

Сахно В.П., Поляков В.М., Тімков О.М., Шарай С.М., Лисенко О.С.
Національний транспортний університет

ДО СТВОРЕННЯ ГІБРИДНИХ АВТОПОЇЗДІВ З ПОКРАЩЕНИМИ ЕНЕРГЕТИЧНИМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ, ПРОХІДНІСТЮ, МАНЕВРЕНІСТЮ І СТІЙКІСТЮ РУХУ

Встановлено, що створення та експлуатація дорожніх транспортних засобів, які використовують гібридні системи з електричним приводом, вирішує ряд економічних та соціальних проблем сучасності, як на рівні України, так на світовому рівні. Це пов'язане в першу чергу з вирішенням проблем енергозалежності транспортних засобів від паливних енергоресурсів та впровадженням екологічно чистих технологій на транспорті, покращенням прохідності, маневреності, стійкості і безпеки руху транспортних засобів. При масовому впровадженні в експлуатацію електричних та гібридних транспортних засобів шкідливі викиди в масштабах країни зменшуються.

Ключові слова: автопоїзд з гібридною силовою установкою, прохідність, маневреність, стійкість.

Постановка проблеми. Історія розвитку автомобільної техніки безпосередньо пов'язана з постійним тиском суспільства, яке вимагає скорочення витрат на розробку нової продукції, і в той же час підвищення якості транспортного засобу та його безпечності. В теперішній час однією з найважливіших проблем сучасного автомобілебудування є створення високоефективних транспортних засобів, силові установки яких не забруднюють атмосферу шкідливими продуктами згоряння палива. До найбільш перспективних автотранспортних засобів відносять електромобіль. Однак його джерела енергії - акумуляторні батареї - поки не можуть конкурувати з бензином і дизельним паливом за питомою енергоемністю. Тому основним вектором розвитку сучасних екологічно чистих дорожніх транспортних засобів слід вважати гібридні силові установки на основі комбінації двигуна внутрішнього згоряння та тягових електричних машин, які отримують живлення від електричних накопичувачів енергії - акумуляторних батарей або суперконденсаторів.

Концепція створення маневрених, з підвищеною прохідністю, економічних та екологічно чистих дорожніх транспортних засобів базується на гібридних технологіях. Ці технології дозволяють так розподілити тягове зусилля між осями причіпної ланки, за якого можна досягти мінімального опору кочення, а відповідно мінімальної витрати палива і кращих екологічних показників. Крім того, раціональним розподілом тягового зусилля між осями причіпної ланки можна добитися і необхідних показників прохідності транспортного засобу. Раціональний розподіл тягового зусилля, що створюється базовим двигуном і елетродвигуном, за мінімізації витрати палива і токсичності відпрацьованих газів для легкових автомобілів і вантажних малої вантажопідйомності розглянуто в роботах [1, 2]. Проте для транспортних засобів, причіпні ланки яких виконані активними, такі дослідження не проводилися.

Гібридні технології відомі більше 40 років. В силових установках легкових автомобілів використовують різні технології – електричні, гібридні, паливні елементи. Перші спроби застосування гібридних силових установок на вантажних автомобілях починаються у 80-х роках. Компанія HinoMotors, Ltd., починаючи з 1981 року проводила дослідження дизель-електричних гібридних систем, в результаті чого у 1991 році почалися комерційні продажі та експлуатація гібридного дизельного автобуса великого класу. Пізніше, у 2003 р., з'явилися гібридні вантажні автомобілі малої та середньої вантажопідйомності.

Однією із переваг гібридної силової установки є можливість використання тягового зусилля на причіпній ланці для повороту її коліс або осей за силовою схемою. Така схема для двовісних автомобілів з усіма ведучими колесами розглянута в роботі [3], проте для автопоїздів за гібридної системи управління поворотом причіпної ланки вона не придатна і потребує нового підходу до свого вирішення.

