

УДК 625.007.5

**Юрій Лаврич<sup>1\*</sup>, Сергій Плаксін<sup>2</sup>, Любов Погоріла<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> Старший науковий співробітник, Відділ «Систем керування транспортними засобами», Інститут транспортних систем та технологій НАН України, вул. Писаржевського, 5, Дніпро, 49005, Україна, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-3616-2135>

<sup>2</sup> Завідуючий відділом, Відділ «Систем керування транспортними засобами», Інститут транспортних систем та технологій НАН України, вул. Писаржевського, 5, Дніпро, 49005, Україна, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-8302-0186>

<sup>3</sup> Молодший науковий співробітник Відділ «Систем керування транспортними засобами», Інститут транспортних систем та технологій НАН України, вул. Писаржевського, 5, Дніпро, 49005, Україна, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-3718-0733>

\* Автор, відповідальний за листування: [lavrigh@westa-inter.com](mailto:lavrigh@westa-inter.com)

## КОНЦЕПТУАЛЬНІ ОСНОВИ ПОБУДОВИ ВАНТАЖНОЇ МАГНІТОЛЕВІТАЦІЙНОЇ ТРАНСПОРТНОЇ СИСТЕМИ

*Проведений аналіз сучасного стану транспортних систем в Україні показав, що основною проблемою цієї області є недолік транспортних інфраструктурних можливостей, що пов'язано з низькими маршрутними швидкостями руху для більшості видів перевезення та низьким рівням організації руху та управління транспортними потоками. Низьким, порівняно з європейськими країнами, є і рівень залізничного контейнерного транспорту – найпоширенішого та перспективного виду перевезення вантажів. Тому **головна ідея статті** полягає в обґрунтуванні необхідності введення принципово нових транспортних технологій, які допоможуть зменшити або усунути проблеми транспортного вантажного перевезення, і в цьому її **актуальність**. Досліджена можливість використання для вантажних транспортних перевезень магнітолевітаційних технологій, які виключають контакт транспортного засобу з шляховою структурою. Авторами розглянуто основні структурні елементи, призначення та можливий варіант роботи магнітолевітаційної транспортної системи вантажних перевезень. **Практичне значення** роботи в тому, що використання магнітолевітаційних контейнерних платформ значно збільшить інтенсивність та швидкість конвєсної відправки кожного контейнера зі зменшенням споживання енергії, що суттєво вплине на покращення логістики перевезення вантажів. **Основні результати** роботи: сформульовано концептуальні основи побудови безпілотних магнітолевітаційних транспортних засобів та основних систем їх інфраструктури; показано, що реалізація функції безпілотності такого транспортного засобу можлива лише за умови забезпечення перманентної левітації на всіх ділянках перевезення вантажу.*

**Ключові слова:** вантажні перевезення, швидкість руху, магнітолевітаційна система, безпілотні технології, контейнерна платформа.

**Вступ.** Сучасний залізничний транспорт є надзвичайно складною організаційно-технічною системою, управління якою практично неможливо у межах раніше сформованих традиційних підходів. У багатьох країнах світу, зокрема державах Євросоюзу, зростає розуміння важливості вирішення глобальних проблем транспортних комплексів. Це, перш за все, пов'язане з вимогами підвищення безпеки та ефективності перевезень, з необхідністю зменшення впливу транспорту на навколишнє середовище та ін. В даний час загальнодержавна транспортна

політика багатьох розвинених країн базується на розробці та просуванні інтелектуальних транспортних систем (ІТС) [1].

**Аналіз останніх досліджень і постановка проблеми.** Аналіз сучасного стану та проблем транспортних систем в Україні показав, що багато причин існуючих проблем пов'язані не лише з нестачею потужностей транспортної інфраструктури та ін., але значною мірою з недостатнім рівнем організації руху та керування транспортними потоками. Одна з проблем пов'язана з технологією контейнерних перевезень, яка забезпечує відносно низьку маршрутну швидкість більшості видів перевезень [2]. Так середня швидкість руху транспорту автомобільними дорогами України становить 40-60 км/год. проти 80-100 км/год. за кордоном, вантажі переміщуються за добу на відстань 250-300 км, проти 700-1300 км за кордоном. Таке зниження швидкості руху, у свою чергу, веде до збільшення на 20-30% собівартості перевезень, зростання транспортної складової в кінцевій ціні продукції та послуг, яка сягає 15-20% (у США та Європі цей показник не перевищує 7-10%). ) [1]. Негативні наслідки впливу транспорту, масштаби та значущість яких дають підстави оцінювати їх як стратегічний виклик національного та майже континентального масштабу.

Прогрес транспорту, як галузі економіки, пов'язаний насамперед технічними досягненнями науки, але поряд зі збільшенням швидкості транспортування, поліпшенням безпеки та зменшенням вартості процесу транспортування, скороченням непродуктивних втрат часу, базова транспортна технологія залишається незмінною. Якісні зміни відбулися в середині минулого століття завдяки появі контейнерної технології, яка сприяла розвитку взаємозалежних процесів, що призвели до виникнення «феномену інтермодалізму» [3]. Перевезення вантажів у контейнерах є одним із найважливіших сегментів глобального транспортного ринку. Контейнерні перевезення – найпопулярніший спосіб доставки споживчих товарів. Щорічно лише порти у всьому світі обробляють понад 800 млн. контейнерів, якими перевозяться близько 25% світових товарів. Україна після підписання Угоди про асоціацію з ЄС поступово інтегрує свою транспортну систему до європейської мережі, при цьому важливим та перспективним напрямом такої інтеграції є широке впровадження сучасних, ефективних та екологічних технологій доставки вантажів. Національною транспортною стратегією України до 2030 р. є «розвиток ефективної конкурентоспроможної мультимодальної національної транспортної системи» та зміцнення транзитного потенціалу транспортної області з метою перетворення України на сучасний міжнародний транспортний хаб між Європою та Азією» [4]. Принцип мультимодального перевезення полягає в тому, що лише одна сторона надає послуги з кількох ланок ланцюга доставки «від дверей до дверей», а це може бути дешевшим та ефективнішим, ніж дроблення цих послуг між декількома сторонами-виконавцями, кожен з яких намагатиметься отримати максимально можливий прибуток на окремому компоненті ланцюга. За цією концепцією на отримання економічної користі буде націлений весь ланцюг доставки вантажів, і всі учасники перевізного процесу будуть зацікавлені у реалізації своїх інтересів і вигод [5].

Сьогодні позиція України на ринку перевезень не є найкращою, адже контейнери так і не стали масовим засобом доставки вантажів у країні. Хоча залізничні перевезення контейнерів приблизно втричі швидше і дешевше за автомобільні, незважаючи на це залізничні перевезення контейнерів, поки що, розвинені слабо, переважна кількість контейнерів перевозиться автотранспортом [6]. В даний час загальний рівень контейнеризації вантажних перевезень в Україні за різними оцінками становить лише від 0,5...1,5% [7], тоді як у світі цей показник у середньому становить 16...18% (по «сухим» вантажам – до 65%), а країнах ЄС – 40% (по «сухим» вантажам – до 80%) [8].

Українська економіка орієнтована на експорт у далекі країни і вирішальним чинником є організація перманентного двонаправленого вантажосполучення з портами. Найперспективнішою технологією залізничних перевезень контейнерів є організація контейнерних поїздів. Ця технологія широко поширена у світі, особливо при організації міжнародних перевезень, але якщо в ЄС це

системність та безперервність контейнерних перевезень, то в Україні досі не вдалося цього досягти, а здійснюються разові нерегулярні контейнерні поїзди раз на тиждень. Маршрут Київ-ТІС поїзд проїжджає за 19 годин, у той же час маршрут між Парижем та Марселем (близько 900 км) має регулярність руху п'ять разів на тиждень у кожному напрямку, а основний контейлерний маршрут Європи – Бреннерський (Трансальпійський) шлях – що доби пропускає 14 пар поїздів. В Україні на нерегулярній основі курсує близько 10 контейнерних поїздів, тоді як у країнах ЄС курсує понад 400 таких поїздів, що перевозять понад 30 млн. TEU на рік [9]. Існуюча провізна здатність у системі контейнерних терміналів та основних залізничних ліній залежить від належного технологічного забезпечення, яке включає способи процесу доставки вантажів у контейнерах, процеси організації перевезень з використанням технічних можливостей і перевізних засобів залізничного транспорту.

