, що тісно пов'язані між собою. Проаналізовано перспективи ефективного використання палива за збільшення загального числа транспортних засобів і підвищення їх швидкісних характеристик. Для цього проведено аналіз енергозатрат для двох випадків - міської транспортної системи і високошвидкісних міжміських сполучень. Досліджували вплив різних чинників - швидкості, опору повітря і тертя на втрати енергії транспортними засобами і шляхи їх зниження. Розглянуто транспортну систему зі спеціальним профільованим шляхопроводом, яким транспортний засіб рухається під дією сил гравітації. У такій транспортній системі енергія для руху періодично накопичується шляхом підняття транспортного засобу на певну висоту на маршрутних зупинках. За рахунок накопичення потенціальної енергії підтримується рух транспортного засобу. Для його розгону до необхідної швидкості використовується енергія гальмування. Повна рекуперація енергії під час гальмування та зниження коефіцієнта тертя кочення зумовлює значне зниження загальних витрат енергії на переміщення транспортних засобів. Наведено результати аналізу витрат енергії для традиційного міського транспорту в порівнянні із запропонованою транспортною системою. Додатково вивчали вплив розрідження повітря в спеціальних шляхопроводах на ефективність споживання енергії транспортними засобами. За значної економії енергії, використання запропонованої транспортної системи дозволить знизити хімічні та теплові викиди і значно покращити екологію.

Ключові слова: екологія, енергоефективність, профільовані шляхопроводи, теплові та хімічні викиди, рекуперація енергії, міський транспорт.

Постановка проблеми. Жодна проблема, мабуть, не хвилює сьогодні людство так як енергетична криза і тісно пов'язана з нею екологічна небезпека для довкілля. Зростання споживання енергії має найбільший вплив на довкілля, екосистему та біосферу загалом [1,2].

Однією з причин, що впливає на зростання споживання енергоресурсів є збільшення загального числа транспортних засобів і підвищення їх швидкісних характеристик. Розвиток світового науково-технічного прогресу, зростання чисельності населення і покращення його добробуту призвели до різкого збільшення енергоспоживання, зворотною стороною якого є виснаження вуглеводневих сировинних ресурсів. Припускають, що середньорічний світовий попит на первинну енергію щорічно зростає на 1,5%. Це призведе до загального зростання попиту на енергію на 40% до 2030 року. Різні сектори використання енергоресурсів сприятимуть зростанню попиту, але транспорт залишатиметься найбільшим споживачем енергії [3,4].

Поточний стан світової енергетики, що ґрунтується переважно на використанні органічного палива, стимулює пошук нових енергетичних джерел, зокрема нетрадиційних або відновлюваних. Окреме місце займають дослідження керованого термоядерного синтезу, які в перспективі дадуть змогу одержати екологічно чисте, практично безпечне та невичерпне джерело енергії [6].

Ще одна небезпека для навколишнього середовища, це є теплове забруднення. Основними джерелами теплового забруднення довкілля є викиди в атмосферу автомобільними двигунами, міськими котельнями та відпрацьованими водами теплоелектроцентралей (ТЕЦ). Для урбанізованих територій характерна поява над ними «теплової шапки». Глобальне теплове забруднення пов'язують з парниковим ефектом. Загалом теплове забруднення є різновидом

фізичного забруднення навколишнього середовища. Воно характеризується підвищенням температурного рівня, що перевищує природний рівень та має згубний вплив на всю екосистему [3].

Зі зростанням споживання енергії збільшуються теплові викиди в навколишнє середовище. Разом з парниковим ефектом це загрожує «тепловою смертю», але не всесвіту як передрікав Р. Клаузіус, а біосфері нашої Землі. І навіть, якщо людству вдасться вирішити питання забезпечення безмежною кількістю енергії за рахунок термоядерного її виробництва [6], то екологічні проблеми теплового забруднення навпаки зростуть. В обох випадках, чи через енергетичну кризу, чи навпаки за значних обсягів енергії одержаної за рахунок керованого термоядерного синтезу, слід обмежити споживання енергії у всіх галузях. Транспорт і промисловість повинні стати більш енергозберігаючими та “зеленими”, безпечними і «дружніми» до споживача та навколишнього природного середовища.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Найгостріші екологічні проблеми (зміна клімату, кислотні опади, загальне забруднення середовища та інші) безпосередньо чи опосередковано пов'язані з виробництвом, або з використанням енергії. Енергетиці належить першість у хімічному та інших видах забруднення: тепловому, аерозольному, електромагнітному, радіоактивному. Тому не буде перебільшенням сказати, що від вирішення енергетичних проблем залежить можливість вирішення основних екологічних проблем [1,2].

Найбільше енергії використовує транспорт, без якого неможливий би був розвиток науково-технічного прогресу. Разом з тим він є джерелом проблем, що пов'язані з виникненням енергетичної кризи та тепловим і хімічним забрудненням довкілля [2-4].

За останні десятиліття глобальне використання енергії транспортом неухильно зростало. З 1971 по 2021 рік споживання енергії в транспортному секторі щорічно зростало між 2,0 і 2,5%. Тоді як в промислово розвинених країнах споживання енергії зараз стабілізувалось на високому рівні або незначно спадає, то темпи зростання споживання енергії транспортом у мало розвинених країнах становили 4,3% і цей рівень буде продовжувати зростати. Енергоефективність транспорту є величезним потенціалом для зменшення попиту як на нафту, так і на енергію загалом [3-5].

