

# ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНІ ПРИВІДНІ МОСТИ ТИПУ "ДЕ-ДІОН"

ТОВ «Науково-технічний центр «АВТОПОЛПРОМ»

## *Анотація*

Запропоновані напрямки створення електромеханічних приводних мостів типу "Де-діон" для комерційних електромобілів, тролейбусів, гібридних автобусів та електробусів. Наведена класифікація приводних мостів цього типу, проаналізовані їх переваги та недоліки.

**Ключові слова:** комерційний електромобіль, електробус, електромеханічний приводний міст, тяговий електродвигун.

## *Abstract*

*Directions of creating electromechanical drive bridges of the "De-Dion" type for commercial electric vehicles, trolley buses, hybrid buses and electric buses are proposed. The classification of drive axles of this type is given, their advantages and disadvantages are analyzed.*

**Keywords:** commercial electric vehicle, electric bus, electromechanical drive axle, traction motor.

## **Вступ**

Комерційні електромобілі та електробуси набувають все ширшого застосування у багатьох країнах світу. Відповідно, бурхливого розвитку зазнають їх тягові електричні приводи на основі приводних мостів різних типів – класичних механічних з редукторами одинарних або подвійних головних передач, електромеханічними, обладнаними одним або двома тяговими електродвигунами і редукторами головних передач або проміжними зубчастими редукторами, та електричними, у яких відсутні редуктори головних передач або проміжні зубчасті редуктори, тобто з електромотор-колесами.

На нинішній час у конструкціях тягових приводів комерційних електромобілів застосовуються, здебільшого, приводні мости балкового типу, а у конструкціях міських електробусів – електромеханічні або електричні мости порталного типу. Хоча, ось уже на протязі кількох років італійська фірма "Brist axle systems srl" займається проектуванням і виробництвом приводних електромеханічних мостів з незалежною підвіскою одинарних коліс.

Метою роботи є розроблення компоновальних схем електромеханічних приводних мостів типу "Де-Діон" на основі застосування одного або двох тягових електродвигунів та редуктора головної передачі або одного або двох проміжних зубчастих редукторів.

## **Результати дослідження**

Концепція створення електромеханічних приводних мостів (ЕмПрМ) для комерційних електромобілів, тролейбусів та електробусів полягає у застосуванні мостів з підвіскою коліс типу "Де-Діон" та одного або двох тягових електродвигунів (ТЕД) і одного редуктора головної передачі з диференціальним механізмом (ГП+Д) або двох проміжних зубчастих редукторів.

Підвіска типу "Де-Діон" являється компромісним варіантом, який об'єднує переваги залежної підвіски коліс мостів балкового типу та незалежної підвіски коліс. Привідні мости типу "Де-Діон" характеризуються тим, що приводні колеса моста жорстко з'єднані між собою поперечною балкою, яка через відповідні пружні елементи та важелі підвішена до рами автомобільного шасі. Редуктор головної передачі такого моста виділений в окрему складову частину і кріпиться до рами шасі автомобіля.

На нинішній час ЕмПрМ "Де-Діон" у трансмісіях вантажних електромобілів, тролейбусів і електробусів майже не застосовуються. Проте, вони мають ряд конструктивних, технологічних та економічних переваг, серед яких:

- значно менша непрацююча маса за рахунок меншої маси балки моста та кріплення редуктора головної передачі до рам автомобільних шасі або до тримальних кузовів автобусів, тролейбусів та електробусів;

- простіша конструкція балок мостів у порівнянні з балками мостів балкового та порталного типів;
- менша технологічна складність та нижча трудомісткість виготовлення усіх складових частин мостів.

Озвучені переваги спонукають до оцінки перспективності застосування ЕмПрМ типу "Де-Діон", які за розміщенням одного або двох ТЕД та редуктора головної передачі з диференціальним механізмом (ГП+Д) або проміжних зубчастих редукторів пропонується об'єднати у наступні три групи (рис. 1):

- з відокремим розміщенням одного або двох ТЕД і одного редуктора (ГП+Д);
- з одним або двома ТЕД, зблокованими з одним редуктором конічної або циліндричної (ГП+Д) або з двома ТЕД, зблокованими з двома проміжними циліндричними редукторами (ЦПР);
- з одним ТЕД, інтегрованим у головну передачу планетарного типу (ПП+Д), або з двома ТЕД, інтегрованими у два циліндричні планетарні редуктори (ПР).