Постійне зростання експортно-імпортних вантажопотоків потребує інноваційного підходу до вирішення транспортної проблеми. З усіх видів вантажів, що перевозяться, найбільший інтерес представляють контейнерні перевезення по залізниці, які є одними з найбільш затребуваних і перспективних у всьому світі і вважаються основним видом транспортування в розвинених країнах. У країнах Євросоюзу частка перевезень у контейнерах по залізниці сягає 45%. В Україні, на відміну від розвинених країн світу, частка контейнерних перевезень по залізниці у загальному залізничному потоці залишається вкрай низькою, а зростання стримується загальними проблемами в економіці, нестачею терміналів для перевантаження та зберігання вантажів, причому нестача перевантажувальних потужностей є однією з головних причин низького рівня контейнерних перевезень. Адже їхня головна особливість полягає в тому, що перша та «остання миля», тобто доставка безпосередньо замовнику, завжди залишається за автотранспортом, який здійснює перевезення в радіусі 300 км від залізничних терміналів.

Сучасна концепція розвитку європейського транспорту будується на інтермодальному підході. У сучасній Європі річний обсяг контейлерних перевезень становить майже 70 млн. т, тільки в Німеччині здійснюється до 150 тис. відправлень контейлерів на рік, а такі країни, як Швейцарія, Франція, Австрія здійснюють, як мінімум, по 50 тис. відправлень кожна. Вигоди безперевантажного комбінованого транспортування зрозумілі, і, мабуть, колись воно отримає визнання і в Україні, але зробити для цього доведеться чимало. Наприклад, необхідно, щоб рухомий склад залізниці гарантовано долав не менше 1000 км на добу. Аналізуючи структуру українського вантажопотоку в портах в 2020 [10] можна зробити висновок, що досить велика частина контейнеропридатної продукції доставляється за безконтейнерними схемами.

Безумовно, особливо на перших етапах запровадження інноваційних способів перевезення вантажів необхідне прийняття держпрограми, в якій планувалася б фінансово-економічна підтримка держави, у тому числі і встановлення ліберальних тарифів, передбачалося створення вітчизняної нормативної бази, що узгоджується з керівними актами ЄС у частині комбінованих перевезень. Незаперечна перевага європейських компаній – підтримка з держбюджету та фондів розвитку Євросоюзу, за якої контейнерні перевезення залізницею в країнах ЄС дотуються, оскільки вони є більш екологічно чистими, порівняно з автотранспортом.

**Мета і завдання дослідження.** Для України одним із найважливіших способів перевезення експортних та транзитних вантажів є змішане залізнично-водне сполучення. Воно поєднує можливості перевезень значних обсягів масових вантажів з місць їх видобутку або виробництва залізничним транспортом, і широкий доступ до ринків споживання, який надає морський транспорт. Порт є одним із елементів логістичного ланцюжка, але ефективність такого ланцюжка залежить від великого партнера – залізниці. Укрзалізниця розвиває контейнерні перевезення як внутрішні, так і транзитні, але їх ефективність може бути забезпечена тільки завдяки регулярним маршрутам із чіткою періодичністю курсування у певні дні, тобто не на постійній основі. Будівництво терміналів в Україні – одна з необхідних умов конкуренції нашої країни на міжнародному ринку логістичних послуг. Проектна потужність контейнерного терміналу

«Мостиська» у Львівській області на початковому етапі планувалася в розмірі 100 000 TEU на рік. Водночас в угорському проекті зі створення до 2023 року вантажного хаба в Залаегерсезі заявлено реалізацію великого проекту терміналу East-West Gate, теоретична потужність – 1 млн TEU на рік.

У практиці міжнародних перевезень використовуються різні типи контейнерів, їхня класифікація за габаритами передбачає два основні типорозміри модулів: довжиною 20 футів і довжиною 40 футів [11]. В даний час однією з проблем є неможливість перевезення 40 футових контейнерів українською залізницею через тарифи, які розраховуються, виходячи з обсягу перевезення, тобто плата за 40 футовий контейнер являє собою майже вдвічі більшу суму, ніж за 20-футовий. На відміну від залізниці, для автотранспорту і 20-, і 40-футові контейнери є «вантаж», і тому їхнє транспортування коштує майже однаково. Сучасна транспортно-логістична система внаслідок недосконалості логістичних та транспортних технологій, а також існуючих інфраструктурних обмежень не відповідає повною мірою вимогам учасників транспортного процесу до швидкості та вартості перевезень, спектру та якості послуг, що надаються. Інноваційна транспортно-логістична система може бути сформована на основі будівництва магнітолевітаційної транспортної магістралі та запровадження сучасних логістичних технологій.

Одним із сучасних трендів у транспортних технологіях є застосування безпілотних транспортних засобів [12], розробка яких переживає технологічний бум у багатьох галузях усіх провідних країн світу. Правда, треба зазначити, що значний обсяг робіт зі створення безпілотних транспортних засобів проводиться на закритій тематиці в рамках оборонних замовлень і тому результати досліджень мало публікуються у відкритому друку. Складні наукомісткі технічні рішення, математичний апарат, алгоритми управління рухом, програмне забезпечення, датчики систем управління безпілотними транспортними засобами у багатьох країнах віднесено до продукції подвійного призначення.

У даний час магнітолевітаційні високошвидкісні наземні транспортні системи не застосовуються для здійснення вантажних перевезень. Але великий науково-технічний досвід багаторічних науково-практичних робіт Інституту транспортних систем та технологій в галузі магнітолевітаційних систем для перевезення пасажирів дозволяє використатися існуючими результатами для коректного обґрунтування концептуальних основ створіння магнітолевітаційної системи вантажного транспорту.

**Мета статті** – дослідити можливість побудови магнітолевітаційної вантажної транспортної системи та обґрунтувати доцільність застосування існуючих наукових та практичних результатів, реалізованих при побудові пасажирських магнітолевітаційних транспортних засобів, для побудови вантажного магнітолевітаційного транспорту.

**Матеріали та методи дослідження.** Як методи дослідження в роботі застосовані теоретичний системний підхід та порівняльний техніко-економічний аналіз технологій вантажних перевезень чинними та магнітолевітаційними транспортними засобами. Основними джерелами інформації, використаними при проведенні роботи, орієнтованої на високошвидкісне транспортування контейнерних вантажів, були результати наукових досліджень, науково-технічний заділ та практичний досвід створення як діючого макета, так і основних елементів транспортної системи з магнітним підвісом Інституту транспортних систем та технологій. Магнітолевітаційні вантажні системи досі перебувають у стадії розробки, обговорюються більш з теоретичної точки зору, але більшість транспортних фахівців вже стали віддавати перевагу технології на магнітному підвісі щодо традиційних сталевих рейок. І особливо це стосується високошвидкісного транспорту на магнітному підвісі [13].

Сьогодні магнітолевітаційний транспорт позиціонується як пасажирський, але кардинальне переозброєння вантажного транспорту може бути здійснено шляхом використання магнітолевітаційної технології в системі магістральної доставки контейнерів з транспортно-логістичних центрів збору виділеними магістралями на пункти прийому. На сучасному етапі розвитку магнітолевітаційного транспорту чітко позначилася тенденція його поділу на

пасажирський та вантажний, а до 2000 років вже сформувався досить великий науково-технічний заділ та заділ практичних впроваджень, що підтвердили працездатність технічних рішень зі створення вантажних транспортних засобів з магнітним підвісом. Створення вантажного магнітолевітуючого транспорту є складним науковим завданням, вирішення якого можливе у рамках створення магнітолевітаційної транспортної системи (МТС), що об'єднує пасажирські та вантажні перевезення та інтегрована в існуючу залізничну транспортну систему.