Нові розробки в галузі силових установок і методик оптимізації орієнтованих на мінімізацію витрат палива та енергії розглянуто в роботі [4]. Багато теоретичних даних з питань оптимізації складних механічних систем і мультіоб'єктивних методів оптимізації, наведено в [5]. У роботі [3] розглянуті стохастичні моделі відтворення на ЕОМ методом Монте-Карло процесу руху автомобіля в

різних дорожніх умовах з визначенням середньої швидкості руху, витрати палива, середнього відсотка використання потужності двигуна, часу руху на різних передачах, числа включень передач та ін.

Питання аналізу конструкцій і класифікація багатовісних автомобілів традиційної конструкції, загальні закономірності їх динаміки і статички наведено у [6].

У роботі [7] розглянуті питання прохідності автомобілів, умови роботи всюдихідних рушіїв, вплив конструктивних і експлуатаційних параметрів рушія на прохідність і інші якості машини. Проте комплексних робіт відносно конструкцій автопоїздів з гібридними системами розподілу тягового зусилля та керуючого впливу на причіпних ланках не проводилось.

Зважаючи на відсутність у світовій літературі досліджень щодо енергетичних показників, а також показників прохідності, маневреності та стійкості руху транспортних засобів з гібридною силовою установкою у результаті виконання даного дослідження очікується, що будуть отримані оригінальні схемотехнічні рішення щодо компоновання та побудови окремих систем, агрегатів та вузлів екологічно чистих силових установок транспортних засобів. Результати досліджень будуть сприяти розвитку новітніх перспективних технологій у галузі розробки, впровадження та експлуатації екологічно чистих дорожніх транспортних засобів, а також зростанню міжнародного авторитету України в освіті, науці та техніці на світовій арені.

Дане дослідження присвячене підвищенню тягово-швидкісних властивостей, енергоефективності та екологічної чистоти дорожніх транспортних засобів за рахунок створення активного автопоїзда з гібридною системою утворення тягового та керуючого зусилля. Науково обґрунтовані параметри систем, агрегатів та вузлів гібридних систем автопоїзда дозволять удосконалити існуючі конструкції та створити нові енергоефективні методи, засоби та підходи до створення маневрених, екологічно чистих та енергоефективних автопоїздів з підвищеною прохідністю. Використання таких автопоїздів повинно бути підтверджено вирішенням певних технічних проблем, спрямованих на забезпечення високої їх продуктивності і всього транспортного потоку. Недостатня вивченість особливостей динамічного поведіння автотранспортних засобів з гібридною силовою установкою утруднює їхнє конструювання, стримує досягнення оптимальних енергетичних показників та показників прохідності, маневреності і стійкості руху. За наявності двох джерел енергії на автотранспортному засобі зменшуються можливості аналітичного аналізу без достовірного розподілу тягового зусилля між окремими ланками, зокрема при використанні тягового зусилля на причіпній ланці не тільки для підвищення прохідності, а й для керування його колесами (осями). Але маневреність і стійкість автопоїздів за силової схеми управління поворотом причіпної ланки не можна розглядати на підставі характеристик, отриманих для окремих ланок і зокрема, для типових дволанкових автопоїздів, бо об'єднання в єдину механічну систему підсистем автопоїзда з гібридною силовою установкою, що описують поведінку кожної окремо взятої ланки, пов'язано зі зміною коефіцієнтів диференціальних рівнянь і виникненням нових членів, що характеризують зв'язки між підсистемами. Надійність теоретичних рекомендацій з удосконалення конструкції транспортних засобів з гібридною силовою установкою визначається максимально адекватним відстеженням основних зв'язків між його елементами, фізичною несуперечністю вихідних припущень у постановці задачі та коректністю математичної моделі, прийнятої для визначення енергетичних показників та показників прохідності, маневреності і стійкості руху. Також слід визначити критерії, за якими причіпна ланка (причіп або напівпричіп) автопоїзда повинна бути обладнана кінематичною чи силовою схемою управління поворотом. Для цього слід розробити математичну модель руху автопоїздів різних компоновальних схем, яка дозволить визначати енергетичні показники та показники прохідності, маневреності і стійкості руху.