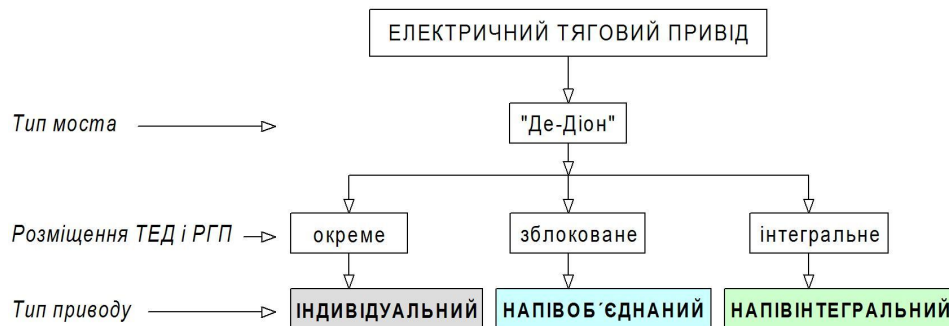


Рис. 1. Класифікація електромеханічних привідних мостів типу "Де-Діон" (ТЕД – тяговий електродвигун; РГП – редуктор головної передачі)

Варіанти електромеханічних привідних мостів типу "Де-Діон" першої групи з відокремим розміщенням тягових електродвигунів та редукторів головних передач наведені на рис. 2.

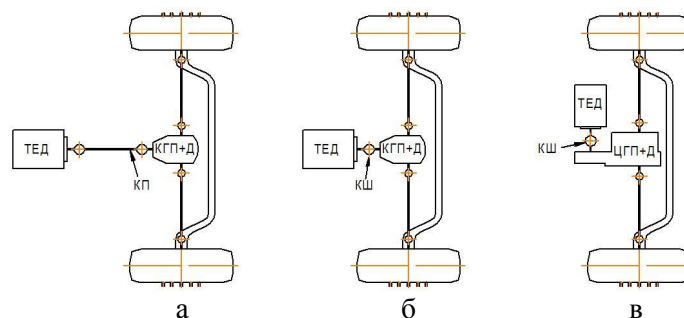


Рис. 2. Електромеханічні привідні мости типу "Де-Діон" з індивідуальним приводом: а – з карданною передачею (КП) і конічною (ГП+Д); б – з одним карданним шарніром (КШ) і конічною (ГП+Д); в – з одним КШ і циліндричною (ЦП+Д)

Варіант привідного моста з циліндричною головною передачею (рис. 2в) забезпечує ряд переваг – більшу технологічність конструкції та меншу собівартість виготовлення, оскільки вона простіша і економічніша у виробництві. Крім того, такий міст має найменшу величину заднього звису, що дуже важливо при створенні міських електробусів з низьким рівнем підлоги.

Проте, більш перспективними видаються варіанти ЕмПрМ типу "Де-Діон" другої групи, тобто з одним або двома ТЕД, зблокованими з редукторами (ГП+Д). Хоча такі мости являються конструктивно складнішими, єдиний блок, в який об'єднані тягові електродвигуни та редуктори головної передачі, суттєво спрощує кріплення цих складових частин до рам комерційних електромобілів або тримісних кузовів електробусів.

Характерною особливістю напівоб'єднаних ЕмПрМ типу "Де-Діон" являється можливість застосування у їх конструкціях або одного або двох ТЕД (рис. 3). Конструктивна та економічна доцільність застосування двох ТЕД полягає у зменшенні габаритних розмірів мостів, зменшенні маси двох ТЕД у порівнянні з масою одного ТЕД аналогічної сумарної потужності [1] і навіть у зменшенні вартості електричного тягового приводу.

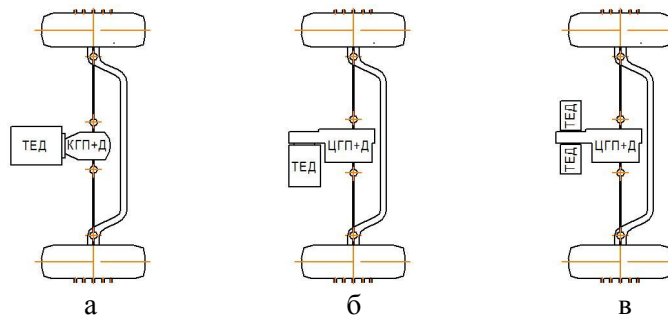


Рис. 3. Напівоб'єднані електромеханічні привідні мости типу "Де-Діон": а – з одним ТЕД і конічною (ГП+Д); б – з одним ТЕД і циліндричною (ГП+Д); в – з двома ТЕД і циліндричною (ЦГП+Д)

Ще два варіанти компоувальних схем напівоб'єднаних ЕмПрМ, обладнаних двома ТЕД, наведені на рис. 3. Вони передбачають заміну циліндричної (ГП+Д) двома окремими ЦПР (рис. 4).