У даний час у світі розроблені та знаходяться в різному ступені впровадження пасажирські магнітолевітаційні технології Transrapid (ФРН, КНР), HSST (Японія, Південна Корея), Maglev (Японія) та Inductrack (США), кожна з яких має свої плюси та мінуси, що надають суттєві проблеми як в процесі створення, так і особливо при експлуатації. Тому зазначені країни, як і раніше, продовжують наукові дослідження шляхів підвищення ефективності та спрощення реалізації магнітолевітаційних технологій. В Україні ученими Інституту транспортних систем та технологій для проведення досліджень з удосконалення магнітолевітаційного транспорту розроблено і виготовлено макетний зразок магнітолевітаційного транспортного засобу, стенд чотирипунктного електродинамічного підвісу і транспортна естакада, обладнана системою тяги на базі лінійного синхронного двигуна (ЛСД) (рис. 1).



**Рис. 1. Транспортна естакада з лінійним синхронним двигуном та діючий макет магнітолевітаційного транспортного засобу**

Вирішено практичні задачі по створенню кріомодулів – головного визначального вузла магнітолевітуючого транспорту. Надпровідна котушка кріомодуля та транспортний кріомодуль КТ-10М приведені на рис. 2.

З урахуванням наявного вітчизняного науково-технічного доробку застосування магнітолевітаційних вантажних перевезень вимагатиме створення МТС, що містить:

транспортно-логістичні магнітолевітаційні контейнерні термінали, що забезпечують збирання, переробку та вивантаження контейнерів на магнітолевітаційну вантажну платформу (МВП) та їх переміщення в автоматичному режимі в тиловий контейнерний термінал. Ця ділянка лінії працює за принципом конвеєра, тобто в режимі безперервного переміщення вантажних платформ за певним маршрутом;

магістральні магнітолевітаційні лінії для переміщення магнітолевітаційних вантажних платформ між контейнерними терміналами;

термінальні магнітолевітаційні лінії для переміщення та проведення вантажно-розвантажувальних операцій як усередині терміналу, так і для міжтермінальних, близько розташованих контейнерних терміналів;

магнітолевітаційну вантажну транспортну платформу.



Рис. 2. Транспортний кріомодуль КТ-10М та надпровідна котушка кріомодуля

Зберігаючи найменування, терміни та умовні позначення, прийняті у магнітолевітаційній тематиці, розглянемо основні функціональні системи. З урахуванням власного науково-технічного доробку цілком допустимо і необхідно при створенні вантажної МТС використовувати існуючі та перевірені структурні одиниці пасажирської магнітолевітаційної системи. МВП, на яку встановлюється контейнер, мало чим відрізняється на вигляд і має багато спільного зі звичайною типовою платформою, тільки без коліс, оснащена власним приводом і вбудованим набором обладнання для створення безпілотного режиму. Оскільки функціональне призначення типової та магнітолевітаційної платформ абсолютно однакові, тому при побудові МВП доцільно використовувати конструктивні рішення, відпрацьовані під час проектування звичайної платформи.

Найбільш доцільно контейнерну МВП проектувати для стандартних найбільш поширеного типу 20-футових контейнерів. Досягнута левітаційна здатність пасажирського магнітолевітаційного транспорту дозволяє підйом та переміщення транспортних засобів вагою 50-60 т. Для забезпечення відповідності вимогам стандарту безпілотного магнітолевітаційного транспортного засобу конструктивно-схемна побудова повинна реалізувати функції саморуку та керується в автоматичному режимі МВП. Основними конструктивними системами такої МВП є бортові магнітні системи левітації, стабілізації та лінійної тяги, що вже відпрацьовані та працюють у пасажирському магнітолевітаційному транспорті.

Шляхова структура (ШС) також є однією з важливих функціональних систем вантажної МТС, і вибір типу конструктивного її виконання безпосередньо впливає на техніко-економічні характеристики системи. Відповідно до [14] вибір ШС з дискретним шляховим полотном дає можливість задати будь-яке просторове розтікання струмів, наведених у ній, підвищувати левітаційні характеристики підвісу, а також надає можливість багатофункціонального використання одних тих самих конструктивних елементів для реалізації функцій тяги, підвісу та бічної стабілізації. Тому при побудові МТС доцільно застосувати ШС у дискретному виконанні.

Але важливо не тільки забезпечити ефективність контейнерного МВТ за рахунок використання багатофункціональності та дискретності ШС, а й забезпечення можливості одночасного використання її як для вантажних, так і для пасажирських перевезень, з урахуванням того, що швидкість контейнерного МВТ значно менша за швидкість магнітолевітаційного пасажирського транспорту, тобто для забезпечення руху знадобляться різні рівні левітації. Тому на час проходження МВП струми в котушках ШС програмно змінюються тільки на ділянці ШС, де вона знаходиться, що забезпечує економічність транспортного засобу. З цієї ж причини можна використовувати прості, а не надпровідні котушки МВП, що дає можливість виключення обладнання, необхідного для забезпечення надпровідності, насамперед складного криогенного обладнання, тобто зменшення загальної

ваги (адже вага тільки кріомодуля і надпровідних котушок більше 1100 Н), що дозволить досягати левітації меншими магнітними полями котушок.

Для забезпечення поступального руху магнітолевітаційного пасажирського транспорту використовується ЛСД, обмотки якоря якого розміщені вздовж колійної структури – статора. При живленні обмоток змінною синусоїдальною напругою хвиля результуючої магніторушійної сили переміщається вздовж статора зі швидкістю  $V = 2\tau f$ , де  $f$  – частота напруги живлення,  $\tau$  – полюсний поділ. Взаємодія цієї магніторушійної сили з магніторушійною силою котушки (індуктора) на МВП обумовлює електромеханічне перетворення енергії, завдяки чому індуктор переміщається у бік руху хвилі магніторушійної сили якоря із синхронною швидкістю.

Сьогодні розроблено новий тип двигуна для магнітолевітаційного транспорту – лінійний асинхронний двигун із поздовжньо-поперечним магнітним потоком, який крім тягових зусиль забезпечує поперечну стабілізацію щодо ШС [15]. Для практичної реалізації високошвидкісних МТС належить ретельне техніко-економічне дослідження вибору типу двигуна для МВП. Як відомо, у реалізованих пасажирських магнітолевітаційних технологіях забезпечення левітації можливе як із попереднім набором швидкості з використанням коліс (МАГЛЕВ, Японія), так і без цього (Транспраїд, Китай).

Для реалізації функції безпілотності МВП необхідно забезпечення перманентної її левітації як під час стоянки та розвантаження/навантаження, так і при переміщенні на всіх ділянках магнітолевітаційних шляхів прямування. Тому при створенні МВП необхідне застосування комбінованої тягово-магнітолевітаційної системи, що реалізує функції підвісу, тяги та стабілізації бокового напрямку багатofункціональною котушкою, однакової не тільки для МВП, але й для ШС МТС. Крім того, однією з основних переваг застосування комбінованої тягово-магнітолевітаційної системи є можливість використання для забезпечення функцій тяги, підвісу та бокового спрямування одних тих самих магнітів як на рушійному транспортному засобі, так і на ШС [16].

Відповідно до [17] енергоспоживання магнітолевітаційного поїзда з ЛСД становить величину  $\leq 123$  Втч/Ткм, тобто для переміщення вантажу 1Т на відстань 1 м потрібна енергія 0,123 Втч, а вантажу 40 Т – приблизно 4,92 Втч. З урахуванням ваги самого контейнера (20-40 футів) вага МВП не перевищить 40 Т, і при орієнтації на можливість трафіку 100 контейнерів на добу енергія, необхідна для переміщення МВП, дорівнює 492 Втч.