Метою роботи є розробка наукових основ створення гібридних автопоїздів з покращеними енергетичними характеристиками, прохідністю, маневреністю та стійкістю руху шляхом використання гібридних систем утворення тягової сили на колесах та керування причіпними ланками.

Результати дослідження. Дослідженнями, проведеними вітчизняними і закордонними вченими, встановлено, що в основу створення сучасного транспортного засобу з покращеними показниками енергоефективності, прохідності, маневреності та стійкості руху може бути покладена гібридна силова установка. Одним із невирішених питань при створенні такої установки є раціональний розподіл потужності між двигуном внутрішнього згорання тягового автомобіля і електродвигунами коліс причіпної ланки, які використовують для покращення як показників прохідності, так і маневреності і стійкості руху транспортного засобу. В основу такого розподілу можуть бути покладені наступні напрямки:

- двигун внутрішнього згорання тягового автомобіля забезпечує усталений рух автопоїзда, у тому числі із макимальною швидкістю, а допоміжний електродвигун з приводом на колеса напівпричепа – рушання з місця і розганяння автопоїзда тощо;

- допоміжний електродвигун з приводом на колеса напівпричепа забезпечує рух автопоїзда з мінімальною сталою швидкістю (на навантажувально-розвантажувальних майданчиках, у «пробках»);

- допоміжний електродвигун з приводом на колеса напівпричепа виконує функцію керування поворотом коліс (осей) напівпричепа і всього автопоїзда.

Розглянемо більш детально кожний із напрямків.

У разі усталеного руху автопоїзда із макимальною швидкістю потужність двигуна внутрішнього згорання тягового автомобіля визначається за формулою:

$$P_v = \frac{\psi_v G_a V_{\max} + W V_{\max}^3}{1000 \eta_m} \quad (1)$$

Вихідними величинами є коефіцієнт опору дороги ψ_v при макимальній швидкості V_{\max} , повна маса автомобіля G_a , макимальна швидкість руху, фактор обтічності W та коефіцієнт корисної дії трансмісії η_m .

Якщо прийняти загальну масу автопоїзда $G_a=60000$ кг, коефіцієнт опору дороги $\psi=0,015$, макимальну швидкість руху автопоїзда $V_{\max}=25$ м/с, фактор обтічності $W=6,0$ нс²/м⁴, коефіцієнт корисної дії трансмісії $\eta_m=0,9$, то макимальна потужність складе $P_v=330,3$ кВт.

У разі рушання з місця і наступним розганянням автопоїзда необхідно подолати опір коченню коліс автопоїзда і силу інерції автопоїзда, яка враховується як додатковий опір коченню [8].

Тоді

$$P_f = G_{an} \times g \times f = 60000 \times 9,8 \times 0,05 = 29400 \text{ Н,}$$

де G_{an} – повна маса автопоїзда, $G_{an} = 60000$ кг;

f – коефіцієнт опору дороги при рушанні автопоїзда, $f = 0,05$ [Зак].

g – прискорення вільного падіння.

Сила інерції автопоїзда

$$P_j = \delta \times G_{an} \times j = 4,5 \times 60000 \times 0,1 = 27000 \text{ Н,}$$

де δ – коефіцієнт, що враховує приріст сил інерції поступальних мас автопоїзда за рахунок обертових мас, $\delta=4,5$ Нс²/м⁴ [9];

j – прискорення при рушанні автопоїзда, $j = 0,1$ м/с² [9].

Таким чином, сила опору руху при рушанні автопоїзда складе

$$P_{оп} = P_f + P_j = 56400 \text{ Н.}$$

Потужність, необхідна для рушання і розганяння автопоїзда з прискоренням $1,0$ м/с² за швидкості 2 м/с (швидкість на розгонній передачі в коробці передач), складе

$$N_j = \frac{P_f + P_j}{1000 \times \eta} \times v = 365,2 \text{ кВт.}$$

Таким чином, дефіцит потужності у процесі розганяння автопоїзда у розмірі **34,9** кВт може бути подоланий за рахунок допоміжного електродвигуна з приводом на колеса напівпричепа.

