

# ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТЯГОВИЙ ПРИВІД ЕЛЕКТРОМОБІЛІВ НА ОСНОВІ ПРИВІДНИХ МОСТІВ НАПІВБАЛКОВОГО ТИПУ

ТОВ «Науково-технічний центр «АВТОПОЛПРОМ»

## Анотація

Запропоновані напрямки створення тягових приводів комерційних електромобілів на основі застосування електромеханічних приводних мостів напівбалкового типу. Наведена класифікація приводних мостів напівбалкового типу, проаналізовані їх переваги та недоліки.

**Ключові слова:** електричний тяговий привід, комерційний електромобіль, приводний міст, тяговий електродвигун.

## Abstract

*The directions of creating traction drives of commercial electric vehicles based on the use of semi-beam electromechanical drive bridges are proposed. The classification of drive axles of semi-gimbal type is given, their advantages and disadvantages are analyzed.*

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

## Вступ

Комерційні електромобілі широко застосовуються у багатьох країнах світу. Особливого поширення набули вантажні електромобілі категорій L7 (споряджена маса не більша 550 кг без маси тягових акумуляторних батарей) та N1 (повна маса електромобілів до 3500 кг) та N2 (повна маса електромобілів понад 3500 кг до 12000 кг).

На даний час у конструкціях електричних тягових приводів (ЕТПр) комерційних електромобілів застосовуються, здебільшого, електромеханічні електричні приводні мости (ПрМ) балкового типу із залежною підвіскою коліс. Хоча, іноді на електромобілях категорій L7 та N1 застосовуються приводні мости типу "Де-Діон" або мости з незалежною підвіскою одинарних коліс. Проте, у їх ходових частинах і трансмісіях можуть використовуватися і ПрМ інших типів із залежною підвіскою коліс.

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

## Результати дослідження

За розміщенням основних складових частин ЕТПр з приводними мостами напівбалкового типу можна об'єднати у дві групи (рисунк 1):

- окремого типу, у яких один або два тягові електродвигуни (ТЕД) кріпляться до рами шасі або тримального кузова електромобіля, а редуктор головної передачі з диференціальним механізмом (ГП+Д) або проміжні редуктори кріпляться до балки моста;
- об'єданого типу, у яких усі складові частини приводу – один або два ТЕД та один або два проміжні редуктори, кріпляться до балки моста.

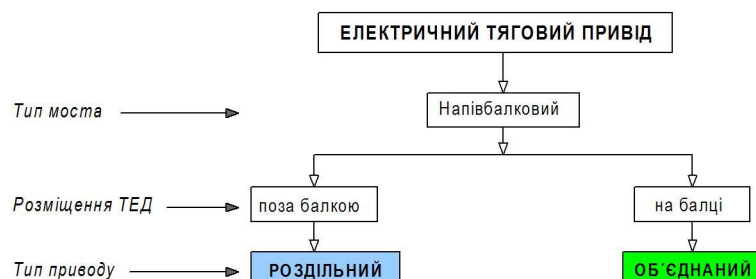


Рис. 1. Класифікація приводних мостів напівбалкового типу

Привідні мости напівбалкового типу мають ряд істотних переваг у порівнянні з мостами балкового і, тим паче, порталного типів. Мости напівбалкового типу значно технологічніші у виробництві, особливо в одиничному або дрібносерійному, оскільки їх балки можуть виготовлятися з готових сталевих профілів круглої, прямокутної або іншої форми. Вони не потребують складного технологічного оснащення і громіздкого і дорогого обладнання – потужних пресів і штампів. Освоєння дрібносерійного виробництва привідних мостів напівбалкового типу цілком реальне на вітчизняних підприємствах і не потребує великих капіталовкладень.

Електричні тягові приводи роздільного типу вирізняються тим, що лише деякі його основні складові частини, до яких відносяться редуктор гіпоїдної головної передачі з диференціальним механізмом (ГПП+Д) або проміжні редуктори, кріпляться до балки моста. А один або два ТЕД кріпляться до рами шасі або тримального кузова електромобіля. Загальна маса такого ЕТПр і його невіднесорені маси суттєво менші по відношенню до мостів балкового і, особливо, порталного типів.

