

УДК 621.863.2

DOI: 10.30977/AT.2219-8342.2019.44.0.79

## НАПРЯМИ РОЗВИТКУ КОНСТРУКЦІЙ ЕЛЕКТРИЧНИХ ТЯГОВИХ ПРИВОДІВ КОМЕРЦІЙНИХ ЕЛЕКТРОМОБІЛІВ НА ОСНОВІ ВЕДУЧИХ МОСТІВ БАЛКОВОГО І ПОРТАЛЬНОГО ТИПІВ

Войтків С. В.<sup>1</sup>, Тараненко М. Є.<sup>2</sup>,

<sup>1</sup>Науково-технічний центр «Автополіпром»

<sup>2</sup>Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського  
«Харківський авіаційний інститут»

*Анотація.* Розглянуто конструвальні схеми електричних тягових приводів комерційних електромобілів на основі використання ведучих мостів балкового і порталного типів. Запропоновано їх класифікацію за типом ведучого моста і за розміщенням одного або двох тягових електричних двигунів. Наведено основні технічні параметри ведучих мостів, розглянуто переваги і недоліки електричних тягових приводів.

*Ключові слова:* електричний привід, класифікація, ведучий міст, електродвигун, редуктор.

### Вступ

Протягом 2010–2018 років відбувався активний розвиток комерційних електромобілів – електробусів і тролейбусів, призначених для міських перевезень пасажирів, та вантажних електромобілів, зокрема спеціального і спеціалізованого призначення (наприклад, аеропортних автобусів і сміттєвозів). Багатьма відомими європейськими, американськими та азійськими фірмами створено цілий ряд моделей електробусів та вантажних електромобілів, які уже виготовляються серійно. Особливо значних успіхів у створенні й виробництві електробусів досягли компанії «Proterra, Inc.» (США) та китайські виробники, серед яких виділяються компанії «BYD Motors Inc.» та «Zhongzhi New Energy Vehicle Co., Ltd.». Для застосування у трансмісіях комерційних електромобілів багатьма спеціалізованими фірмами пропонуються електричні тягові приводи (ЕТПр) у різних варіантах, конструкції яких постійно вдосконалюються і розвиваються. Кожного року з'являються нові конструкції електричних ведучих мостів (ВМ) для створення перспективних електробусів, тролейбусів та вантажних електромобілів. Так, у 2015 році фірма «Brist Axle Systems Srl.» (Італія) на Міжнародному автобусному салоні «Busworld Europe» (Kortrijk, Бельгія) презентувала ВМ з незалежною підвіскою одинарних коліс і кутом їх повороту до 30°. А на Міжнародному автосалоні комерційних автомобілів ІАА-2018, який проходив 19–27 вересня 2018 р. у Ганновері (Hannover, Німеччина) кількома американськими та іншими фірмами були показані прототипи електричних ВМ, створених за оригі-

нальними конструвальними схемами.

Слід зауважити, що напрям електробусобудування є чи не єдиним можливим напрямком розвитку повноцінного автобусобудування, тобто виробництва не тільки кузовів автобусів та їх складових частин, але й виробництва комплектувальних виробів трансмісій та ходових частин. Це твердження є справедливим і до вантажного електромобілебудування на основі створення для таких електромобілів кабін каркасно-панельного типу. Каркаси таких кабін виготовляються зі сталевих труб прямокутного або іншого профілю й облицьовуються панелями, виготовленими із композитних матеріалів. Більшість панелей зовнішнього облицьовання приклеюються до каркасу kabіни, інші, за необхідності, прикручуються гвинтовими або болтовими з'єднаннями.