Рух автопоїзда з мінімальною сталою швидкістю (на навантажувально-розвантажувальних майданчиках, у «пробках») тощо забезпечується за рахунок допоміжного електродвигуна з приводом на колеса напівпричепа.

Потужність електродвигуна за швидкості 3 м/с складе

$$N_p = \frac{P_f \times v}{1000 \times \eta} = 29,4 \text{ кВт},$$

що менше потужності допоміжного електродвигуна з приводом на колеса напівпричепа при рушанні і розганянні автопоїзда.

Нормована зчїпна маса для триланкового автопоїзда загальною масою $G_{\text{ап}}$ у 60000 кг складає $P_{\text{зч}} = G_{\text{ап}} \times k_{\phi} = 60000 \times 0,25 = 15000$ кг. При цьому сила зчеплення ведучих колїс тривїсного тягового автомобїля з колїсною формулою 6×4 складає $P_{\phi} = 18000 \times 0,6 = 10800$ кг. Рїзницю у 4200 кг повинна забезпечити зчїпна маса напівпричепа.

Сучасний стан розвитку транспортних машин характеризується рїзноманїтнїстю типїв та видїв, а також наявнїстю рїзних систем управління поворотом колїс (осей) причїпних ланок. Найбїльше розповсюдження на-сьогоднї отримали системи з використанням кїнематичного способу повороту, за якого необхідно змїнювати положення керованих колїс. При кїнематичному способї повороту їснують певнї вимоги, а саме певна залежнїсть мїж кутами повороту керованих колїс, яка визначається компоновальними параметрами транспортного засобу.

Недолїками кїнематичного способу повороту колїсних машин з керованими колесами є:

- труднощі забезпечення малого радїуса повороту;
- вїднoсна складнїсть приводу рульового керування при числї керованих колїс бїльше двох;
- зменшення корисного об'єму транспортного засобу через наявнїсть у його корпусї нїш, необхідних для розміщення керованих колїс при їхньому поворотї.

Зазначенї недолїки стають особливо їстотними при колесах великого радїусу, тобто для машин високої прохїдностї.

Одним їз практичних шляхїв усунення перерахованих недолїкїв є використання силового способу повороту їз примусовою змїною сїввїдношення швидкостей обертання неповоротних колїс рїзних бортїв. Вїдсутнїсть керованих колїс значно спрощує конструкцїю машини ї збїльшує корисний обсяг кузову.

Перспективним є використання гїбридної системи повороту автомобїля, за якої використовується одночасно кїнематичний та силовий способи повороту. Вочевидь новї автомобїлї мають свої особливостї, що викликає необхіднїсть їхнього дослідження з метою вибору радїональних параметрїв. Такий пїдхїд дозволяє одержати такї властивостї маневреностї, стїйкостї та керованостї, якї неможливї при використаннї якогось одного типу повороту автомобїля.

У разї виконання допомїжним електродвигуном функцї керування поворотом колїс (осей) напівпричепа необхідна потужнїсть визначиться за моментом опору повороту колїс напівпричепа. Найбїльш повно методика визначення моменту опору повороту колїс розроблена А.П.Солтусом у його роботї [10]. Цей момент з достатньою для практичних розрахункїв точнїстю можна представити у такому виглядї:

$$\sum M_k(\theta) = \sum M_{\omega}(\theta) + M_{\text{ш}}(\theta) + \sum M_{Rz}(\theta) + M_{Ry}(\theta) + \sum M_{Rx}(\theta) + M_{\text{Трш}}(\theta),$$

де $\sum M_k(\theta)$ - момент опору повороту керованих колїс вїдносно осї шворня;

$\sum M_{\omega}(\theta)$, $M_{\text{ш}}(\theta)$, $\sum M_{Rz}(\theta)$, $M_{Ry}(\theta)$, $\sum M_{Rx}(\theta)$, $M_{\text{Трш}}(\theta)$ - складовї моменту опору повороту, якї обумовленї вїдповїдно кутовою швидкїстю повороту цапфи, стабїлїзуючим моментом шини, що виникає в результатї кочення керованих колїс з вїдведенням; ваговим стабїлїзуючим моментом; моментами, що викликанї рївнoдїючими бокових ї поздовжнїх реакцїй опорної поверхнї на керованї колеса, а також тертям у шворневому вузлї.