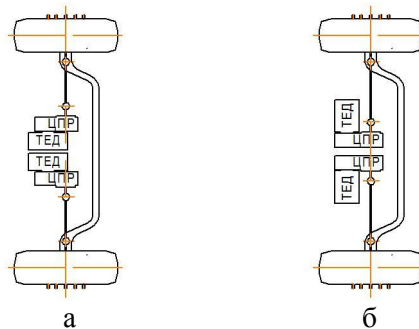


Рис. 4. Напівоб'єднані електромеханічні привідні мости типу "Де-Діон" з двома ТЕД і двома ЦПР

Компоувальна схема напівоб'єданого ЕмПрМ, наведена на рис. 4а, доцільна при застосуванні ТЕД з габаритним діаметром або габаритною шириною понад 300 мм, а схема на рис. 4б, відповідно, до 250-300 мм.

На основі компоувальних схем напівоб'єднаних ЕмПрМ, наведених на рис. 3в і на рис. 4, розроблений та запатентований [2] більш простіший і економічніший варіант (рис. 5), у якому циліндрична (ГП+Д) або два ЦПР замінені на здвоєний одно- [3-4] або двоступеневий [5] циліндричний проміжний редуктор (ЗЦПР).

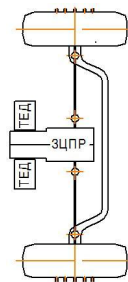


Рис. 5. Напівоб'єднані електромеханічний привідний міст типу "Де-Діон" ого типу з двома ТЕД і ЗЦПР

Відсутність диференціального механізму, присутнього у схемі на рис. 3в, функції якого повинна виконувати електронна система керування електричним тяговим приводом (ЕТПр), суттєво спрощує технологічний процес виготовлення ЗЦПР і зменшує затрати на освоєння його виробництва, а об'єднання двох окремих ЦПР у здвоєний редуктор зменшує і загальні масу блоку з двох ТЕД і ЗЦПР.

Електромеханічні привідні мости типу "Де-Діон" третьої групи обладнані інтегрованими блоками, до складу яких входять один ТЕД і одна головна передача планетарного типу з відповідним диференціальним механізмом (ПГП+Д), аналогічна тим, що застосовуються у інтегральних привідних мостах балкового типу. Від блоків, у яких зблоковані ТЕД і редуктори (ГП+Д), вони відрізняються тим, що їх вхідні та вихідні вали знаходяться на одній спільній осі обертання. Компоувальні схеми напівінтегральних ЕмПрМ типу "Де-Діон" передбачають застосування або одного інтегрального блоку, що

складається з одного ТЕД і одного редуктора (ПГП+Д) або з двох інтегральних блоків у складі одного ТЕД та одного ПР (рис. 6).

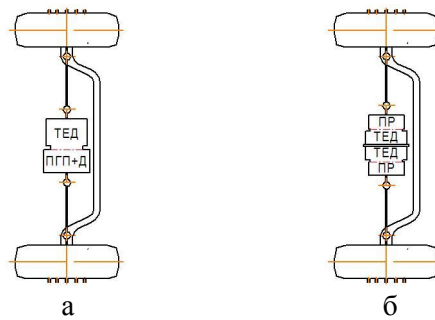


Рис. 6. Компонувальна схема напівінтегральних ЕмПрМ типу "Де-Діон": а – з одним ТЕД і одним редуктором (ПГП+Д); б – з двома ТЕД та двома ПР

На даний час не вдалося знайти інформацію про ЕмПрМ типу "Де-Діон", які би виготовлялися спеціалізованими фірмами для застосування у трансмісіях і ходових частинах комерційних електромобілів та електробусів. Тому аналіз пропонованих компонувальних схем ЕмПрМ типу "Де-Діон" можна провести лише на основі відносних (експертних) оцінок і відносних коефіцієнтів складності їх конструкцій, компактності, параметрів мас тощо за пропонованими виразами

$$k_{em} = \frac{0,1}{k_c \times (k_m + k_{nm})}, \quad (1)$$

де  $k_{em}$  – відносний коефіцієнт технічної ефективності електромеханічного привідного моста;  
 $k_c$  – відносний коефіцієнт складності конструкції електромеханічного привідного моста;

$$k_c = 0,01 \sum_{i=1}^n n_i, \quad (2)$$

де  $n_i$  – одна і-а складова частина ЕмПрМ;  
 $k_m$  – відносний коефіцієнт маси електромеханічного привідного моста;

$$k_m = 10^{-3} \sum_{i=1}^n m_i, \quad (3)$$

де  $m_i$  – маса будь-якої і-ої складової частини моста, кг;  
 $k_{nm}$  – відносний коефіцієнт невіднесених мас електромеханічного привідного моста;

$$k_{nm} = 10^{-3} \sum_{i=1}^n m_i^n, \quad (4)$$

де  $m_i^n$  – маса будь-якої і-ої невіднесеної складової частини моста, кг.