Думається, що створення тягових електричних двигунів (ТЕД), інверторів та інших складових частин систем керування ЕТПр, електричних ведучих мостів тощо ще можливе на вітчизняних машинобудівних підприємствах. Тому розроблення конструкцій та освоєння серійного виробництва ЕТПр є дуже важливим завданням українського машинобудування і повинно стати одним із його пріоритетних напрямів. Більше того, повинна бути розроблена державна програма розвитку вітчизняного комерційного електромобілебудування – тобто електробусів, тролейбусів, генобусів (гібридних автобусів з ЕТПр і дизель-генераторною установкою) та вантажних електромобілів різного призначення. Перш за все повинні бути створені та освоєні у виробництві комерційні транспортні засо-

би, обладнані ЕТПр, які застосовуються для перевезень пасажирів та для доставляння різних вантажів до торговельних закладів у межах міст та інших населених пунктів.

### Огляд конструкцій електричних тягових приводів комерційного автомобільного транспорту на основі мостів балкового і порталного типу

За останнє десятиліття автомобільними та спеціалізованими компаніями багатьох країн Європи, Азії та Америки розроблені конструкції ЕТПр, які виготовляються серійно або презентовані в якості перспективних прототипів, по яких уже здійснюється технологічна підготовка їх серійного виробництва. Вони відрізняються компоувальними схемами за складом, будовою та розміщенням основних складових частин, типами ВМ та ТЕД, їх кількістю та розміщенням тощо. Відповідно технічні параметри та експлуатаційні характеристики ЕТПр різних типів, створених за різними компоувальними схемами, суттєво різняться. Особливо важливе значення під час створення комерційних електромобілів мають розмірні параметри ЕТПр та параметри мас їх складових частин.

Крім того, існують конструкції спеціалізованих електричних ВМ, призначених для застосування лише в електробусах і тролей-

бусах, які здійснюють внутрішньоміські перевезення пасажирів. Характерною особливістю цих пасажирських транспортних засобів є наявність низького рівня підлоги у пасажирському салоні (не більше 360 мм від опорної поверхні).

Електричні ВМ універсального призначення, до яких відносяться ВМ балкового типу, можуть застосовуватися як у трансмісіях електробусів та тролейбусів, спроектованих за новими компоувальними схемами, так і у трансмісіях вантажних електромобілів або електромобілів спеціального чи спеціалізованого призначення.

Сучасні ЕТПр комерційних електромобілів, створених на основі застосування ВМ балкового типу, пропонується об'єднати за типом ВМ і розміщенням ТЕД у наступні п'ять груп (рис. 1):

- ЕТПр з механічним ВМ балкового типу;
- ЕТПр з електричним ВМ інтегрально-балкового типу;
- ЕТПр з електричним ВМ інтегрального типу;
- ЕТПр з електричним ВМ порталного типу;
- ЕТПр з електричним ВМ інтегрально-портального типу.