Компонувальна схема ЕТПр роздільного типу з одним ТЕД, однією карданною передачею (КП) і двома колісними карданними передачами (ККП) наведена на рис. 2.

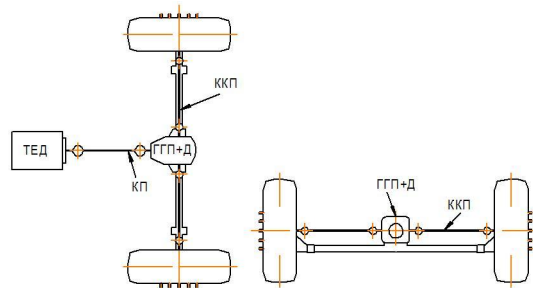


Рис. 2. Компонувальна схема ЕТПр роздільного типу з одним ТЕД

Пропонована компонована схема привідного моста фактично являється суттєво спрощеним варіантом класичного привідного моста балкового типу.

Компонувальні схеми ЕТПр роздільного типу, у конструкціях яких застосовані два ТЕД і два проміжних зубчастих редуктори конічного (КПР), гіпоїдного (ГПР) або циліндричного (ЦПР) типів, показані на рис. 3а і 3б.

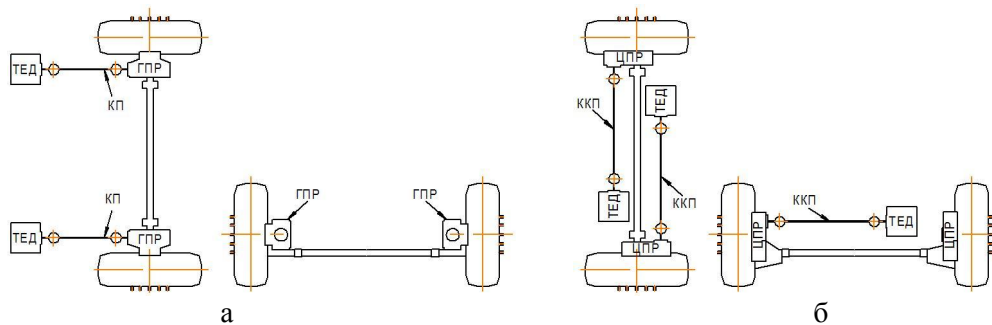


Рис. 3. Компонувальні схеми ЕТПр роздільного типу з двома ТЕД: а – з двома конічними або ГПР; б – з двома ЦПР

Загальна маса та невіднесорені маси таких ЕТПр роздільного типу за умови рівності потужності одного ТЕД та сумарної потужності двох ТЕД близькі або дещо більші за відповідні параметри ЕТПр з одним ТЕД (рис. 2).

Аналогічні ЕТПр роздільного типу у інших варіантах за конструкціями балок мостів привідних мостів можуть застосовуватися у трансмісіях вантажних електромобілів, для яких за експлуатаційними вимогами необхідний великий дорожній просвіт (рис. 4).

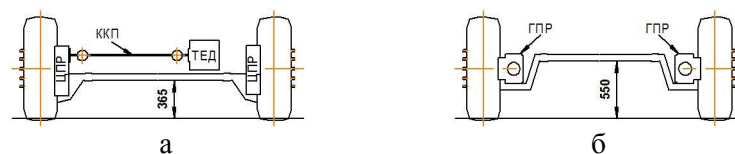


Рис. 4. Компонувальні схеми ЕТПр роздільного типу з двома ТЕД: а – з двома ЦПР; б – з двома КПР або ГПР

Електричні тягові приводи об'єднаного типу вирізняються тим, що усі його основні складові частини кріпляться до балки ПрМ.