Вибір раціональної схеми та параметрів магнітолевітаційного вузла МВП є предметом наукових досліджень, але відсутність пасажирів на борту робить вибір схеми розміщення не настільки критичним. Комбіновані котушки розміщуються під днищем МВП рівномірно по довжині, а електромагнітна сумісність та безпека може забезпечуватися, за необхідності, екрануванням магнітного поля котушок.

Для мінімізації часу виконання вантажних операцій у складі МВП необхідно передбачити автоматизовану систему механічного закріплення і розкріплення контейнера на магнітолевітаційній платформі. Конструктивне виконання МВП має бути оснащене аеродинамічними обтічниками, що знижують аеродинамічний опір, для підвищення швидкості переміщення МВП. Аеродинамічний обтічник повинен забезпечувати автоматичну реалізацію функції зниження аеродинамічного гальмування та забезпечення зручності вантажно-розвантажувальних технологічних операцій. МВП має забезпечити режим повного автоматичного безпілотного застосування, що вимагає системи управління безпілотного руху.

Система управління МВП повинна проєктуватися з урахуванням європейської системи управління рухом поїздів ETCS (European Train Control System), в основу якої покладено вимогу безперервного контролю перевізного процесу за допомогою сукупності різних технічних засобів. Диспетчер повинен отримувати дані про місцезнаходження кожної МВП, щоб в будь-який час розрахувати мінімальні можливі відстані між ними, при цьому весь шлях ділиться не на фіксовані ділянки, а на ділянки, що перманентно «рухаються». Для моніторингу розташування МВП та обміну даними з нею можна використовувати балізи, автономні

приймально-передавальні пристрої (транспондери) з енергонезалежною пам'яттю, які встановлюються на ШС і під час проїжджаючої над ними МВП сприймають високочастотний сигнал від неї і передають у відповідь інформаційне повідомлення про її місцезнаходження. Крім того ці дані передаються в інформаційні системи магнітолевітаційних контейнерних терміналів, диспетчеру МТС та одержувачу/відправнику вантажу. Відстань між балізами залежить від встановленої швидкості МВП, і для підвищення ймовірності розпізнавання бортовою системою поточного місцезнаходження МВП, балізи потрібно розмішувати парами. Необхідну енергію балізи одержують від передавальних модулів МВП, які випромінюють високочастотний сигнал, що індукуює в котушці балізи електричний струм. Інформаційний обмін повідомленнями може відбуватися за швидкістю руху до 500 км/год. На всьому шляху проходження здійснюється автоматичний безперервний обмін інформацією між МВП та диспетчером, який забезпечує автоматичне інтервальне регулювання транспортних засобів. Балізи передають на МВП лише свої координати, а бортова система навігації МВП постійно визначає своє місцезнаходження на підставі останніх отриманих координат з балізи та пройденого після цього шляху. МВП можуть уточнювати своє місцезнаходження використовуючи акселерометри, одометри або радари. Ці відомості безперервно передаються диспетчеру, у якого проводиться порівняння даних, що надійшли, з плановим графіком руху поїзда. Результати порівняння по мережі цифрового радіозв'язку передаються до бортової інформаційно-керуючої системи МВП для управління МВП, що дозволяє скоротити інтервал попутного прямування.

МВП має бути оснащена вбудованою системою автоматичного контролю технічного стану як самої платформи, так і транспортного шляху [18]. У режимі онлайн інформаційні повідомлення систем контролю та навігації передаються в інформаційні системи диспетчера і терміналів вибуття та прибуття МВП та перманентно – одержувачу вантажу.

З огляду на застосування обчислювальних засобів у складі МВП цілком зрозуміло, що забезпечення безпеки МВП вимагає наявності системи кібербезпеки як апаратних, так і програмних компонентів всіх складових елементів МТС. МВП є електротехнічною системою, функціонування якої неможливе без наявності бортової системи енергозабезпечення, причому система контактного струмомітання, що застосовується на звичайних електропоїздах, на швидкостях магнітолевітаційного транспорту не може бути реалізована. Тому при побудові бортової системи енергозабезпечення МВП можливо використовувати досвід застосування пасажирських магнітолітвітуючих транспортних засобів [14, 19, 20]. У цьому випадку побудова бортової системи енергозабезпечення базується на використанні лінійного індукторного генератора, в якому напруги живлення індукуються в спеціальних обмотках, розміщених на МВП, за рахунок вищих гармонійних складових магнітного поля струмів, що протікають в ШС. Застосування нових науково-практичних ідей при побудові МВП призводить до зменшення як кількості споживачів, так і необхідної споживаної потужності бортової системи енергозабезпечення, завдяки чому з'являється можливість забезпечення її споживачів меншою необхідною потужністю. Але треба врахувати, що напруга індуктора пропорційна швидкості руху МВП, тому при безперервному тривалому русі МВП для сталого її енергозабезпечення необхідно застосувати гібридні накопичувачі енергії.

Створення МТС передбачає можливість спільного користування магнітолевітаційною пасажирською ШС для вантажних перевезень, що неможливо без забезпечення багатофункціональності МТС. Проведені вченими Інституту дослідження шляхів створення уніфікованої ШС показали можливість створення єдиної ШС завдяки як її новій архітектурі, так і способу розміщення і управління котушок. Цілком зрозуміло, що це можливо лише при використанні багатофункціональних котушок як у самій ШС, так і в рухомому екіпажі для забезпечення одночасно функцій підйому, руху і стабілізації одним схемним елементом.

Існуючі станції, що забезпечують традиційні залізничні пасажирські та вантажні перевезення, та їх інфраструктура не можуть бути використані для функціонування МВТ. На

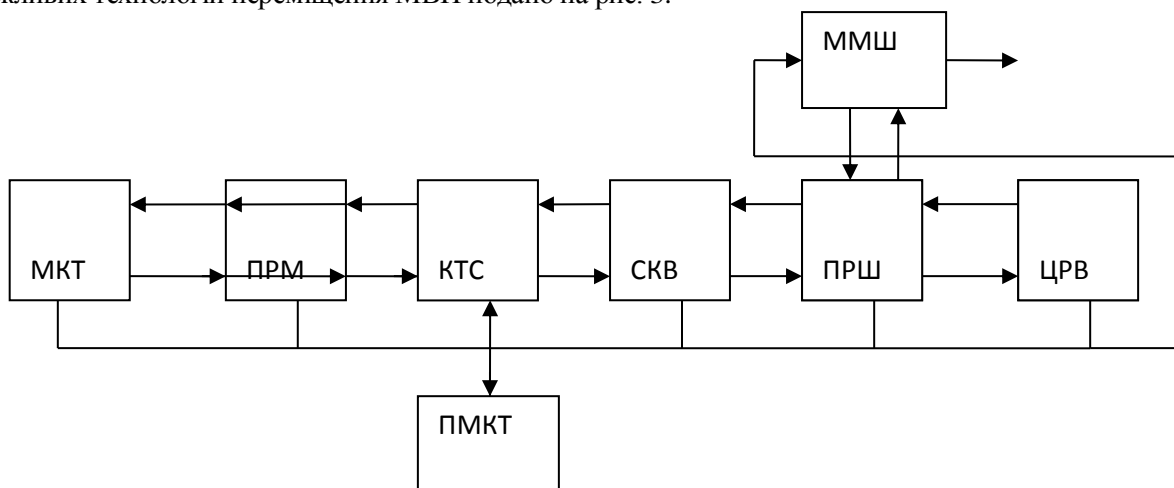
даному етапі розвитку магнітолевітаційного транспорту питання проєктування спеціалізованих вантажних станцій, необхідних для контейнерних магнітолевітаційних перевезень, практично не здійснюються навіть у країнах, які володіють пасажирськими магнітолевітаційними технологіями. Аналіз принципів і технологій роботи існуючих контейнерних терміналів, що застосовуються на традиційному залізничному транспорті, дозволяє зробити висновок, що як вихідні дані для проєктування контейнерних магнітолевітаційних станцій необхідно використовувати ряд типових видів операцій – вантажних, диспетчерських та по обслуговуванню рухомих транспортних засобів. Для виконання зазначених видів операцій технологічне обладнання магнітолевітаційного терміналу вантажної станції має використовувати магнітолевітаційні принципи функціонування.