Результати розрахунків з експертної оцінки технічної ефективності електромеханічних привідних мостів типу "Де-Діон" пропонованих компонувальних схем (рис. 1-5), обладнаних одинарними колесами типорозміру R22,5", наведені у табл. 1.

Таблиця 1 – Оцінка технічної ефективності електромеханічних привідних мостів типу "Де-Діон"

Найменування параметра	Відносна оцінка компонувальної схеми/ рис. №										
	2а	2б	2в	3а	3б	3в	4а	4б	5	6а	6б
Кількість складових частин	15	13	13	12	12	13	13	13	12	12	13
Коефіцієнт технологічної складності, $k_c$	0,15	0,13	0,13	0,12	0,12	0,13	0,13	0,13	0,12	0,12	0,13
Маса моста, кг	560	545	545	535	535	515	520	520	515	520	520
Коефіцієнт маси, $k_m$	0,56	0,545	0,545	0,535	0,535	0,515	0,52	0,52	0,515	0,52	0,52
Маса невіднесених частин моста, кг	335										
Коефіцієнт невіднесеної маси, $k_{nm}$	0,335										
Коефіцієнт відносної технічної ефективності, $k_{em}$	0,745	0,874	0,874	0,958	0,958	0,905	0,9	0,9	0,98	0,975	0,9

Як видно з результатів розрахунків, запропонована методика оцінки технічної ефективності електромеханічних привідних мостів типу "Де-Діон" забезпечує можливість відповідної оцінки і обґрунто-

ваного вибору тієї чи іншої компоновальної схеми моста, принаймні, на етапі розроблення ескізних пропозицій.

### Висновки

У результаті огляду та аналізу пропонованих компоновальних схем електромеханічних привідних мостів типу "Де-Діон" можна зробити ряд наступних висновків:

- ЕМПрМ типу "Де-Діон" конструктивно і технологічно суттєво простіші за привідні мости балкового та порталного типів з аналогічними параметрами;
- освоєння виробництва ЕМПрМ типу "Де-Діон" цілком можливе на вітчизняних підприємствах з набагато меншими затратами на необхідне технологічне обладнання та технологічне оснащення;
- ЕМПрМ типу "Де-Діон" аналогічної допустимої навантаги матимуть меншу масу і суттєво менші невіднесорені маси, особливо відносно мостів порталного типу;
- із аналізу пропонованих компоновальних схем ЕМПрМ для застосування у трансмісіях і ходових частинах комерційних електромобілів і електробусів найбільш перспективною являється схема з двома тяговими електродвигунами і одним здвоєним проміжним циліндричним редуктором, наведена на рис. 5, для якої коефіцієнт технічної ефективності найбільший і складає 0,98.

Отже, електромеханічні мости типу "Де-Діон" можуть і повинні скласти конкуренцію електричним тяговим приводам комерційних електромобілів на основі застосування мостів балкового і порталного типів.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Войтків С. В., Тараненко М. Є. Напрямки розвитку конструкцій електричних тягових приводів комерційних електромобілів на основі ведучих мостів балкового і порталного типів. *Автомобільний транспорт. Зб. наук. праць. Харківський національний автомобільно-дорожній ун-тет.* Харків, 2009. Випуск 45. С. 79-90.
2. Тяговий привід електробуса : пат. 115426 Україна: МПК В62D 47/02, В60К 17/04. № u 2016 12085; заявл. 28.11.2016; опубл. 10.04.2017, Бюл. № 7. 4 с.
3. Редуктор циліндричний одноступеневий здвоєний : пат. 115424 Україна, МКП F16H 1/22. № u 2016 12083; заявл. 28.11.2016; опубл. 10.04.2017, Бюл. № 7. 5 с.
4. Редуктор циліндричний одноступеневий здвоєний : пат. 115425 Україна, МКП F16H 1/22. № u 2016 12084; заявл. 28.11.2016; опубл. 10.04.2017, Бюл. № 7. 5 с.
5. Редуктор двоступеневий циліндричний здвоєний : пат. 119031 Україна, МКП F16H 1/22. № u 2017 02090; заявл. 06.03.2017; опубл. 11.09.2017, Бюл. № 17. 6 с.

**Войтків Станіслав Володимирович** – канд. техн. наук, генеральний конструктор ТОВ «Науково-технічний центр «АВТОПОЛІПРОМ», Заслужений машинобудівник України, Львів, e-mail: voytkivsv@ukr.net

**Voytkiv Stanislav V.** – Cand. Sc. (Eng), general designer "Scientific and technical center "Autopoliprom", The deserved machine engineer of Ukraine, e-mail: voytkivsv@ukr.net