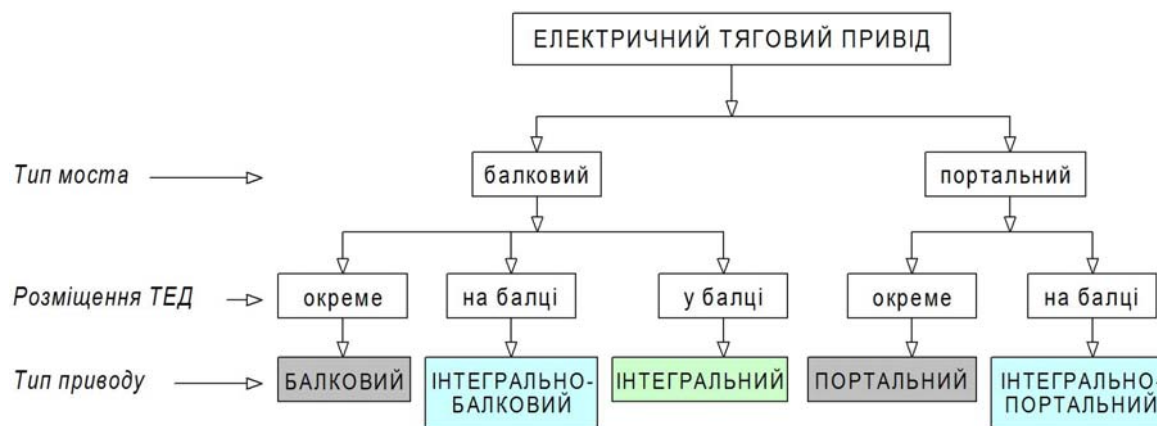


Рис. 1. Класифікація ЕТПр за типом ведучого моста і розміщенням ТЕД

### ЕТПр на основі ведучих мостів балкового типу

Класичний («тролейбусного» типу) ЕТПр, який застосовується на багатьох моделях тролейбусів з високим рівнем підлоги у пасажирському салоні (0,5–0,8 м) та деяких моделях електробусів, наведений на рис. 2. Він складається із ВМ балкового типу, обладнаного здебільшого здвоєними колесами та одним ТЕД, вихідний вал якого з'єднаний із

вхідним валом редуктора головної передачі (ГП) моста карданною передачею (КП) з двома карданними шарнірами. У конструкціях багатьох таких ВМ застосовувались подвійні головні передачі з великим передавальним числом (6,0–12). З появою ТЕД із меншими обертами вихідного вала і достатньо великими величинами крутних моментів ВМ обладнуються одинарними гіпоїдними ГП (рис. 2).

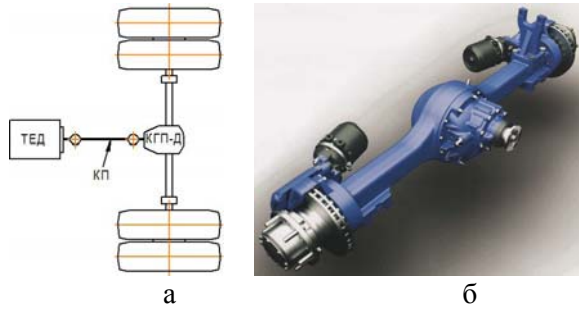


Рис. 2. ЕТПр «тролейбусного» типу з ВМ балкового типу з центральним розміщенням редуктора ГП: а – компоновальна схема; б – механічний ВМ «Brist RDA 65-175/A90, var. 1» з одинарною гіпоїдною ГП [1]

У конструкціях ЕТПр «тролейбусного» типу іноді застосовуються ВМ балкового типу зі зміщеним редуктором ГП (рис. 3).

З метою зменшення довжини заднього звису кузова електробуса застосовуються компоновальні схеми ЕТПр з розміщенням ТЕД під кутом до поздовжньої осі симетрії кузова, причому він може знаходитись або у задньому звисі (рис. 4), або перед ВМ з редуктором ГП, вхідний вал якого розміщений під тим же кутом, що і вихідний вал ТЕД (рис. 5).

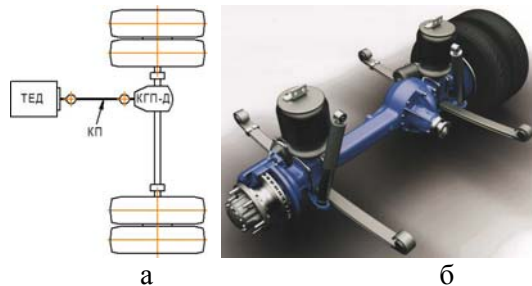


Рис. 3. ЕТПр «тролейбусного» типу з ВМ балкового типу зі зміщеним розміщенням редуктора ГП: а – компоновальна схема; б – механічний ВМ «Brist RDA 65-175/A90, var. 2» з одинарною гіпоїдною ГП [1]