Магнітолевітаційну вантажну транспортну магістраль доцільно будувати в естакадному виконанні, оскільки опори естакад займають значно менше земельних площ, ніж автостради, аеропорти та залізничний транспорт. Магнітолевітаційна вантажна транспортна магістраль складається з прогонових побудов модульного виконання з уніфікованих легких несучих конструкцій. Маневреність та висока швидкість переміщення вантажного контейнера по магнітолевітаційній транспортній магістралі може бути забезпечена за рахунок оснащення магістралі пристроями переведення шляхів руху МВП. Перемикання руху з одного шляху на інший може здійснюватися автоматичним поперечним пересуванням прогонових побудов. Для цього при створенні транспортної магістралі необхідно передбачити пристрої переведення прогонових побудов. При необхідності переведення контейнера на менші швидкості руху треба мати багаторівневу систему переведення, здатну забезпечити з'зд/в'їзд вантажної платформи у місцях зчленування контейнерної лінії з головною магістраллю. Цілком логічно, що для переходів з контейнерної на магістральну (високошвидкісну) ділянку доцільно використовувати електромагнітне переведення зі шляху на шлях.

ШС для МВП може бути як однолінійною, так і дволінійною. При використанні дволінійної ШС по кожному з шляхів можуть одночасно переміщатися декілька МВП з урахуванням пропускної здатності. МКТ створюється на кінцях кожного шляху, що забезпечує розміщення контейнерів для розвантаження/навантаження для всіх видів транспорту. Управління потоками МВП найбільш просто забезпечити шляхом реалізації принципу односпрямованості руху, коли МВП рухаються з портового терміналу до наземного логістичного терміналу по одній лінії, а із наземного логістичного терміналу до портового – по другій, при цьому одна лінія забезпечує розвантаження терміналу, інша – навантаження. Це забезпечує одночасно розвантаження з обох терміналів і збільшує їх здатність до прийому чергової партії контейнерів. Кожен шлях повинен мати пристрій переведення у відповідний термінал, а в разі транзиту МВП – й переведення з низькошвидкісної термінальної лінії на високошвидкісну магістральну лінію. Інформація про поточну завантаженість терміналів передається диспетчеру, а також інформативно в режимі онлайн – на МВП.

Як свідчить наявний досвід розвитку техносфери, відмови, аварії та катастрофи завжди були невід'ємною частиною життєвого циклу всіх без винятку технічних систем, незважаючи на існуючу думку, що аварії є малоймовірними подіями, настання яких можна уникнути [1]. Тому важливою складовою частиною радіоелектронного обладнання МВП має бути радарне оснащення для здійснення перманентного сканування ШС як в напрямку руху, так і пройденого шляху. Найбільш доцільним є застосування багатофункціональної системи моніторингу на основі радарів та лідарів. Радари використовують електромагнітні хвилі для визначення дальності, швидкості та перешкод у напрямку руху, а лідари, використовуючи алгоритми та методи одночасної локалізації та побудови карт, складають 3-мірну карту, яка використовується для порівняння з еталонною картою маршруту слідування, що зберігається в пам'яті обчислювальних засобів МВП. Усі події, пов'язані з процесом вантажоперевезення, повинні зберігатися в інформаційних системах МВП, контейнерних терміналів та диспетчера МТС із прив'язкою за часом та місцем.

У даний час одним з найбільш опрацьованих варіантів побудови вантажної магнітолевітаційної контейнерної станції є схема тупикового типу. Основною вимогою до такого виду станції є забезпечення автономності та поточності процесу переробки та просування контейнера всередині терміналу. Для організації повного циклу процесу обробки магнітолевітаційний контейнерний термінал повинен мати різні шляхи для розвантаження та навантаження контейнерів. Схематичне зображення процесу обробки в магнітолевітаційному контейнерному терміналі з урахуванням можливих технологій переміщення МВП подано на рис. 3.



**Рис. 3. Технологія обробки в магнітолевітаційному контейнерному терміналі, де МКТ – термінал для МВП, СКВ – система контролю відповідності, КТС – система контролю технічного стану МВП, ПРМ – прийомо-розвантажувальні механізми, ПРШ – пристрій розгалуження шляху, ММШ – магістральний магнітолевітаційний шлях, ЦРВ – центр ремонту та відновлення, ПМКТ – процесор МКТ**

Можливий ряд варіантів організації роботи магнітолевітаційної контейнерної станції, основною відмінністю яких є спосіб переміщення платформ. Так для наведеної на рис. 3 схеми вантажного МКТ процес обробки МВП відбувається таким чином. МВП з контейнером, що прибула на магнітолевітаційний контейнерний термінал МКТ, через пристрій розгалуження шляху ПРШ надходить з контейнерного магнітолевітаційного шляху в систему контролю відповідності СКВ для звірки даних фактичного і необхідного напрямку. Визначення відповідності здійснюється з використанням даних, переданих з диспетчерського центру і терміналу відправлення, та тих, що зберігаються в пам'яті процесора ПМКТ. Ступінь маневреності МВП великою мірою визначається пристроєм переведення МВП як із магістральних на термінальні контейнерні шляхи, так і всередині останніх. Сьогодні ведуться інтенсивні пошуки найбільш ефективного способу перемикання руху магнітолевітаційного транспортного засобу з одного шляху на інший. З урахуванням існуючої концепції побудови стрілочних переведень, що застосовується в пасажирському магнітолевітаційному транспорті [21], переведення транспортного засобу з одного шляху на інший шлях забезпечується механічним переміщенням роз'ємних бічних стінок ділянок ШС за допомогою електромеханічного приводу. При цьому кінцеві частини роз'ємних бічних стінок переміщуються у поперечному напрямку, а середня рознімна частина активної шляхової структури опускається вниз.

Функціонування пристрою розгалуження шляху ПРШ може бути реалізовано з використанням прямих (основних) та відгалужених шляхових треків левітації зі статорами тягових лінійних синхронних двигунів, що забезпечує переведення магнітолевітаційного транспортного засобу з основного шляху на відгалужену колію, або навпаки, рис. 4.

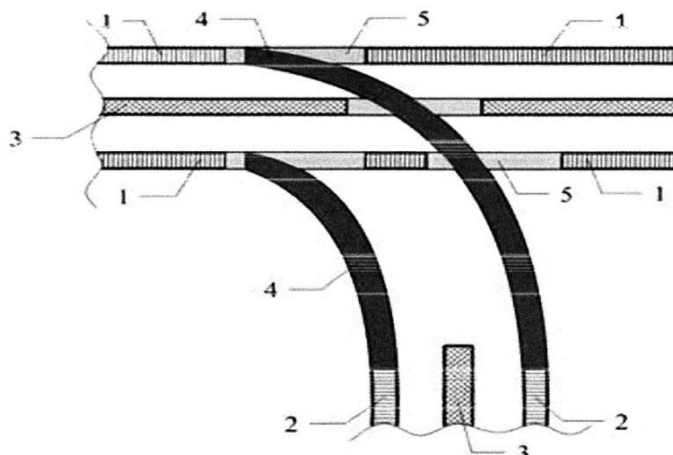


Рис. 4. Функціонування ПРШ

ПРШ включає прямі шляхові треки левітації (1), відгалужені шляхові треки левітації (2) і обмотки статорів тягових лінійних синхронних двигунів (3). На відгалужених шляхових треках левітації в пазах розміщені трифазні обмотки маневрового лінійного синхронного двигуна (4). У прямих шляхових треках левітації (1) та обмотках статорів тягових лінійних синхронних двигунів (3) виконані розриви (5), завдяки чому забезпечується можливість безперервного руху МВП в режимі перманентної левітації на ПРШ. Переведення здійснюється шляхом вимкнення живлення обмоток статора тягового ЛСД при наближенні МВП до місця ПРШ та включення живлення обмоток статорів маневрових ЛСД. В результаті виникає обертальний момент, прямо пропорційний масі МВП, силі тяги маневрових ЛСД і обернено пропорційний радіусу повороту, який забезпечує переведення МВП в стані левітації на іншу ділянку ШС. Це переведення здійснюється автоматично без використання механічних засобів, що полегшує конструкцію стрілочного переведення, підвищує його надійність.