В залежностї вїд кута повороту керованих колїс, кутової швидкостї повороту цапфи ї швидкостї руху автомобїля сумарний момент опору повороту змїнюється в межах вїд 1203,76 до 1342,87 Нм [11]. Тодї необхідна потужнїсть для повороту керованих колїс однїєї осї напівпричепа визначиться як

$$N_n = \frac{M_{\text{он}} \times \omega_k}{1000} = 1,2 \dots 1,34 \text{ кВт},$$

де ω_k – кутова швидкїсть повороту керованих колїс напівпричепа, $\omega_k = 1,0 \text{ с}^{-1}$.

Таким чином, необхідна потужнїсть допомїжного електродвигуна для приводу ведучих колїс напівпричепа складе **34,9 кВт**.

При виборі потужності електродвигуна для ГСУ слід враховувати непостійність режиму його роботи, можливий реверс, короточасну роботу з перевантаженням при розганянні. На-сьогодні існує 8 номінальних режимів, що згідно міжнародної класифікації умовно позначаються S1 – S8 [6]. Вони відрізняються один від одного здатністю до перевантаження. Сучасні електродвигуни можуть витримувати роботу з перевантаженням до 1,5...3 разів протягом 10...15 хв. При встановленні на автомобіль під час розганяння протягом 10...20 с електродвигуни здатні витримувати ще більше перевантаження, до 10 разів, головне в цьому випадку – забезпечення його оптимального теплового режиму. Такий підхід дозволяє значно знизити номінальну потужність, а отже й масу електродвигуна.

Світові виробники вантажних автомобілів вже мають в модельному ряді вантажні автомобілі з ГСУ. В якості прикладу в таблиці 1 наведені данні деяких магістральних тягачів з ГСУ та їх технічні характеристики. Аналіз даних табл.1 показує, що частина потужності ДВЗ від сумарної (максимальної) потужності ГСУ складає 72,8 (65,5)...83,4%, у той час як частина крутного моменту ДВЗ знаходиться в межах 58,8...66,7%. Тобто, електродвигун, маючи значно меншу потужність порівняно з ДВЗ, забезпечує створення майже 50% крутного моменту ГСУ. Запас ходу тільки на електричній тязі для вантажних автомобілів складає від 1,5...5 км – є достатнім щоб змістити робочу точку ДВЗ в область більш економічної роботи, використовувати електродвигун в режимах розгону та рекуперативного гальмування, подолання максимального опору дороги при русі в важких умовах руху, приводити в дію допоміжні системи та механізми, активний привід причіпних ланок та системи їх керування. Крім того, він може здійснювати маневрування в місцях виконання вантажо – розвантажувальних робіт на електричній тязі для зменшення викидів шкідливих речовин. Екологічність та паливна економічність за даними автовиробників покращується на 15...28%.

Для оцінки паливної економічності автомобілів широко використовують їздові цикли, коли швидкість руху змінюється у певній залежності. При цьому визначення тягово-швидкісних властивостей відбувається на твердих, чистих, сухих ділянках доріг з гарним зчепленням при повній подачі палива та постійному зростанні швидкості [2].