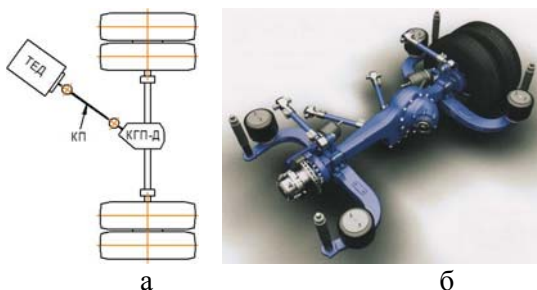


Рис. 4. ЕТПр з ВМ балкового типу з центральним розміщенням редуктора ГП із вхідним валом під кутом до його осі: а – компоновальна схема; б – механічний ВМ моделі «Brist RDA 65-175/A35, var. 1» з одинарною гіпоїдною ГП [1]

Обидві компоновальні схеми є доцільними для застосування під час створення перспективних міських та приміських електробусів малого класу (МКл) за габаритною довжиною, яка складає понад 6,0 м до 8,0 м включно. Вони забезпечують низький рівень підлоги у проходах по пасажирському салону електробусів.

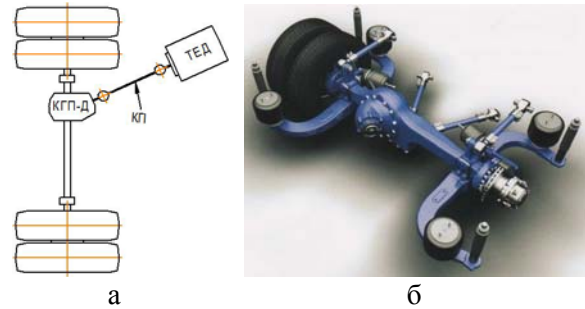


Рис. 5. ЕТПр з ВМ балкового типу з центральним розміщенням редуктора ГП із вхідним валом під кутом до його осі: а – компоновальна схема; б – механічний ВМ моделі «Brist RDA 65-175/A35, var. 2» з одинарною гіпоїдною ГП [1]

У випадку створення максимально-уніфікованих конструкцій автобусів, обладнаних дизельним двигуном, і електробусів МКл пропонується застосовувати компоновальну схему ЕТПр, наведену на рис. 6, яка передбачає використання проміжного кутового редуктора (ПКР) і редуктора ГП, вхідні вали яких розміщені під однаковими кутами.

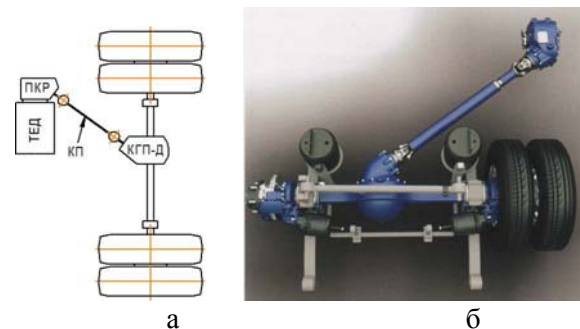


Рис. 6. ЕТПр з ВМ балкового типу зі зміщеним розміщенням редуктора ГП і ПКР: а – компоновальна схема; б – механічний ВМ моделі «Brist RDA 65-175/A90, var. 2» з одинарною ГП та ПКР моделі ADU 35 [1]

З метою зменшення собівартості виготовлення електробусів у їх конструкціях можуть застосовуватися компоновальні схеми ЕТПр на основі ВМ балкового типу з центральним розміщенням редуктора ГП і проміжного ко-

нічного (ПКР) (рис. 7) або циліндричного (ПЦР) редуктора та одного або двох ТЕД.

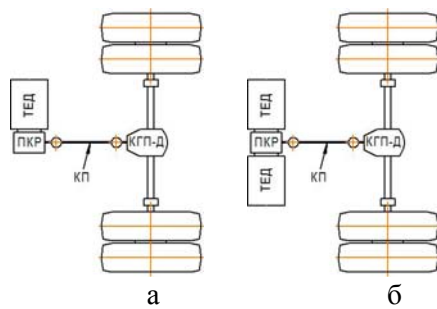


Рис. 7. Компонувальні схеми ЕТПр з ВМ балкового типу з центральним розміщенням редуктора ГП і ПКР: а – з одним ТЕД; б – з двома ТЕД

Варіанти ЕТПр з ПЦР, собівартість виготовлення якого є нижчою, ніж собівартість виготовлення ПКР, та одним ТЕД наведені на рис. 8.