При низьких швидкостях необхідно реалізувати багатовузлові перемикання, здатні забезпечити з'їзд/заїзд МВП на ділянках зчленування з магістральним шляхом. На багатовузлових магнітолевітаційних контейнерних лініях застосування ПРШ з механічним приводом небажане, оскільки він не може забезпечити високу швидкість вантажно-розвантажувальних технологічних операцій. Перемикання шляхів може бути реалізовано шляхом перемикання секцій обмоток статора ЛСД. При використанні двох ЛСД – по лівому та правому борту МВП, регулюванням струмів у статорних обмотках створюється обертальне зусилля, і перехід МВП з одного на інший шлях відбувається в бік ЛСД, струм статорної обмотки якого вище, тобто вище обертальне зусилля. У разі використання одного ЛСД по осі МВП електромагнітне переведення має більш складне технічне рішення.

При збігу даних ПМКТ дозволяє подальший рух по технологічній лінії для проведення контролю технічного стану в КТС і після огляду МВП стає на вивантажувальному шляху і просувається малою швидкістю до ПРМ на розвантаж. Станції, що розташовані на лініях магнітолевітаційного транспорту з підвищеною потоковістю транспортування, повинні мати відповідну переробну здатність. На всьому шляху МВП позиціонується в певній точці шляху, яка змінюється в залежності від поточної ситуації на терміналі по зняттю контейнера з платформи. Після зняття контейнера платформа позиціонується на МКТ для формування повідомлення про готовність до завантаження. На шляху завантаження МКТ платформи стають у чергу для завантаження автоматично закріпленого контейнера. По виході з магнітолевітаційної контейнерної станції кожна МВП знову потрапляє в зону контролю (КТС і СКВ), за результатами якого МВП прямує на ПРШ і далі рухається за маршрутом або прямує для ремонту в центр ремонту та відновлення ЦРВ, не зупиняючи при цьому потоку платформ.

Виходячи з особливостей вантажних контейнерних перевезень та характеристик термінальної структури України, МВП має забезпечити переміщення вантажів з портових та наземних логістичних термінальних центрів різної протяжності. Конвеєрні лінії можуть мати малу протяжність (до 10 км) і не вимагають великої швидкості для переміщення вантажів, але для транспортування на великі відстані використовуються ММШ, на яких є можливість регулювання швидкості МВП залежно від графіка їх руху по ММШ.

Цілком зрозуміло, що забезпечення окупності неможливе без визначення локальних транспортних коридорів, тому важливим є вибір місць розташування МКТ та маршрути трас, які визначаються на основі аналізу обсягів повторюваності та ступеня логістичної ефективності. В Україні великими й найбільш повторюваними відправниками вантажу є група СКМ і Холдинг «Метінвест», що входить до неї, компанія Фергехро, Арселор Міттал, Івано-Франківськ Цемент, Запорізький ЖРК, для яких доцільна побудова МТС, інтегрованих в існуючі контейнерні термінальні структури, з урахуванням сучасного розташування терміналів, відстаней між кінцевими пунктами маршруту, які можуть досягати 500 – 800 км. На великих відстанях наземна ШС повинна бути високошвидкісною, тому і МВП може використовувати швидкісні можливості ШС. Але з урахуванням графіка сполучення пасажирських транспортних засобів оптимальна швидкість руху МВП повинна бути обмежена швидкістю 200-250 км/год. У зв'язку з цим виникають взаємопов'язані завдання дослідження фізичних принципів різних типів левітації, пошуку технічних рішень транспортних засобів, шляхопроводу та інфраструктури, обґрунтування раціональних маршрутів переміщення вантажів та забезпечення технологічної єдності транспортно-складського процесу шляхом створення єдиної конвеєрно-магістральної вантажної транспортної системи. МВП повинні стати елементом ІТС, у якій всі структурні одиниці є багатофункціональними та призначені для реалізації технологій перевезення вантажів та пасажирів. Реалізація інтелектуальних технологій ІТС має поширюватись як на ШС, так і на МВП.

Інтелектуальні технології процесів перевезень повинні містити низку елементів автоматичного збору даних про умови перевезень, розпізнавання нештатних ситуацій або умов та можливостей їх виникнення, прогнозування станів транспортних систем та планування перевезень та ін. Інтелектуальна МВП містить вбудовану систему автоматичного управління рухомими одиницями та самодіагностики, пов'язану з центральними автоматизованими диспетчерськими центрами управління. Впровадження комп'ютерних систем управління на термінальних станціях у зв'язці з цифровим радіоканалом та іншими технічними системами, апаратно-програмними засобами повинні забезпечувати інтероперабельність завдяки сумісності в середовищі команд, що передаються з центру управління, з інших платформ управління через систему радіозв'язку, через інтелектуальний термінал та ін.

Реалізація ІТС може бути поширена на технології «інтелектуального вантажу», який у процесах перевезення «автоматично повідомляє про свої властивості», забезпечуючи логістичні технології «відстеження вантажів» – інформаційні та телематичні технології та системи, які враховують вимоги інтероперабельності або їх елементи. Цілком очевидно, що реалізація інтелектуальності вантажу є складним технологічним завданням, хоча і цілком можливою. Але це пов'язано з додатковими витратами відправника та одержувача і хоча дуже привабливе, але вимагає критичної оцінки. Враховуючи вимоги інтелектуальності МВП, цілком доцільно обмежитися інформацією, яку формує платформа, а не сам контейнер.

Застосування магнітолевітаційної технології для роботи з контейнерами дозволить забезпечити автоматизацію всього циклу доставки вантажів. Вантажна магнітолевітаційна транспортна система з використанням магнітолевітаційних контейнерних платформ дозволить кожен контейнер відправляти з терміналу на конвеєрі індивідуально, без формування контейнерного поїзда до кінцевого пункту призначення. Система дозволить витрачати менше електроенергії перевезення контейнера, проти залізничного транспорту, оскільки силове

живлення подається не на всю лінію, а на ту ділянку, де знаходиться вантажна платформа з контейнером.

Оцінимо можливі характеристики нового виду контейнерних перевезень, використовуючи відомі дані.

За перше півріччя 2020 р. по території України залізничним транспортом перевезено 216635 TEU, що на 14% більше за обсяги перевезень контейнерів за аналогічний період 2019 р. (189 933 TEU). Для розрахунку візьмемо середню швидкість платформи МВП  $V = 250$  км/год (69,4 м/с), а середньостатистичну відстань перевезення залізничним транспортом  $l = 400$  км. Тоді час шляху однієї платформи для цієї відстані між терміналами  $t = l/V = 1,6$  ч або 5760 с. Для оцінки щодобової пропускної спроможності лінії в одному напрямку беремо середньостатистичне значення контейнерів, що були задіяні у 2020 р. –  $N_1 = 1369$  контейнерів. З урахуванням режиму цілодобової роботи магістралі час, потрібний на розвантаження/навантаження контейнера становитиме  $t = (24 \times 3600)/1369 = 63$  с. При швидкості МВП 250 км/год відстань, що проходить платформа за час розвантаження/навантаження контейнера, складе  $S_1 = V \cdot t = 69,4 \times 63 = 4372,2$  м = 4,4 км, а при швидкості МГП 200 км/год (55,55 м/с)  $S_2 = 3499,56$  м = 3,5 км, що дає для кількості МВП, що одночасно можуть перебувати на одній лінії, величину  $n = l/S = 400/4372 = 90$  одиниць для швидкості МВП 250 км/год і 114 одиниць для швидкості 200 км/год.