Світові тенденції розвитку транспортних систем свідчать про стрімкий розвиток транспортних технологій і регіональних проєктів мобільності. Зростання швидкості, економічності та екологічності транспортних засобів є основною тенденцією на всіх видах транспорту. Залізничні перевезення зі швидкістю 350 кілометрів на годину стають реальністю [8], а технології “Маглев” вже зараз забезпечують швидкість 500 і більше кілометрів на годину [9].

Але зростання швидкості транспортних засобів, підвищення інтенсивності міського і приміського руху пов'язано зі збільшенням використання енергії і відповідно зі зростанням хімічних та теплових викидів. Настав час задуматись над стратегією сталого розвитку для транспортних систем [10,11]. Тому необхідно їх технологічний розвиток обмежувати зростанням споживання енергії. Це стосується як міського так і міжміського транспорту [3,4]. В цьому плані цікавою є пропозиція, що наведена в роботі [12]. Загалом основна мета розвитку транспортних систем підвищення швидкісних характеристик, що пов'язано з підвищенням енергозатрат. Це в свою чергу викликає поглиблення енергетичних та екологічних проблем [1-3]. Зниженню споживання енергії транспортними системами присвячено ряд наукових праць [15-17].

Постановка завдання. У всьому світі транспорт споживає 22% світового виробництва енергії. Більшість транспорту працює на паливі, що отримується з нафти. Двигуни різних видів транспорту - найбільші споживачі нафтових продуктів. І вони ж є найбільшим джерелом викидів CO₂ в світі - близько 27% [3].

Міжнародне енергетичне агентство підрахувало, що за рахунок передових технологій та альтернативних видів палива (гібридні транспортні засоби, електромобілі та транспортні засоби на паливних елементах) можуть зменшити енергоємність транспорту на 20-40% до 2050 року. Такі досягнення можуть також зменшити вдвічі потребу у вичерпному паливі. Однак, навіть якщо енергоємність знижується, загальний попит на енергію все одно може зрости вище нинішніх рівнів через загальне збільшення попиту на транспорт та автомобілізацію. Щоб скоротити майбутній попит з нинішніх рівнів, необхідно не лише перейти до більш ефективних видів транспорту, але й обмежити загальний попит на транспортні перевезення [3].

Сьогодні збільшується занепокоєння прийняттям конкретних заходів у зв'язку зі зростаючою необхідністю зменшення викидів CO₂. Уже пропонували популяризувати громадський транспорт, створювали перехоплюючі парковки, встановлювали черговість

використання автотранспорту (по парних і непарних днях) і т.і., але населення як і раніше надає перевагу особистому транспорту. У багатьох країнах прийняті екологічні закони, що обмежують викиди шкідливих речовин транспортними засобами, такими як оксид сірки (SOx) і оксид азоту (NOx). Ці законопроекти допомогли зменшити утворення смогів і інші наслідки забруднення атмосфери. Однак тільки зараз, коли глобальне потепління визнано на загальносвітовому рівні, почали застосовувати конкретні дії для зменшення викидів CO₂. Використання нових транспортних засобів, що споживають менше палива, зменшує обсяги викидів в атмосферу. Це наприклад, автомобілі з більш ефективними тепловими двигунами та з гібридним приводом. Такі автомобілі обладнані як двигуном внутрішнього згоряння, що працює на бензині або дизпаливі, так і електродвигуном, що живиться від акумулятора [7]. На стадії тестування перебувають транспортні засоби з паливними елементами. У паливних елементах використовують водень. Під час його згоряння утворюється лише вода, проте сам водень переважно отримують з вуглеводневих видів палива.

Загалом пропонується провести аналіз впливу різних чинників (швидкості, інтенсивності руху, опору повітря і тертя кочення) для вирішення проблем енергетичної і екологічної кризи для транспорту, що дозволить розвивати транспортні системи за умови обмеженого споживання енергоресурсів.

Виклад основного матеріалу. Перспективи підвищення енергоефективності міського транспорту Для міського транспорту найбільшу ефективність зі споживання палива і зниження впливу на навколишнє середовище можна одержати у разі переходу на використання електротранспорту (тролейбусів, трамваїв, метрополітену) замість автотранспортних засобів із двигунами внутрішнього згоряння [12 - 14]. Проте в результаті високої інтенсивності руху на вулицях міст наземний транспорт втрачає свою енергетичну ефективність і швидкість доставки пасажирів. Щоб вирішити проблему транспортних заторів у містах, вуличний рух потрібно перевести з двохмірної площини у трьохмірний простір. А це можна вирішити або створенням літаючих машин, або створенням тунелів. На відміну від літаючих транспортних засобів, тунелі є незалежними від погодних умов, транспорт не потрапляє у поле зору і є більш безпечним. Велика мережа багаторівневих тунелів допоможе зменшити затори в будь-якому місті. Незалежно від того наскільки зростуть розміри міста і транспортний рух, завжди можна прокопати додаткові тунелі. Тому все більше озвучуються ідеї зі створення надземних чи підземних транспортних систем.

Хорошим прикладом вирішення питання ефективності підземного транспорту є метрополітен. Але цей вид транспорту є інвестиційноємким і тільки частково вирішує питання з наземним транспортом.

Альтернативою метрополітену є пропозиції Ілона Маска, що вже реалізуються в дослідно-експериментальних установках підземного транспорту [18]. Він пропонує під територією міста прокласти тунелі на різних рівнях для переміщення міського автотранспорту.