Таблиця 1 – Характеристики вантажних автомобілів з ГСУ

| Автомобіль | Повна маса, кг | Потужність ДВЗ, кВт / Відсоток від сумарної потужності | Крутний момент ДВЗ, Нм / Відсоток від сумарного крутного моменту | Потужність електродвигуна, кВт | Крутний момент, Нм | запас ходу на ел.тязі, км/Ємність АКБ, кВт·год | Економія пального за даними виробника |
|------------------------|----------------|--|--|--------------------------------|--------------------|--|---------------------------------------|
| DAF LF45-160 Hybrid | 12000 | $\frac{117.7}{72.8\%}$ | $\frac{600}{58.8\%}$ | 44 | 420 | $\frac{н.д.}{н.д.}$ | 20% |
| MAN TGL 12.220 Hybrid | 12000 | $\frac{161.8}{72.9\%}$ | $\frac{850}{66.6\%}$ | 60 | 425 | $\frac{5}{2}$ | 18.1% |
| Renault Premium Hybrys | 26000 | $\frac{228}{76.5\% (65.5\%)}$ | $\frac{1153}{59\%}$ | 70 (макс. 120) | 800 | $\frac{1.5}{1.2}$ | 20% |
| Volvo FE Hybrid | 26000 | $\frac{220.7}{75.9\% (64.8\%)}$ | $\frac{1160}{59.2\%}$ | 70 (макс. 120) | 800 | $\frac{1.5}{1.2}$ | 15 – 20% |
| Peterbilt Model 335 | 11800 | $\frac{220.7}{83.4\%}$ | $\frac{840}{66.7\%}$ | 44 | 420 | $\frac{н.д.}{н.д.}$ | 28% |

В реальних умовах експлуатації тягове зусилля і швидкість автомобіля змінюються в широких межах, які визначаються умовами експлуатації. Режим руху автомобіля в місті або поза містом також відчутно впливає на його експлуатаційні показники. Неможливо створити конструкцію автомобіля, що працює оптимально в рівній мірі у самих різноманітних умовах. Тому при обґрунтуванні проектних варіантів технічних рішень доводиться обмежуватися декількома варіантами, які забезпечують

найбільший економічний ефект при впровадженні. Економічний ефект буде максимальним за умови вибору параметрів автомобіля, що враховують реальні умови його експлуатації [7].

Протягом часу внаслідок багатьох обставин дорожні умови, в яких працює автомобіль, суттєво змінюються. Тому синтезовані типові їздові цикли рано чи пізно втрачають свою репрезентативність. Це обумовлює необхідність періодичного перегляду розглянутих раніше їздових циклів. Сьогодні виникають ускладнення при порівнянні рівня досконалості автомобілів різних років випуску та при абсолютній оцінці ступеня наближення до енергетичної досконалості. Для обґрунтування вибору співвідношення між потужністю ДВЗ та електродвигуна потрібно використовувати реальні умови експлуатації автопоїздів, одержані шляхом довготривалих спостережень в умовах експлуатації.

Найбільші можливості та подальші шляхи вдосконалення стосуються силової установки та використання рекуперативного гальмування. При цьому перспективним шляхом є використання гібридних силових установок у вигляді поєднання ДВЗ, електродвигуна та накопичувача електричної енергії. Автопоїзди мають широкі можливості для компонування накопичувачів енергії. Розташування накопичувачів на причіпних ланках дозволяє легко вирішити проблему енергозабезпечення автоматизованих систем керування коліс та осей причіпних ланок та розширити використання конструкції активних автопоїздів різного призначення. Використання електричних мотор – коліс на причіпних ланках дозволяє реалізувати раціональне компонування елементів трансмісії, повністю або частково розташувати всередині обода колеса, звести до мінімуму кількість та розміри деталей механічної передачі. Використання мотор – коліс відкриває нові технічні можливості у створенні колісних машин принципово нової конструкції, для яких трансмісія у вигляді індивідуального електроприводу є найбільш виправданою.

Висновки. Встановлено, що створення та експлуатація дорожніх транспортних засобів, які використовують гібридні системи з електричним приводом, вирішує ряд економічних та соціальних проблем сучасності, як на рівні України, так на світовому рівні. Це пов'язане в першу чергу з вирішенням проблем енергозалежності транспортних засобів від паливних енергоресурсів та впровадженням екологічно чистих технологій на транспорті, покращенням прохідності, маневреності, стійкості і безпеки руху транспортних засобів. При масовому впровадженні в експлуатацію електричних та гібридних транспортних засобів шкідливі викиди в масштабах країни зменшуються.