Компонувальні схеми ЕТПр об'єднаного типу з одним ТЕД – фактично електромеханічних приводних мостів з карданним шарніром (КШ) або компенсаційною муфтою, колісними карданними передачами (ККП) і редуктором конічної ГП+Д наведені на рис. 5а і на рис. 5б (у варіанті зблокованих ТЕД і редуктора конічної ГП+Д), а аналогічні схеми з редукторами ЦГП+Д наведені, відповідно, на рис. 5в та 5г.

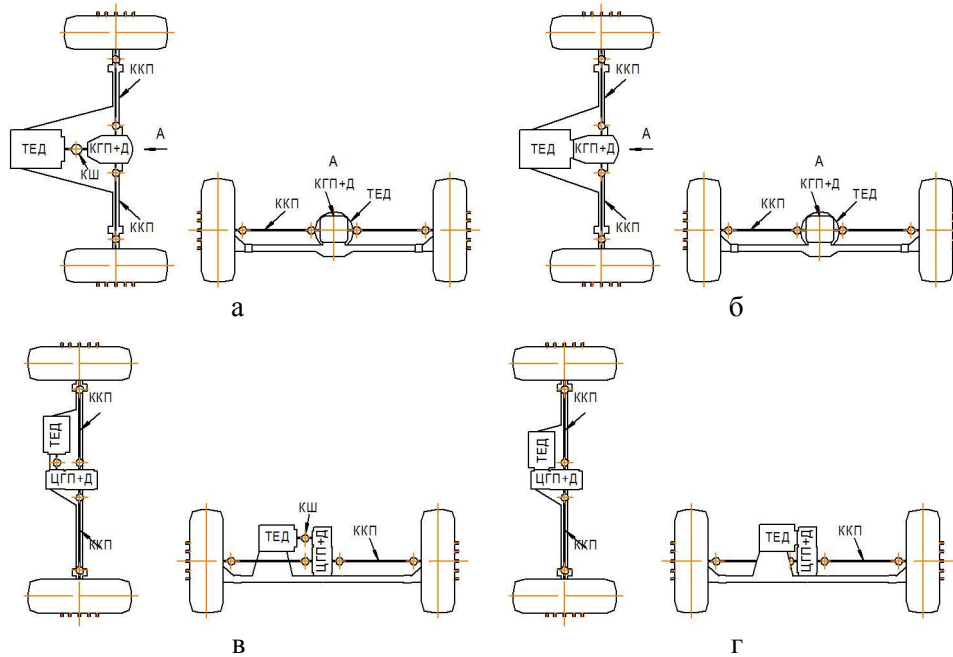


Рис. 5. Компонувальні схеми ЕТПр об'єднаного типу з одним ТЕД: а і б – з КГП+Д; в і г – з ЦГП+Д

Відносним недоліком об'єднаних ЕТПр, тобто, електромеханічних приводних мостів напівбалкового типу, являється більша невідресорена маса у порівнянні з ЕТПр роздільного типу. Проте, їх перевага полягає у меншій масі та менших невідресорених масах у порівнянні з приводними мостами інтегрально-балкового типу та порталними електромеханічними і електричними мостами [1].

Компонувальні схеми об'єднаних ЕТПр з двома ТЕД і двома циліндричними бортовими редукторами (ЦБР), на одну з яких отриманий патент України на корисну модель [2], наведені на рисунку 6.

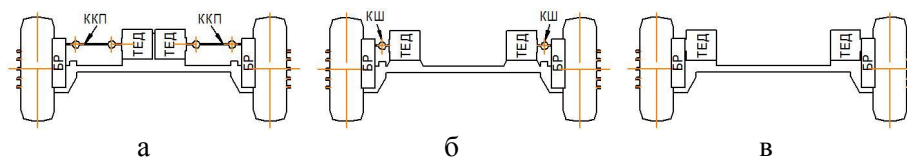


Рисунок 6 – Компонувальні схеми об'єднаних ЕТПр з двома ТЕД і двома ЦБР: а – з ККП; б – з КШ; в – із зблокованими ТЕД та ЦБР

Ще два варіанти електромеханічних мостів напівбалкового типу, але з двома планетарними колісними редукторами (ПКР), показані на рис. 7.