Автомобілі в цих тунелях будуть переміщуватися на спеціальних візках. Для окремих пасажирів та вантажів використовуватимуть спеціальні капсули. На вулицях міста планують розмістити спеціальні площадки, з яких автомобілі опускатимуться в тунель чи підніматимуться вгору ліфтом.

В тунелях переміщення буде значно швидшим і більш економічним ніж вулицями, особливо коли потрібно буде дістатись з одного кінця міста в інший. Сьогодні така ідея вже не здається фантастичною, адже для її реалізації Ілон Маск заснував компанію «The Boring Company», що швидко прокладає безпечні та недорогі транспортні тунелі [18].

Пропозиції підвищення енергоефективності міського транспорту Міський електротранспорт має переваги над транспортними засобами (ТЗ) з двигунами внутрішнього згоряння (ДВЗ) у ефективності споживання енергії. Проте в обох випадках у них є спільний недолік – це значні втрати енергії на розгін ТЗ, яка пізніше розсіюється в навколишнє середовище під час гальмування.

Загалом рух як приватного, так і міського маршрутного транспорту складається з трьох основних циклів: розгін від нерухомого стану до необхідної швидкості, рівномірний рух і гальмування. Перші два цикли потребують затрати енергії. В третьому циклі (гальмування) кінетична енергія ТЗ розсіюється у навколишнє середовище у вигляді теплової енергії.

Переміщення транспорту вулицями міста пов'язано з плановими зупинками для посадки та висадки пасажирів і зупинками через різного роду перешкоди - на перехрестях, пішохідних переходах, заторах зумовлених значною кількістю транспорту в години пік і т. ін. Внаслідок частих

зупинок втрачається значна кількість енергії, яка розсіюється в навколишнє середовище. В деяких випадках незначна частка цієї енергії утилізується за рахунок рекуперації.

Для підвищення ефективності роботи транспортної системи в роботі [10] запропоновано створити і використовувати для переміщення спеціальні профільовані шляхопроводи (рис. 1). Такими шляхопроводами може бути розгалужена сітка багаторівневих тунелів зі спеціальними поздовжніми профілями, подібних до тих, що пропонує Ілон Маск [5].

Шляхопровід (рис. 1) має три ділянки: розгону - I, рівномірного руху – II, гальмування – III. Шляхопроводом переміщуються спеціальні візки, що перевозять автомобілі, пасажирів і вантажі. Візки спочатку розганяються і рухаються на ділянках I і II за рахунок нахилу шляхопроводу. На ділянці III їх швидкість сповільнюється до повної зупинки, після чого візки піднімаються в ліфті. Такі шляхопроводи можуть бути підземними, надземними, а також поміщатись в герметичну трубу з розрідженим повітрям для зменшення опору повітря. Профіль різних ділянок шляхопроводу визначається швидкістю ТЗ і відстанню між зупинками.

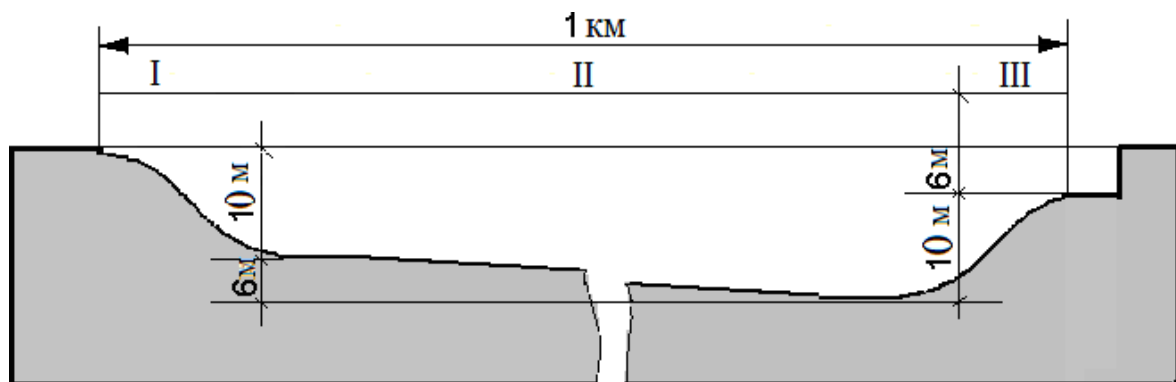


Рис. 1. Профільований шляхопровід транспортної системи [12]

Перевагою запропонованої транспортної системи є відсутність затрат кінетичної енергії для розгону транспортних засобів, оскільки розгін відбувається за рахунок переміщення на похилій ділянці I. Рівномірний рух на ділянці II підтримується також її нахилом. На ділянці III рух ТЗ сповільнюється за рахунок підняття на відповідну висоту. Замість втрат під час гальмування кінетична енергія ТЗ перетворюється в потенціальну і використовується для наступного розгону. Під час руху таким шляхопроводом відбувається повна рекуперація кінетичної енергії.

Нижче наведено аналіз енергетичних втрат запропонованої транспортної системи і міського автобуса під час їхнього переміщення між двома зупинками з різною швидкістю. Приймемо, що автобус між зупинками має додатково ще дві зупинки через перешкоди.