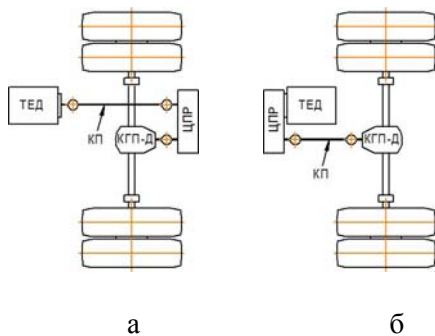


Рис. 8. Компонувальні схеми ЕТПр з ВМ балкового типу з центральним розміщенням редуктора ГП, одним ТЕД і розміщенням ПЦР: а – за ВМ; б – перед ВМ

За компоувальною схемою на рис. 8, а, у якій на місці ТЕД розміщався дизельний дви-

Таблиця 1 – Технічні параметри ведучих мостів балкового типу

Найменування параметра	Модель ведучого моста			
	HY-0925	RDA 65-175/A35	ZF AV 110	ZF A 132
Фірма-виробник	MAN	Brist	ZF	
Допустима навантага, кгс	8700	6500	11500	13000
Передавальне число	4,63; 5,28	4,45	3,8; 5,2	3,54; 5,22
Типорозмір коліс	R17,5»		R19,5»	R22,5»
Маса, кг	398	476	737	689

### ЕТПр на основі ведучих мостів порталного типу

Механічні ВМ порталного типу були створені для застосування у конструкціях міських автобусів з повністю низьким рівнем підлоги у проході по пасажирському салону.

гун з КПШ [1], було створено кілька міських та міжміських автобусів МКЛ моделей БА3-3201 і БА3-3202 «Пролісок» та БА3-3203 «Едельвейс» (габаритні довжини автобусів, відповідно 6,52 м, 6,97 м та 7,29 м). Компонувальна схема ЕТПр за рис. 8,б була застосована під час створення електробуса малого класу моделі «Hino Roncho» довжиною 6,99 м японською фірмою «Jay-Bus Corporation».

У ЕТПр з ПЦР, розміщеним за ВМ, можуть застосовуватися два ТЕД з меншими габаритними розмірами за їх однакової сумарної потужності (рис. 9).

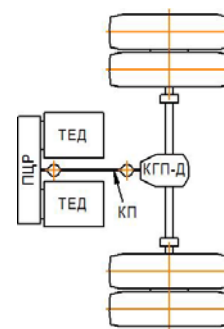


Рис. 9. Компонувальна схема ЕТПр з ВМ балкового типу з центральним розміщенням редуктора ГП з двома ТЕД і з ПЦР, розміщеним перед ВМ

ЕТПр на основі механічних ВМ балкового типу можуть застосовуватися і для створення спеціальних та спеціалізованих вантажних електромобілів різного призначення для обслуговування аеропортів.

Основні технічні параметри типових механічних ВМ балкового типу з колесами різного типорозміру наведені у табл. 1.

Від стандартних ВМ балкового типу вони відрізняються застосуванням подвійних рознесених ГП зі зміщеним редуктором із двома колісними (КР) або бортовими (БР) редукторами, які забезпечують пониження центральної частини балки моста на 160–210 мм у по-

рівнянні з ВМ балкового типу зі зміщеним редуктором ГП та на 310–460 мм у порівнянні із ВМ балкового типу з центральним розміщенням редуктора ГП.

Механічні ВМ порталного типу виготовляють кілька європейських та китайських фірм, серед яких «ZF Friedrichshafen AG» (Німеччина) та «Brist Axle Systems Srl.» (Італія).

Компонувальна схема ЕТПр з механічним ВМ порталного типу та його зовнішній вигляд наведені на рис. 10.