1. Giancarlo Genta, Lorenzo Morello, Francesco Cavallino, Luigi Filtri. *The Motor Car: Past, Present and Future* — Springer Dordrecht Heidelberg New York London, 2014. XXIV, 662 p. 418 illus. — ISBN 978-94-007-8551-9, ISBN 978-94-007-8552-6 (eBook), DOI 10.1007/978-94-007-8552-6.
2. Бажинов О.В., Смирнов О.П., Серіков С.А., Гнатов А.В., Колесніков А.В. Гібридні автомобілі. — Харків, ХНАДУ, 2008. — 327 с. ISBN: 966-652-160-5.
3. Фаробин Я. Е. Теория поворота транспортных машин / Я. Е. Фаробин. М.: Машиностроение, 1970. 176 с.
4. Guzzella L., Sciarretta A. *Vehicle Propulsion Systems: Introduction to Modeling and Optimization* / 2nd ed. — Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2007. XII, 338 p. 202 illus. — ISBN 978-3-540-74692-8.
5. Mastinu G., Gobbi M., Miano C. *Optimal Design of Complex Mechanical Systems: With Applications to Vehicle Engineering* Springer, 2006. 403 p. ISBN:3540343547.
6. Агейкин Я.С. Вездеходные колесные и комбинированные движители М.: Машиностроение, 1972. - 184с.
7. Закин Я.Х. Прикладная теория движения автопоезда /Я.Х.Закин - М.: Транспорт, 1967. - 225 с.
8. Солтус А.П. Теория эксплуатационных характеристик автомобиля: Навч. посібник. — К.: Арістей, 2005. — 187 с.
9. Сахно В.П. До визначення моменту опору повороту керуючого колісного модуля автопоїзда-контейнерова /В.П.Сахно, В.В. Стельмашук, Р.М.Марчук, В.М.Придюк //Наукові нотатки. Міжвузівський збірник (за галузями знань «Машинобудування та металообробка», «Інженерна механіка», «Металургія та матеріалознавство»). — Вип. 28 (травень 2010). — Луцьк. — 2010. С. 466-472.
10. Теория и расчет тягового привода электромобилей / И.С. Ефремов, А.П. Пролыгин, Ю.М. Андреев, А.Б. Миндлин. — М.: Высшая школа, 1984. — 210 с.
11. Автотранспортные средства. Скоростные свойства. Методы испытаний: ГОСТ 22576 — 90. — [введен с 01.01.1992]. — М.: Изд-во стандартов, — 1991. — 13 с.
12. Гашук П.Н. Энергетическая эффективность автомобиля / П.Н. Гашук. Львов: Свит, 1992. — 208 с.

REFERENCES

1. Genta, G., Morello, L., Cavallino, F. & Filtri, L. (2014). *The Motor Car: Past, Present and Future*. Springer Dordrecht Heidelberg, New York London,. 662 p. DOI 10.1007/978-94-007-8552-6.
2. Bazhynov, O., Smyrnov, O., Sierikov, S., Hnatov, A. & Koliesnikov, A. (2008). *Hybrid cars. [Hibrydni avtomobilij]*. Kharkiv, KhNADU Publ., 327 p.
3. Farobin, Ya. (1970). *The theory of transport vehicles turning. [Teoriya povorota transportnykh mashin]*. Moscow, Mashinostroenie Publ., 176 p.
4. Guzzella, L. & Sciarretta, A. (2007). *Vehicle Propulsion Systems: Introduction to Modeling and Optimization*. 2nd ed. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 338 p.
5. Mastinu, G., Gobbi, M. & Miano, C. (2006). *Optimal Design of Complex Mechanical Systems: With Applications to Vehicle Engineering*. Springer, 403 p