Графіки залежності затрати енергії на переміщення автобуса від зупинки до зупинки на відстань 1 км наведено на рисунку 2а. (На рисунку 2 і на наступних рисунках 3 і 4 загальна втрата енергії позначена кривою А. Криві 1, 2, 3 відображають складові повної затрати енергії на переміщення: 1 – затрати кінетичної енергії на розгін; 2 – затрати енергії на опір коченню; 3 – затрати енергії на опір повітря). Графіки залежності затрати енергії на переміщення цього ж автобуса від зупинки до зупинки на відстань 1 км запропонованим шляхопроводом наведено на рисунку 2б. Обидва рисунки 2а і 2б виконані в одному масштабі, щоб можна було візуально порівняти наскільки нижчими є енерговитрати на пересування автобуса у випадку його руху профільованим шляхопроводом.

Розглянемо витрати енергії на пересування автобуса звичайним маршрутом і автобуса на візку запропонованим шляхопроводом зі зміною швидкості від нуля до 50 км/год (14 м/с). З розрахунків отримано, що максимальні енергетичні затрати у першому разі становлять 2652 кДж, а в другому – 300.3 кДж. Отже затрати енергії на пересування за швидкості 50 км/год шляхопроводом зі спеціально створеним рельєфом знижуються майже у 9 разів (11.3%) від затрат пересування автобуса міським маршрутом.

Крім цього, з аналізу повної витрати енергії за її складовими виявлено, що у першому разі (рис.2а) частка енергії, що затрачається під час руху на переборювання тертя кочення (36.9%) та опору повітря (7.7%, разом 44.6%) менша частки енергії, що затрачається для розгону автобуса (55.4%). Це означає, що в умовах міського руху основна енергія (55,4%) тратиться на розгін ТЗ. Ці дані показують наскільки важливою є рекуперація енергії розгону ТЗ.

У другому випадку (рис.2б) низькі затрати енергії зумовлені тим, що енергія для розгону ТЗ не втрачається завдяки її рекуперації, що забезпечує спеціальний профіль шляхопроводу. На рисунку 1 наведено приблизні розміри для ділянок профільного шляхопроводу розрахованих за величиною затрати енергії на пересування візків з пасажирами, чи вантажем у разі, коли максимальна швидкість становить близько 50 км/год (14 м/с). Відповідно до розрахунків для досягнення такої швидкості на ділянці I достатньо перепаду висоти 10 м, а для підтримки переміщення ТЗ з цією швидкістю ділянкою II достатньо перепаду висоти всього 6 м.

Отже під час пересування містом менше половини енергії витрачається для руху ТЗ, а інша частина розсіюється в навколишнє середовище. Нераціональний рух ТЗ вулицями міста через часті зупинки/розгони і високу інтенсивність руху призводить до значних втрат енергії. Тому навіть підвищення паливної ефективності ТЗ на 10-20%, що практично є неможливим, не зможе компенсувати значні витрати палива міським транспортом.

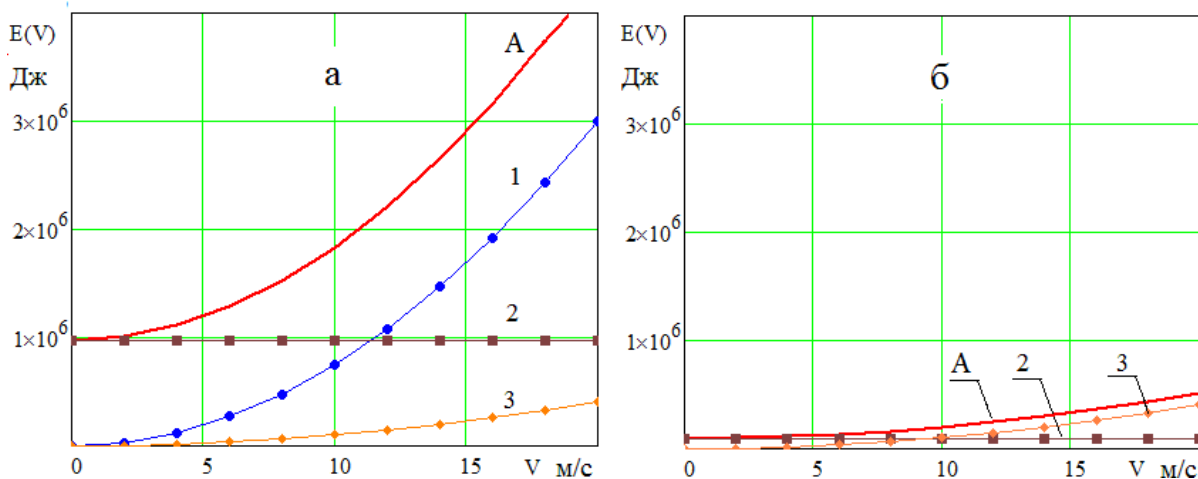


Рис. 2. Графіки залежності затрати енергії на переміщення автобуса від зупинки до зупинки на відстань 1 км непрофільованим – а і профільованим – б шляхопроводами.

А всі досягнення у ефективності, що виражається довжиною пробігу ТЗ на одиницю кількості палива, втрачають сенс під час їхнього пересування містом з його регульованими перехрестями, заторами, скупченням транспорту і частими зупинками. Під час руху містом загальний коефіцієнт корисної дії теплових двигунів ТЗ падає нижче 5%.

Використання запропонованої транспортної системи у містах дозволить значно знизити споживання енергії, що зумовить зменшення теплових та шкідливих хімічних викидів в тому числі і CO_2 .