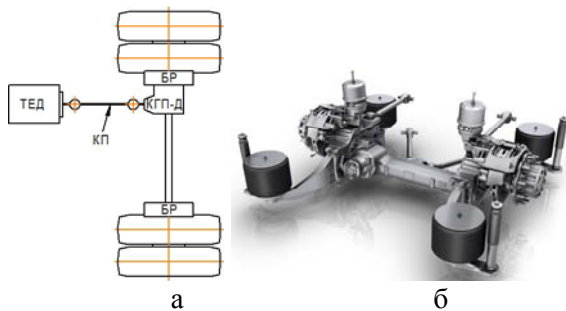


Рис. 10. ЕТПр «тролейбусного» типу з механічним ВМ порталного типу зі зміщеним розміщенням редуктора ГП і двома БР: а – компонувальна схема; б – механічний ВМ моделі «ZF AV 133» з подвійною рознесеною ГП [2]

На Міжнародному автосалоні комерційних автомобілів IAA-2018 фірма «Brist Axle Systems Srl.» презентувала механічні ВМ порталного типу зі здвоєними колесами типорозміру R19,5». Вхідні вали редукторів подвійної рознесеної ГП цих ВМ розміщені під кутом відносно поздовжньої осі симетрії в одному із трьох варіантів – 75°, 80° або 90°.

На базі таких ВМ можливе застосування варіанта компонувальної схеми ЕТПр, наведеної на рис. 11. ТЕД у цьому варіанті встановлений під кутом і ще більше зміщений до лівої боковини.

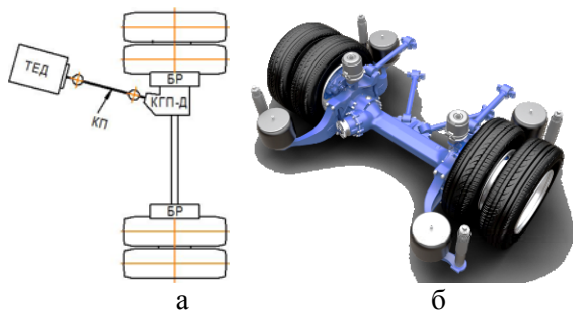


Рис. 11. ЕТПр з механічним ВМ порталного типу із вхідним валом ГП під кутом 75° і двома БР: а – компонувальна схема; б – механічний ВМ моделі «Brist BRA 104-195 DC/A75» [3]

Основні технічні параметри типових механічних ВМ порталного типу, обладнаних здвоєними колесами різного типорозміру, наведені у табл. 2.

Таблиця 2 – Технічні параметри механічних ведучих мостів порталного типу

Найменування параметра	Модель ведучого моста	
	BRA 104-195	ZF AV 133
Фірма-виробник	Brist	ZF
Допустима навантага, кГс	10400	13000
Передавальне число	4,86	5,73; 6,19
Типорозмір коліс	R19,5»	R22,5»
Маса (з підвіскою без коліс), кг	711	767

### ЕТПр на основі ведучих мостів інтегрально-портального типу

Перший інтегрально-портальний ВМ був розроблений німецькою компанією «ZF Friedrichshafen AG» на базі механічного ВМ порталного типу і призначався виключно для застосування у конструкціях міських електробусів, які створювались як модифікації міських автобусів з габаритною довжиною 11,8–12,2 м. ВМ інтегрально-портального типу моделі «ZF AVE 130» обладнаний двома ТЕД, інтегрованими у балку моста, та двома циліндричними КП (рис. 12). Такий ВМ є, фактично, електромеханічним.