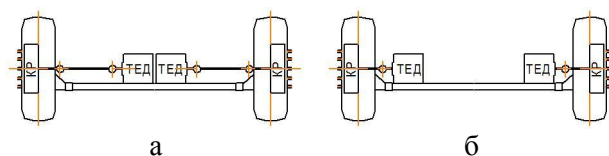


Рис. 7 – Компонувальні схеми об'єднаних ЕТПр з двома ТЕД і двома ПКР: а – з ККП; б – з КШ

Застосування бортових циліндричних редукторів у конструкціях таких приводних мостів забезпечує можливість досягнення дорожніх прояснень необхідної величини (рис. 6).

Ще одна компоновальна схема ЕТПр об'єданого типу з двома ТЕД, наведена на рис. 8, характерна застосуванням зведеного циліндричного проміжного редуктора (ЗЦПР), на конструкції якого отримано ряд патентів України на корисні моделі [3-6].

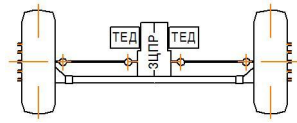


Рис. 8. ЕТПр з ПрМ напівбалкового типу з двома ТЕД та ЗЦПР

Основними перевагами пропонованої компоновальної схеми електромеханічного привідного моста напівбалкового типу являються менша маса та менші невідресорені маси. Ця схема поєднує в собі переваги ЕТПр роздільного та об'єданого типів.

Аналіз компоновальних схем ЕТПр з привідними мостами напівбалкового типу пропонується на основі відносних (експертних) оцінок і відносних коефіцієнтів складності їх конструкцій, компактності, параметрів мас тощо за пропонованими виразами

$$k_{em} = \frac{0,2}{k_c \times k_{nm}}, \quad (1)$$

де  $k_{em}$  – відносний коефіцієнт технічної ефективності електричного тягового приводу з привідним мостом напівбалкового типу;

$k_c$  – відносний коефіцієнт складності конструкції електричного тягового приводу або електромеханічного привідного моста ЕТПр об'єданого типу;

$$k_c = 0,5 \left( k_p + 0,01 \sum_{i=1}^n n_i \right), \quad (2)$$

де  $n_i$  – одна і-а складова частина (балка моста, колеса, ТЕД, КП, КШ, ККП, ГПП+Д ЦПП+Д, КПр, ГПр, ЦПр, БР, КР);

$k_p$  – відносний коефіцієнт трудомісткості виготовлення редукторів головної передачі, проміжних, бортових і колісних редукторів; для проведення розрахунків прийнято: для редукторів з гіпоїдною або циліндричною головною передачею і диференціальним механізмом, відповідно,  $k_p=1,0$  та  $k_p=0,8$ ; для проміжних редукторів з гіпоїдними зубчастими колесами або колісних редукторів з планетарними передачами –  $k_p=0,7$ ; для проміжних та бортових редукторів з циліндричними зубчастими колесами –  $k_p=0,5$ ; для зведеного проміжного редуктора з циліндричними зубчастими колесами –  $k_p=0,4$ ;

$k_{nm}$  – відносний коефіцієнт невідресорених мас електромеханічного привідного моста; для проведення розрахунків прийнято: для електричних тягових приводів роздільного типу  $k_{nm}=0,8$ ; для електричних тягових приводів об'єданого типу  $k_{nm}=1,0$ ;

Результати розрахунків з експертної оцінки технічної ефективності електричних тягових приводів з привідними мостами напівбалкового типу пропонованих компоновальних схем (рис. 2-8), наведені у табл. 1.