Підвищення енергоефективності швидкісних транспортних систем Основна мета при створенні транспортних систем – це досягнення високих швидкостей. Так, сьогодні є вже наземні транспортні системи за технологією «Маглев», транспортні засоби яких досягають швидкостей 500-600 км/год. Ілон Маск запропонував транспортну систему майбутнього - Hyperloop зі швидкістю пересування близькою 1000 км/год [18]. Очевидно, що розробляючи надшвидкі транспортні системи проблематично досягнути високих показників енергоефективності. За високих швидкостей затрати енергії різко зростають. Розглянемо це питання більш детально.

Проведемо оцінку втрати енергії на пересування надшвидких традиційних рейкових потягів, наприклад, TGV (Train à Grande Vitesse) [8]. Потяги TGV рухаються з швидкістю близько 320 км/год. Максимальної швидкості близько 575 км/год для таких потягів було досягнуто в 2007 році [8]. Розглянемо енергетичні втрати міжміських швидкісних транспортних систем. У розрахунку прийемо: маса поїзда 100 т, максимальна швидкість 100 м/с (360 км/год.), відстань між зупинками 50 км, коефіцієнт опору повітря $k = 0.3$, лобова площа 4 м^2 , коефіцієнт опору кочення $K = 0.002$. На рисунку 3 наведено графіки залежності витрати енергії для рейкових потягів в залежності від їх швидкості.

Аналіз кривих графіків (рис. 3) свідчить, що основні втрати енергії за високих швидкостей зумовлені опором повітря та на розгін ТЗ. Тоді як витрати енергії на переборювання тертя кочення сталіне колесо-рейка для швидкостей більших за 100 м/с (360 км/год) є незначними у загальних втратах на пересування ТЗ. Так, за швидкості 150 м/с (540 км/год) і відстані між зупинками 50 км,

частка втрати енергії на тертя у традиційних ТЗ становить менше 4.7% від загальних втрат енергії. Тому транспортна система «Маглев», у якій відсутні втрати на тертя кочення завдяки магнітній левітації, значної переваги над традиційними рейковими ТЗ не мають.

Крім цього досліджено, що за швидкостей близьких до 200 м/с (720 км/год) втрати енергії на опір повітря (крива – 3, рис. 3 а) і на розгін ТЗ (крива – 1) на порядок перевищують втрати на тертя кочення (крива – 2). І якщо останні усунути, то це мало вплине на загальні енергетичні втрати. Найбільшими є витрати енергії на розгін ТЗ. Проте зі збільшенням відстані між зупинками ці втрати знижуються (рис.3б). Але навіть за відстані між зупинками у 50 км і швидкості 100 м/с втрати на розгін ТЗ перевищують всі інші втрати енергії і становлять близько 51% від загальних втрат (рис.3 б).

Додатково встановлено, що кінетична енергія витрачається на початку руху на дуже короткій дистанції, оскільки її втрати у загальних витратах енергії зменшується зі збільшенням відстані між зупинками і, навпаки, зростає зі зменшенням відстані між зупинками (рис. 3 б) Найбільше падіння (на 70 %) частки затрат енергії для розгону до швидкості 100 м/с має місце в діапазоні відстаней між зупинками до 10^5 м (100 км). Подальше падіння втрат енергії на розгін ТЗ пологіше. Отже для економії енергії швидкісних ТЗ відстань між їх зупинками повинна бути більше 100 км. Очевидно, що зі зростанням швидкості руху ТЗ ця відстань повинна зростати.

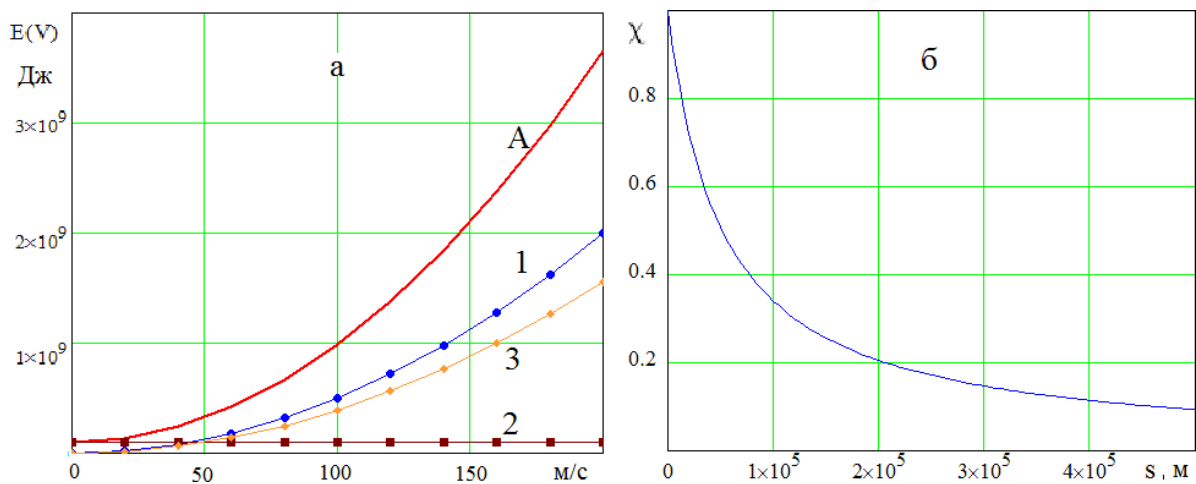


Рис. 3. Графіки залежності втрати енергії на переміщення ТЗ між зупинками у 50 км в залежності від його швидкості - а. Графік б - співвідношення втрати енергії на розгін до повної витрати енергії χ в залежності від дистанції між зупинками s