В Україні у 2019 р. контейнерне перевезення здійснювали переважно портові термінали «Контейнерний термінал Одеса» (390 тис. TEU), «Бруклін-Київ Порт» (257 тис. TEU), «ТІС-КТ» (218 тис. TEU), «Іллічівський морський рибний порт». (138 тис. TEU), тоді, як видно з проведеного розрахунку, вантажна транспортна система, використовуючи технології магнітної левітації, створює гнучку ефективну систему автоматизованого високошвидкісного переміщення та розподілу вантажів між завантаженими логістичними вузлами. Працюючи в 50-60-секундних циклах, система може переміщувати 90-110 контейнерів в одному напрямку індивідуально.

**Висновки.** В роботі досліджена можливість створення магнітолевітаційної вантажної транспортної системи та обґрунтована доцільність застосування існуючих наукових та практичних результатів, реалізованих у пасажирських магнітолевітаційних транспортних засобах, сформульовано основні риси інтелектуального магнітолевітаційного вантажного транспорту, розроблені концептуальні основи побудови магнітолевітаційного вантажного транспортного засобу із застосуванням технологій керованої левітації або пристроїв комутації різних технологій. Нові, більш високі характеристики вантажного магнітолевітаційного транспортного засобу дозволять істотно підвищити рівень вантажних перевезень. Вантажна магнітолевітаційна транспортна платформа – це основа для створення інтелектуального екологічно чистого, малолінійного, безпечного, багатофункціонального вантажного транспорту, що не залежить від кліматичних та погодних умов експлуатації. У своїй роботі автори спираються на результати багаторічних науково-практичних робіт та великий науково-технічний досвід Інституту транспортних систем та технологій щодо побудови магнітолевітаційних систем.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Скалозуб В. В., Соловьев В. П., Жуковицкий И. В., Гончаров К. В. Интеллектуальные транспортные системы железнодорожного транспорта (основы инновационных технологий): пособие. Днепропетровск: Изд-во Днепропетр. нац. ун-та ж.-д. трансп. им. акад. В. Лазаряна, 2013. 207 с.
2. Мироненко В. К., Алексійчук Н. М. Пріоритети розвитку контейнерних перевезень залізницями України // Проблеми та перспективи розвитку транспортних систем в умовах реформування залізничного транспорту: управління, економіка і технології. Сер. «Техніка, технологія», 2013. С. 176–178.
3. Lipsey R., Carlaw K. I., Bekkar C. T. Economic Transformations: General Purpose Technologies and Long Term Economic Growth. Oxford University Press, 2009. 236 p.

4. Національна транспортна стратегія України на період до 2030 року (Проект) URL: <https://mtu.gov.ua/news/28581.html> (дата звернення: 17.05.2022).
5. Ширяєва С. В., Даниківська К. І. Основні складові мультимодальної транспортної мережі // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки», 2015. № 1 (31). С. 568-573.
6. Загорянський, В. Г., Гайкова, Т. В., Хорольський, В. Л., Кузев, І. О. Оптимізаційна модель вибору технічних засобів контейнерних перевезень та їх раціонального поєднання // Вісник КрНУ ім. Михайла Остроградського, 2018. № 3. С. 46-51.
7. Підлісний П. І, Паткевич Н. О., Цветов Ю. В. Роль контейнеризації змішаних вантажних перевезень у розвитку світової торгівлі. Економічний форум. 2016. № 3. С. 67-81.
8. Вернигора Р. В., Огороков А. М., Цупров П. С., Павленко О. І. Мультимодальні перевезення як базовий сегмент транзитного потенціалу України. Зб. наук. праць ДНУЗТ: Серія Транспортні системи і технології перевезень, 2017. №. 14. С. 20-29.
9. Деменко В. Мультимодальний транспорт. Економічні аспекти URL: [https://mtu.gov.ua/files/prezentacija\\_vladimira\\_demenko\\_20.08.18.pdf](https://mtu.gov.ua/files/prezentacija_vladimira_demenko_20.08.18.pdf) (дата звернення: 17.05.2022).
10. Сайт «Новости». URL: <http://www.uspa.gov.ua/ru/press-tsentr/novosti/novosti-ampu/17839-zaoperativnimi-danimi-sichni-veresni-2020-roku-morski-porti-ukrajini-obrobili-118-78-mln-t-vantazhiv> (дата звернення: 10.05.2022).
11. Європейська угода про важливі лінії міжнародних комбінованих перевезень та відповідні об'єкти (УЛКП), 1991 02 січня.
12. Лукашевич С.В. Беспилотное транспортное средство: смена парадигмы как следствие цифровизации экономики, Транспортное право, 2019. № 3. С. 3-5.
13. Wenk M., Klühspies J., Blow L., Kircher R., Fritz E., Witt M., Hekler M. Maglev: Science Experiment or the Future of Transport. Practical Investigation of Future Perspectives and Limitations of Maglev Technologies in Comparison with Steel-Wheel-Rail. Germany: The International Maglev Board, 2018. 44 p.
14. Дзензерский В. А., Омеляненко В. И., Васильев С. В., Матин В. И., Сергеев С. А. Высокоскоростной магнитный транспорт с электродинамической левитацией. Монографія. Киев: Наукова думка, 2001. 479 с.
15. Соломин А. В. Комбинированная система тяги и боковой стабилизации для магнитнолевитационного транспорта. Научные и практические разработки, 2017. С.107-117.
16. Yasukochi K. Superconducting magnet development in Japan. IEEE Trans on Magnetics, 1983. Vol. 3. P. 303-314.
17. Бочаров В. И., Салли И. В., Дзензерский В. А. Транспорт на сверхпроводящих магнитах. Ростов-на-Дону: Издательство Ростовского университета, 1988. 152 с.
18. Лаврич Ю. М., Плаксін С. В., Погоріла Л. М. Мікрохвильові технології контролю надійності колійної структури магнітолевітуючого транспорту. Зб. наукових праць ДУТТ. Сер. Транспортні системи та технології, 2019. №.33. С 55-64.
19. Икэда Х., Сасаки Т., Ёкома Ё. Системы электропитания. Тоцуюдо гидзюцу, 1986. № 8. С. 286- 291.
20. Maki N., Takahashi H., Fujimoto T. A harmonic flux indication type onboard auxiliary power source system for levitated trains. IEEE Transaction on Power Apparatus and Systems, 1981. Vol. 6. P. 2898 – 2906.
21. Schach R., Jehle P., Naimiann R.. Transrapid und Rad-Schiene-Hochgeschwindigkeitsbayn. Ein gesamptheitlicher Systemvergleich. Berlin-Heidelberg: Springer-Verlag, 2006. 428 p.

## REFERENCES

1. Skalozub, V. V., Solovyev, V. P., Zhukovitskiy, I. V. & Goncharov K. V. (2013). *Intellektualnye transportnye sistemy zheleznodorozhnogo transporta (osnovy innovatsionnykh tekhnologiy)* [Intellectual transport systems of railway transport (basics of innovative technologies)]. Dnepropetrovsk: Dnepropetr. nats. un-t zh.-d. transp. im. akad. V. Lazaryana [in Russian].
2. Mironenko, V., K. & Aleksiychuk, N. M. (2013). Prioriteti rozvitku konteynernikh perevezen zaliznitsyami Ukraїni [Priorities for the development of container transportation by railways of Ukraine] *Problemi ta perspektivi rozvitku transportnikh sistem v umovakh reformuvannya zaliznichnogo transportu: upravlinnya, ekonomika i tekhnologii. Ser. «Tekhnika, tekhnologiya» – Problems and prospects of transport systems development in the conditions of railway transport reforming: management, economy and technology. Series. "Technics, technology"*, 176-178 [in Ukrainian].
3. Lipsey, R., Carlaw, K. I. & Bekhar, T. (2009). *Economic Transformations: General Purpose Technologies and Long Term Economic Growth*. Oxford University Press.
4. Natsionalna transportna strategiya Ukraїni na period do 2030 roku (Proekt) [Ukraine National Transport Strategy for the period up to 2030 (project)]. *mtu.gov.ua* Retrieved from <https://mtu.gov.ua/news/28581.html> [in Ukrainian].
5. Shiryayeva, S. V., & Dankivska, K. I. (2015). Osnovni skladovi multimodalnoi transportnoi merezhi [The main components of a multimodal transport network]. *Visnik Natsionalnogo transportnogo universitetu. Seriya «Tekhnichni nauki» – Bulletin of the National Transport University. The Technical Science Series*, 1, 568-573
6. Zagoryanskiy, V. G., Gaykova, T. V., Khorolskiy, V. L. & Kuzev, I. O. (2018). Optimizatsiyana model viboru tekhnichnikh zasobiv konteynernikh perevezen ta ikh ratsionalnogo poednannya [Optimization model of technical means for container transportation and their rational combination]. *Visnik KrNU im. Mikhayla Ostrogradskogo – Bulletin of KrNU of Michael Ostrogradsky*, 3, 46-51 [in Ukrainian].