6. Ageikin, Ya. (1972). *ATV wheels and dual propellers*. [Vezdekhodnye kolesnye i kombinirovannye dvizhiteli]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 184 p.
7. Zakin, Ya. (1967). *Applied theory of road train movement*. [Prikladnaya teoriya dvizheniya avtopoezda]. Moscow, Transport Publ., 225 p.
8. Soltus, A. (2005). *Theory of operational properties of the vehicle*. [Teoriia ekspluatatsiinykh vlastyvostei avtomobilia]. Kyiv, Aristei Publ., 187 p.
9. Sakhno, V., Stelmashchuk, V., Marchuk, R. & Prydiuk, V. (2010). Determination of the resistance moment of rotation of steering control module of road container train. [Do vyznachennia momentu oporu povorotu keruiuchoho kolisnoho modulia avtopoizda-konteinerovoza]. *Naukovi notatky*. Vol. 28. Lutsk, pp. 466-472.
10. Efremov, I., Prolygin, A., Andreev, Yu. & Mindlin, A. (1984). *Theory and design of electric traction drive*. [Teoriya i raschet tyagovogo privoda elektromobiley]. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 210 p.
11. *GOST 22576-90*. [State Standard 22576-90]. *Motor vehicles. Speed characteristics. Test methods*. Moscow, Izdatelstvo Standartov Publ., 1991. 13 p. (In Russian).
12. Gashchuk, P. (1992). *The energy efficiency of the vehicle*. [Energeticheskaya effektivnost' avtomobilya]. L'vov, Svit Publ., 208 p.

Сахно В.П., Поляков В.М., Тімков А.Н., Шамрай С.М., Лысенко А.С. К созданию гибридных автопоездов с улучшенными энергетическими характеристиками, проходимостью, маневренностью и устойчивостью движения.

Установлено, что создание и эксплуатация транспортных средств, использующих гибридные системы с электрическим приводом, решает ряд экономических и социальных проблем современности, как на уровне Украины, так на мировом уровне. Это связано в первую очередь с решением проблем энергезависимости транспортных средств от топливных энергоресурсов и внедрением экологически чистых технологий на транспорте, улучшением проходимости, маневренности, устойчивости и безопасности движения транспортных средств. При массовом внедрении в эксплуатацию электрических и гибридных транспортных средств вредные выбросы в масштабах страны уменьшаются.

Ключевые слова: автопоезд с гибридной силовой установкой, проходимость, маневренность, устойчивость.

V. Sakhno, V. Poliakov, O. Timkov, S. Sharai, O. Lysenko. Prior to the creation of hybrid road trains with improved power characteristics, passability, maneuverability and motion sustainability.

It is established that the creation and operation of road vehicles that use hybrid electric drive system, solves a number of economic and social problems in Ukraine and worldwide. This will help to solve the problems of energy dependence of vehicle from fuel energy resources and introduction of clean ecology technologies in transport. Also passability, maneuverability, stability and safety of vehicles will improve. In the way of mass implementation into operation of electric and hybrid vehicles emissions are reduced in a national scale.

Keywords: road train with a hybrid powertrain, passability, maneuverability, stability.

АВТОРИ:

САХНО Володимир Прохорович, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри «Автомобілі», Національний транспортний університет, e-mail: sakhno@ntu.edu.ua.

ПОЛЯКОВ Віктор Михайлович, доктор технічних наук, професор кафедри «Автомобілі», Національний транспортний університет, e-mail: poljakov_2006@ukr.net

ТІМКОВ Олексій Миколайович, кандидат технічних наук, доцент кафедри «Автомобілі», Національний транспортний університет.

ШАРАЙ Світлана Михайлівна, кандидат технічних наук, професор кафедри транспортних технологій, Національний транспортний університет.

ЛИСЕНКО Олександр Олександрович, аспірант кафедри «Автомобілі», Національний транспортний університет.

AUTHORS:

Volodymyr SAKHNO, Doctor of Science in Engineering, Professor, Head of Automobiles Department, National Transport University, Kyiv, Ukraine, e-mail: sakhno@ntu.edu.ua

Viktor POLIAKOV, Doctor of Science in Engineering, Professor of Automobiles Department, National Transport University, Kyiv, Ukraine, e-mail: poljakov_2006@ukr.net

Oleksii TIMKOV, PhD. in Engineering, Assoc. Professor of Automobiles Department, National Transport University, Kyiv, Ukraine.

Svitlana SHARAI, PhD. in Engineering, Professor of Transport Technologies Department, National Transport University, Kyiv, Ukraine.

Oleksandr LYSENKO, Postgraduate Student of Automobiles Department, National Transport University, Kyiv, Ukraine.

Стаття надійшла в редакцію 08.09.2015р.