Ефективним заходом для зниження енергетичних втрат на рух ТЗ є зниження опору повітря. На рисунку 4а показано загальні втрати енергії ТЗ у двох випадках: при густині повітря за нормальних умов - 1.29 кг/м^3 (крива А) і за зниженої густини на порядок - до 0.13 кг/м^3 (падіння тиску від 10^5 до 10^4). Розрахунки виконані за умови, що швидкість ТЗ становила 200 м/с (720 км/год), а відстань між зупинками 50 км. Відповідно до одержаних розрахунків встановлено, що достатньо незначного розрідження до 10^4 Па ($\rho = 0.13 \text{ кг/м}^3$) для відчутного падіння опору повітря. За більш високого розрідження нижче 10^4 Па ($\rho = 0.13 \text{ кг/м}^3$) цей вплив незначний.

Втрати енергії на розгін ТЗ є найбільш високими (крива 1, рис. 3а). Щоб знизити ці втрати необхідно використовувати рекуперацію енергії під час гальмування ТЗ. І в цьому випадку найбільшу ефективність забезпечить запропонований шляхопровід спеціального профілю (рис. 1), оскільки в цьому разі можлива 100% рекуперація енергії гальмування. Через це крива затрати кінетичної енергії 1 на рисунку 4б відсутня, а крива загальної витрати енергії В розміщена значно нижче кривої А. Особливо це проявляється після досягнення швидкості 100 м/с.

На рисунку 4а наведено графіки втрат енергії у разі переміщення ТЗ непрофільованим шляхопроводом з розрідженим повітрям до 10^4 Па. Крива А на рисунку 4 запозичена з рисунку 3а. Крива А - витрати енергії на переміщення ТЗ між зупинками у 50 км прямим шляхопроводом в залежності від його швидкості за нормального тиску. Крива В – повна витрата енергії на пересування ТЗ профільованим шляхопроводом з розрідженим повітрям.

З графіків (рис. 4, крива А) видно, що повні затрати на рух ТЗ зростають вже за швидкостей вище 30 м/с (108 км/год). Подальше зростання швидкості потребує більших затрат енергії, а після швидкостей за 100 м/с ці витрати зростають на порядок. У випадку використання профільних

шляхопроводів з пониженим тиском повітря (рис. 4, крива В) втрати наростають значно повільніше і суттєво нижчі, аж до швидкостей у 200 м/с (720 км/год). Це зумовлено повною рекуперацією затрат енергії на розгін ТЗ і малим опором розрідженого повітря.

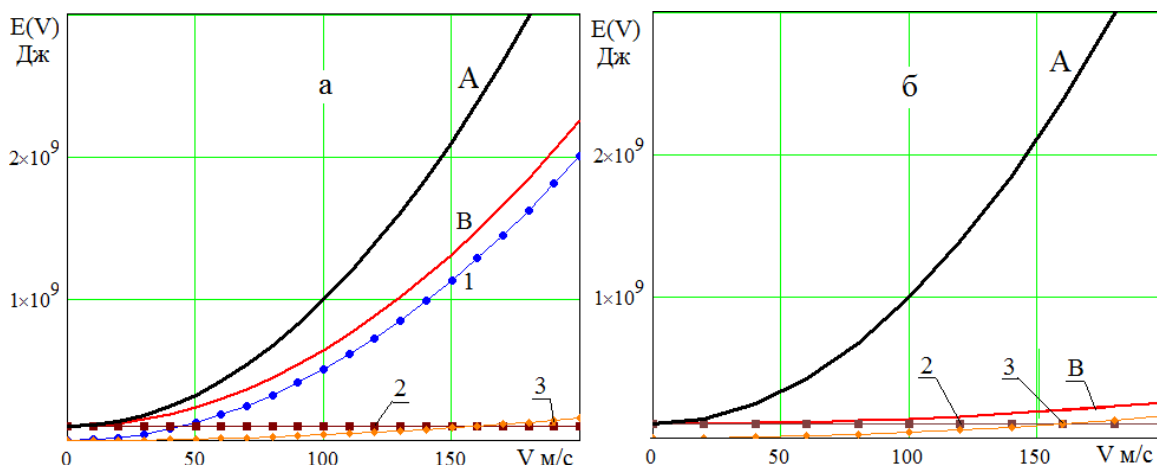


Рис. 4. Графіки залежності втрати енергії на переміщення ТЗ в розрідженому повітрі (10^4 Па) непрофільованим шляхопроводом залежно від його швидкості - а. Графіки залежності втрати енергії на переміщення ТЗ профільованим шляхопроводом в розрідженому повітрі (10^4 Па) залежно від його швидкості - б

Графіки на рисунку 3 і 4 побудовані в однаковому масштабі, щоб візуально показати значну різницю витрати енергії під час руху двома різними шляхопроводами.

Отже, суттєве зниження енергозатрат у високошвидкісних транспортних системах можна досягнути за одночасного використання профільованих шляхопроводів і пониженого тиску, або хоча б за однієї з умов. Тому для транспортної системи Hyperloop, щоб досягнути швидкостей близьких до 1000 км/год (300 м/с), планують використати непрофільований шляхопровід з пониженим тиском (крива В, рис. 4а). Проте використання профільованих шляхопроводів дозволить значно більше знизити витрати енергії на рух ТЗ (крива В, рис. 4а).