7. Pidlisniy, P. I., Patkevich, N. O. & Tsvetov, Yu. V. (2016). Rol konteynerizatsii zmishanikh vantazhnikh perevezen u rozvitku svitovoï torgivli [The role of containerization of mixed freight transportation in the development of world trade]. *Yekonomichniy forum – Economic Forum*, 3, 67-81.
8. Vernigora, R. V., Okorokov, A. M., Tsuprov, P. S. & Pavlenko, O. I. (2017). Multimodalni perevezennya yak bazoviy segment tranzitnogo potentsialu Ukraïni [Multimodal transportation as a basic segment of transit potential of Ukraine]. *Zb. nauk. prats DNUZT: Seriya Transportni sistemi i tekhnologii perevezen – Coll. Scientific works of DNUZT: Series Transport systems and transportation technologies*, 14, 20-29 [in Ukrainian].
9. Demenko V. Multimodalniy transport. Yekonomichni aspekti [Multimodal transport. Economic aspects] mtu.gov.ua. Retrieved from [https://mtu.gov.ua/files/prezentacija\\_vladimira\\_demenko\\_20.08.18.pdf](https://mtu.gov.ua/files/prezentacija_vladimira_demenko_20.08.18.pdf) [in Ukrainian].
10. Cayt «Novosti» [Site of news]. *uspa.gov.ua* Retrieved from <http://www.uspa.gov.ua/ru/press-tsentr/novosti/novosti-ampu/17839-zaoperativnimi-daniami-u-sichni-veresni-2020-roku-morski-porti-ukrajini-obrobili-118-78-mln-t-vantazhiv> [in Ukrainian].
11. Evropeyska ugoda pro vazhlivi liniï mizhnarodnikh kombinovanikh perevezen ta vidpovidni ob'ekti (ULKP). (1991) [European Agreement on Important Lines of International Combined Transportation and Relevant Objects (UKP)]. 1991 January 02 [in Ukrainian].
12. Lukashevich, S. V. (2019). Bepilotnoe transportnoe sredstvo: smena paradigmy kak sledstvie tsifrovizatsii ekonomiki [Unmanned vehicle: the paradigm changing as a result of the digitalization of the economy]. *Transportnoe pravo –Transport Law*, 3, 3-5 [in Russian].
13. Wenk M., Klühspies J., Blow L., Kircher R., Fritz E., Witt M., & Hekler M. (2018) *Maglev: Science Experiment or the Future of Transport? Practical Investigation of Future Perspectives and Limitations of Maglev Technologies in Comparison with Steel-Wheel-Rail*. Germany: The International Maglev Board.
14. Dzenzerskiy, V.A., Omelyanenko, V.I., Vasilev, S.V., Matin, V.I. & Sergeev, S.A. (2001). *Vysokoskorostnoy magnitniy transport s eletrodinamicheskoy levitatsiey [High-speed magnetic transport with electrodynamic levitation]*. Kiïv: Naukova Dumka [in Russian].
15. Solomin, A. V. (2017) Kombinirovannaya sistema tyagi i bokovoy stabilizatsii dlya magnitnolevitatsionnogo transporta [Combined traction and lateral stabilization system for magnetic levitation transport]. *Nauchnye i prakticheskie razrabotki – Scientific and practical developments*, 1, 107-117 [in Russian].
16. Yasukochi K. (1983) Superconducting magnet development in Japan. *IEEE Trans on Magnetics*, 3, 303-314.
17. Bocharov, V. I., Sallii, I. V. & Dzenzerskiy, V. A. (1988). *Transport na sverkhprovodyashchikh magnitakh [Transport on superconducting magnets]*. Rostov-na-Donu: Rostovskiy universitet [in Russian].
18. Lavrich, Yu. M., Plaksin, S. V. & Pogorila, L. M. (2019) Mikrokhvilovi tekhnologii kontrolyu nadiynosti koliynoi strukturi magnitolevituyuchogo transportu [Microwave technologies for monitoring the strength of the magnetic transport track structure]. *Zb. naukovikh prats DUTT. Ser. Transportni sistemi ta tekhnologii – Coll. scientific works of DUTT. Ser. Transport systems and technologies*, 33, 55-64.
19. Ikeda Kh., Sasaki T. & Yekoma Ye. (1986). Sistemy elektropitaniya [Power supply systems]. *Totsyudo gijutsu – Totsyudo gidzyutsu*, 8, 286- 291.
20. Maki, N., Takahashi, H., Fujimoto, T. (1981) A harmonic flux indication type onboard auxiliary power source system for levitated trains. *IEEE Transaction on Power Apparatus and Systems*, 6, 2898 – 2906.
21. Schach, R., Jehle, P. & Naimiann, R. (2006). *Transrapid und Rad-Schiene-Hochgeschwindigkeitsbayn. Ein. Gesamtheitlicher Systemvergleich*. Berlin-Heidelberg: Springer-Verlag.

**Yuriy Lavrich<sup>1\*</sup>, Sergiy Plaksin<sup>2</sup>, Lyubov Pogorila<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> Senior Research Fellow, Department of Vehicle Control Systems, Institute of Transport Systems and Technologies of the National Academy of Sciences of Ukraine, 5, Pisarzhevskoho st., Dnipro, 49005, Ukraine

<sup>2</sup> Head of the Department of Vehicle Management Systems, Institute of Transport Systems and Technologies of the National Academy of Sciences of Ukraine, 5, Pisarzhevskoho st., Dnipro, 49005, Ukraine

<sup>3</sup> Junior Research Fellow, Department of Vehicle Management Systems, Institute of Transport Systems and Technologies of the National Academy of Sciences of Ukraine, 5, Pisarzhevskoho st., Dnipro, 49005, Ukraine

## CONCEPTUAL FUNDAMENTALS OF FREIGHT MAGNETOLEVITATION TRANSPORT SYSTEM CONSTRUCTION

*An analysis of the transport systems current state in Ukraine has shown that the main problem in this area is the lack of transport infrastructure capacity, due to low route speeds for most transport modes and low levels of traffic organization and management. The level of rail container transport, the most common and perspective type of freight transportation is also low compared to European*

countries. Therefore, the **main idea** of the article is to justify the need for the introduction of fundamentally new transport technologies that will help reduce or eliminate the problems of freight transport, and so the article is **relevance**. The possibility of using magnetic technologies that exclude contact of a vehicle with a road structure, for freight transportation is investigated. The authors consider the main structural elements, functions and possible options of the magnetic levitation transport system of freight transport. The **practical value** of the work is that the use of magnetic levitation container platforms will significantly increase the intensity and speed of the conveyor sending of each container with a decrease in energy consumption, which will significantly affect the improvement of cargo logistics. The **main results** of the work: the conceptual bases of construction of unmanned magnetic levitation vehicles and the main systems of their infrastructure are formulated, it is shown that the implementation of the function of drone for the vehicle is possible only if permanent levitation in all sections of the freight transportation will be provided.

**Keywords:** freight transportation, speed of movement, magnetic levitation system, unmanned technologies, container platform.