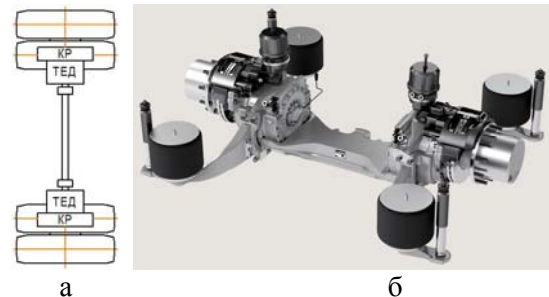


Рис. 12. ЕТПр з електромеханічним ВМ інтегрально-портального типу з двома ТЕД: а – компонувальна схема; б – електромеханічний ВМ моделі «ZF AVE 130» [3]

Інший варіант конструкції електромеханічного ВМ для електробусів запропонували американські компанії «Axletech International, LLC» та «Proterra, Inc.» (рис. 13).

Конструкція цього ВМ є характерною тим, що ТЕД закріплені у середній частині балки і з'єднані з двома бортовими редукторами.

Повністю електричний ВМ інтегрально-портального типу виготовляє німецька фірма

«Ziehl-Abegg Automotive GmbH&Co. KG» (рис. 14). У його конструкції відсутні будь-які проміжні редуктори, тобто він оснащений лише двома вбудованими ТЕД.



Рис. 13. ЕТПр з електромеханічним ВМ інтегрально-портального типу з двома ТЕД: а – компоновальна схема; б – електромеханічний ВМ «AxleTech Proterra-eAxle» [4]

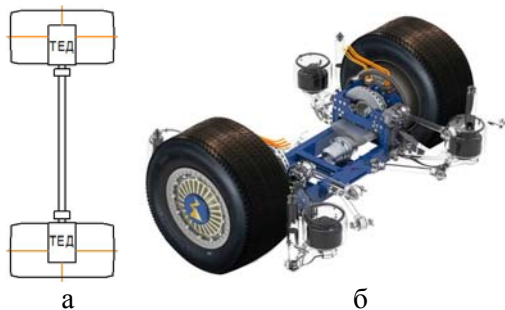


Рис. 14. ЕТПр з електричним ВМ інтегрально-портального типу з двома ТЕД: а – компоновальна схема; б – електричний ВМ моделі «ZAwheel v03» [5]

За кілька років компанія розробила уже друге покоління таких ВМ, які поставляє тепер у двох версіях – з одинарними дуже широкими колесами (рис. 14) та зі здвоєними колесами (рис. 15). ТЕД цих електричних ВМ, обладнані системою рідинного охолодження, характеризуються великим крутним моментом при відносно низьких обертах їх валів.

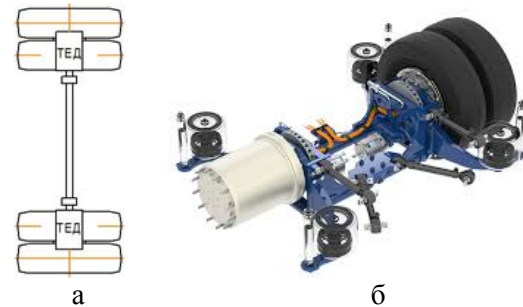


Рис. 15. ЕТПр з електричним ВМ інтегрально-портального типу з двома ТЕД: а – компоновальна схема; б – електричний ВМ моделі «ZAwheel v02» зі здвоєними колесами [5]

Основні технічні параметри типових електромеханічних та електричних ВМ інтегрально-портального типу наведені у табл. 3.

Таблиця 3 – Технічні параметри ведучих мостів інтегрально-портального типу

Найменування параметра	Модель ведучого моста	
	AVE 130	ZAwheel v1.0
Фірма-виробник	ZF	Ziehl-Abegg
Тип приводу моста	електромеханічний	електричний
Допустима навантага, кгс	13000	
Типорозмір коліс	22.5»x8,25»	22.5»x8,25»
Типорозмір шин	275/70R22.5	275/70R22.5
Потужність ТЕД, кВт	2x125	2x120
при об./хв.	10990	500
Передавальне число	22,66	-
Крутний момент, Нм	2x11000	2x3700
Маса (з підвіскою без коліс), кг	1220	646

### ЕТПр на основі ведучих мостів інтегрально-балкового типу

Протягом двох-трьох останніх років кількома фірмами були створені електромеханічні ВМ інтегрально-балкового типу для вантажних електромобілів, конструкції яких характерні інтегрованими в їх балки блоками з одного або двох ТЕД та ГП.