За низьких і середніх швидкостей ТЗ (до 100 м/с) опір повітря менший, тоді як втрати енергії для розгону залишаються високими. В цьому випадку можна обійтись без зниження тиску повітря, що дозволить значно знизити затрати коштів на побудову та експлуатацію герметичних шляхопроводів.

Висновки Приведений аналіз свідчить про необхідність кардинальних змін в транспортних технологіях. Зростання швидкостей, з одночасним підвищенням економічності та екологічності транспортних засобів повинно бути основною тенденцією для всіх видів транспорту. Забезпечення досягнення цієї мети можливо у разі запровадження відповідних заходів, що запропоновані в статті.

Для міського транспорту вуличний рух потрібно перевести з двохмірної площини у трьохмірний простір. Найбільш ефективно це можна вирішити шляхом створення багатопверхових естакад і багаторівневих тунелів, що дозволить значно зменшити інтенсивність вуличного руху і підвищити середню швидкість пересування містом.

Аналіз затрат енергії на пересування ТЗ показав, що значна частина з загальних затрат енергії витрачається на розгін ТЗ, особливо за високих швидкостей і коротких відстаней між зупинками. Тому для підвищення енергетичної ефективності ТЗ слід використовувати рекуперацію енергії, що втрачається під час їх гальмування. Це можуть бути найрізноманітніші механічні, електричні, пневматичні та гідравлічні накопичувачі енергії.

Найбільш ефективною регенерацією з накопиченням енергії є використання спеціально профільованих шляхопроводів – це так звана гравітаційна транспортна система. Така транспортна система дозволить повністю, або частково усунути витрати енергії на розгін ТЗ.

За надвисоких швидкостей, більше за 500 км/год енергоефективним буде використання тунелів чи трубопроводів з розрідженим повітрям. У таких трубопроводах досить незначного розрідження повітря (зменшення густини повітря на порядок) для суттєвого усунення енергетичних втрат на опір повітря.

Комплексне застосування заходів зі зниження енергозатрат на розгін ТЗ, зменшення густини повітря і технології маглев в десятки і сотні разів знизить енергозатрати на пересування надшвидкісних (близько 1000 км/год) транспортних засобів.

Загалом використання згаданих вище заходів дозволить зменшити інтенсивність руху в містах та підвищити середню швидкість пересування і створити міжміські високошвидкісні енергоефективні транспортні системи з пониженим споживанням енергії, що обмежить кількість викидів CO₂ та негативний вплив на навколишнє середовище.

Література

- 1 The Global Competitiveness Report 2019./Geneva: World Economic Forum, 2019. 648 p. URL: <https://www.weforum.org/>
- 2 Як енергетична криза може заволодіти світом. URL: <https://mind.ua/publications/20244524-yak-energetichna-kryza-mozhe-zavoloditi-svitom>
- 3 S. Boehler-Baedeker, Hueging H. Urban Transport and Energy Efficiency// Eschborn, Germany, 2012 URL: https://energypedia.info/wiki/Urban_Transport_and_Energy_Efficiency
- 4 Макаров В.А., Макарова Т.В. Поліпшення функціонування автотранспортної системи регіону в умовах повороту розвитку транспорту. URL: <https://conf.ztu.edu.ua/wpcontent/uploads/2020/11/51.pdf>
- 5 C. S. Sherwood , R. Bruns. Solving international transportation problems //Transportation Journal - №1. USA. – 2009. – 35с.
- 6 Сучасні досягнення в галузі керованого термоядерного синтезу https://www.nas.gov.ua/siaz/Ways_of_development_of_Ukrainian_science/article/14016.3.002.pdf
- 7 Нові автомобільні технології URL: <https://www.autocentre.ua/ua/news/sobytie/novye-avtomobilnye-tehnologii-predstavlenye-na-vystavke-ces-2016-314100.html>
- 8 Пасажирські потяги з електричним приводом. URL: <https://uk.wikipedia.org/wiki/TGV#>
- 9 Технології “Маглев”. URL: <https://epa.kpi.ua/science/interesting-info/maglev/>
- 10 Luqi Wang, Xiaolong Xue, Zebin Zhao, and Zeyu Wang The Impacts of Transportation Infrastructure on Sustainable Development: Emerging Trends and ChallengesInt// J Environ Res Public Health. 2018 Jun; 15(6): 1172. doi: 10.3390/ijerph15061172 URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6025045/>
- 11 Kammen D.M., Sunter D.A. City-integrated renewable energy for urban sustainability// Science. 2016; 352: з URL: p. 922–928. doi: 10.1126/science.aad9302.
- 12 Козак Л.Ю., Мулик О.Л. Зниження обсягів використання нафтових палив на міському транспорті// Науковий вісник ІФНТУНГ. 2008 № 2(18)
- 13 Як покращити транспортну мобільність у наших містах. URL: <https://commons.com.ua/ru/yak-pokrashiti-transportnu-mobilnist-v-ukrayinskih-mistah/>
- 14 Tasic I., Porter R.J. Modeling spatial relationships between multimodal transportation infrastructure and traffic safety outcomes in urban environments// Saf. Sci. 2016; 82: p.325–337. doi: 10.1016/j.ssci.2015.09.021.
- 15 Гордієнко О.С. Енергозбереження транспортних підприємств.// Энергетика и энергосбережение. Технологический аудит и резервы производства ISSN 2226-3780. 2012. No 5/1(7). С. 13–14.
- 16 Далека В.Х. Методологічні аспекти ресурсозбереження на міському електричному транспорті// Коммунальное хоз-во городов. Вып. 49. 2003. С. 179–184.
- 17 Можаровський М.М. Екологічні перспективи та деякі проблеми використання акумуляторів кінетичної енергії, // Вісник ДААУ. – 1998. – №2 – С.55 – 65. 2.
- 18 The Boring Company URL: <https://www.boringcompany.com/projects#rw>