Таблиця 1 – Оцінка технічної ефективності привідних мостів напівбалкового типу

Найменування параметра	Відносна оцінка компоновальної схеми/ рис. №														
	2	3а/	3б	4а	4б	5а	5б	5в	5г	6а	6б	6в	7а	7б	8
Кількість складових частин	14	13				11	10	11	10	13	9	7	13	9	12
Коефіцієнт трудомісткості виготовлення редукторів, $k_p$	1,0	0,7	0,5	0,5	0,7	1,0	0,8	1,0	0,8	0,5			0,7		0,4
Коефіцієнт технологічної складності тягового приводу, $k_c$	0,57	0,415	0,31		0,415	0,555	0,45	0,555	0,45	0,315	0,295	0,285	0,415	0,395	0,26
Коефіцієнт невідресореної маси, $k_{nm}$	0,8			1,0											
Коефіцієнт відносної технічної ефективності тягового приводу, $k_{em}$	0,438	0,602	0,806		0,602	0,36	0,444	0,36	0,444	0,634	0,678	0,702	0,482	0,506	0,769

Як видно з результатів розрахунків, запропонована методика оцінки технічної ефективності електричних тягових приводів з мостами напівбалкового типу забезпечує можливість оцінки і обґрунтованого вибору їх компоновальних схем, принаймні, на етапі розроблення ескізних пропозицій.

### Висновки

У результаті аналізу запропонованих компоновальних схем ЕТПр з привідними мостами напівбалкового типу можна зробити наступні висновки:

- ПрМ напівбалкового типу конструктивно і технологічно суттєво простіші за ПрМ балкового та порталного типів з аналогічними параметрами;
- освоєння виробництва ПрМ напівбалкового типу потребує набагато менших фінансових затрат на необхідне технологічне обладнання та відповідне технологічне оснащення;
- ПрМ напівбалкового типу аналогічної допустимої навантаги матимуть меншу масу і менші невіднесені маси відносно мостів балкового та порталного типів.

Найбільш перспективними для застосування у конструкціях міських комерційних електромобілів являються наступні компоновальні схеми електричних тягових приводів:

- схеми ЕТПр роздільного типу, наведені на рис. 3б та рис. 4а, на основі привідних мостів з двома тяговими електричними двигунами і двома бортовими циліндричними редукторами;
- схема ЕТПр об'єднаного типу з двома тяговими електричними двигунами і одним здвоєним циліндричним редуктором (рис. 8).

З урахуванням необхідної точності виготовлення балок мостів та корпусів редукторів перевагу все ж варто віддати компоновальній схемі електричного тягового приводу на основі застосування електромеханічного привідного моста з двома ТЕД та одним здвоєним циліндричним редуктором (рис. 8), оскільки технологічність його виготовлення та складання краща ніж у мостів з вищими коефіцієнтами технічної ефективності (рис. 3б та рис. 4а).

Для застосування у трансмісіях і ходових частинах повнопривідних електромобілів перевагу матимуть тягові ЕТПр, наведені на рисунках 4а і 6б, які забезпечують необхідну величину дорожнього про світу.

### 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. 115817 Україна, МКП В62D 47/02, В60К 17/04. № u 2016 12055; заяв. 28.11.2016; опубл. 25.04.2017, Бюл. № 8. 5 с.
3. Тяговий привід електробуса : пат. 115426 Україна: МПК В62D 47/02, В60К 17/04. № u 2016 12085; заяв. 28.11.2016; опубл. 10.04.2017, Бюл. № 7. 4 с.
4. Редуктор циліндричний одноступеневий здвоєний : пат. 115424 Україна, МКП F16H 1/22. № u 2016 12083; заяв. 28.11.2016; опубл. 10.04.2017, Бюл. № 7. 5 с.
5. Редуктор циліндричний одноступеневий здвоєний : пат. 115425 Україна, МКП F16H 1/22. № u 2016 12084; заяв. 28.11.2016; опубл. 10.04.2017, Бюл. № 7. 5 с.
6. Редуктор двоступеневий циліндричний здвоєний : пат. 119031 Україна, МКП F16H 1/22. № u 2017 02090; заяв. 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