ENVIRONMENTAL ASPECTS OF INCREASE IN ENERGY INTENSITY TRANSPORT SYSTEMS

The article deals with important issues of efficient use of energy and ecological safety of the environment, which are closely related to each other. Prospects for efficient use of fuel for increasing the total number of vehicles and increasing their speed characteristics have been analyzed. To do this, an analysis of energy consumption was carried out for two cases - the urban transport system and high-speed intercity connections. They studied the influence of various factors - speed, air resistance and friction on energy losses by vehicles and ways of reducing them. A transport system with a special profiled overpass, along which the vehicle moves under the influence of gravity, is considered. In such a transport system, energy for movement is periodically accumulated by raising the vehicle to a certain height at route stops. Due to the accumulation of potential energy, the movement of the vehicle is supported. Braking energy is used to accelerate it to the required speed. Due to the full recuperation of braking energy and a reduction in the rolling friction coefficient, a significant reduction in the total energy consumption for the movement of vehicles is achieved. The results of a comparative analysis of energy consumption for traditional urban transport with the proposed transport system are presented. In addition, the effect of rarefaction of air in special overpasses on the efficiency of energy consumption by vehicles was studied. With significant energy savings, the use of the proposed transport system will reduce chemical and thermal emissions and significantly improve the environment.

Keywords: ecology, energy efficiency, transport system, thermal and chemical emissions, energy recovery, urban transport.

References

- 1 The Global Competitiveness Report 2019./Geneva: World Economic Forum, 2019. 648 r. URL: <https://www.weforum.org/>
- 2 Іак енергетична криза може заволодити світом. URL: <https://mind.ua/publications/20244524-yak-energetichna-kryza-mozhe-zavoloditi-svitom>
- 3 S. Boehler-Baedeker, Hueging H. Urban Transport and Energy Efficiency// Eschborn, Germany, 2012 URL: https://energypedia.info/wiki/Urban_Transport_and_Energy_Efficiency
- 4 Makarov V.A., Makarova T.V. Polipshennia funktsionuvannia avtotransportnoi systemy rehionu v umovakh povorotu rozvytku transportu. URL: <https://conf.ztu.edu.ua/wpcontent/uploads/2020/11/51.pdf>
- 5 C. S. Sherwood , R. Bruns. Solving international transportation problems //Transportation Journal - №1. USA. – 2009. – 35s.
- 6 Suchasni dosiahnennia v haluzi kerovanoho termoiadernoho syntezu https://www.nas.gov.ua/siaz/Ways_of_development_of_Ukrainian_science/article/14016.3.002.pdf
- 7 Novi avtomobilni tekhnologii URL: <https://www.autocentre.ua/ua/news/sobytie/novye-avtomobilnye-tehnologii-predstavlenye-na-vystavke-ces-2016-314100.html>
- 8 Pasazhyrski potiahy z elektrychnym pryvodom. URL: <https://uk.wikipedia.org/wiki/TGV#>
- 9 Tekhnologii “Mahlev”. URL: <https://epa.kpi.ua/science/interesting-info/maglev/>
- 10 Luqi Wang, Xiaolong Xue, Zebin Zhao, and Zeyu Wang The Impacts of Transportation Infrastructure on Sustainable Development: Emerging Trends and ChallengesInt// J Environ Res Public Health. 2018 Jun; 15(6): 1172. doi: 10.3390/ijerph15061172 URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6025045/>
- 11 Kammen D.M., Sunter D.A. City-integrated renewable energy for urban sustainability// Science. 2016; 352: z URL: r. 922–928. doi: 10.1126/science.aad9302.
- 12 Kozak L.Iu., Mulyk O.L. Znyzhennia obsiahiv vykorystannia naftovykh palyv na miskomu transporti// Naukovyi visnyk IFNTUNH. 2008 № 2(18)
- 13 Іак pokrashchyty transportnu mobilnist u nashykh mistakh. URL: <https://commons.com.ua/ru/yak-pokrashchiti-transportnu-mobilnist-v-ukrayinskih-mistah/>
- 14 Tasic I., Porter R.J. Modeling spatial relationships between multimodal transportation infrastructure and traffic safety outcomes in urban environments// Saf. Sci. 2016; 82: r.325–337.doi: 10.1016/j.ssci.2015.09.021.

15 Hordiienko O.S. Enerhozberezhennia transportnykh pidpriemstv.// Enerhetyka i enerho-sberezhenye. Tekhnolohycheskyi audyt y rezervy proyzvodstva ISSN 2226-3780. 2012. No 5/1(7). S. 13–14.

16 Daleka V.Kh. Metodolohichni aspekty resursozberezhennia na miskomu elektrychnomu transporti// Kommunalnoe khoz-vo horodov. Выр. 49. 2003. S. 179–184.

17 Mozharovskyi M.M. Ekolohichni perspektyvy ta deiaki problemy vykorystannia akumuliatoriv kinetychnoi enerhii, // Visnyk DAAU. – 1998. – №2 – S.55 – 65. 2.

18 The Boring Company URL: <https://www.boringcompany.com/projects#rw>