Прототип такого електромеханічного ВМ в одному із варіантів презентувала фірма «AxleTech International, LLC» (США). Компонувальна схема ЕТПр з цим ВМ та його загальний вигляд наведені на рис. 16.

ВМ складається з одного ТЕД канадської фірми ТМ4 моделі «Sumo MD HV2600-6P» з рідинним охолодженням та двоступеневого редуктора циліндричної ГП із циліндричним

диференціальним механізмом. Допустима навантага на міст – 11000 кг, пікова потужність ТЕД – 265 кВт, крутний момент – 2760 Н·м, передавальне число – 5,08 або 7,70.

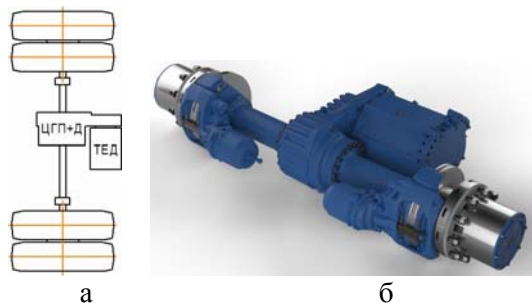


Рис. 16. ЕТПр з електромеханічним ВМ інтегрально-балкового типу з одним ТЕД: а – компоновальна схема; б – електромеханічний ВМ моделі «e4000» [4]

Електромеханічний ВМ того ж типу для перспективних вантажних електромобілів пропонує і американська компанія «Dana Inc.» (рис. 17).

Аналогічна компоновальна схема ЕТПр застосовується кількома фірмами з ВМ інтегрально-балкового типу, обладнаними гіпоїдними ГП. Варіант такого ЕТПр з одним ТЕД пропонує фірма «Dana Inc.» (рис. 18).



Рис. 17. Електромеханічний ВМ інтегрально-балкового типу моделі «eS9000» фірми «Dana Inc.» [6]

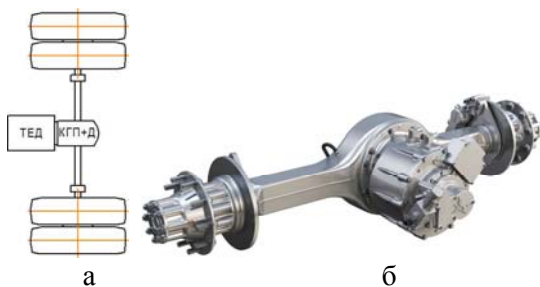


Рис. 18. ЕТПр з електромеханічним ВМ інтегрально-балкового типу з одним ТЕД і гіпоїдною ГП: а – компоновальна схема; б – електромеханічний ВМ фірми «Dana Inc.»

Варіанти розглянутих компоновальних схем ЕТПр з інтегрально-балковими ВМ, обладнаними двома ТЕД, з циліндричною або гіпоїдною ГП наведені на рис. 19.

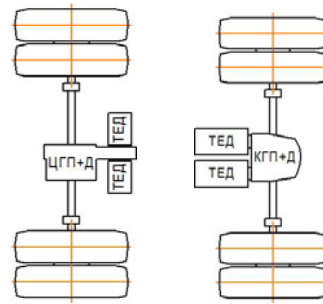


Рис. 19. Компоновальні схеми ЕТПр з електромеханічним ВМ інтегрально-балкового типу з двома ТЕД: а – з циліндричною ГП; б – з гіпоїдною ГП

Компанія «Axletech International, LLC» спільно з американською фірмою «Wright-speed» розробили інтегрально-балковий міст з гіпоїдною ГП, одним ТЕД та коробкою переміни передач (рис. 20).

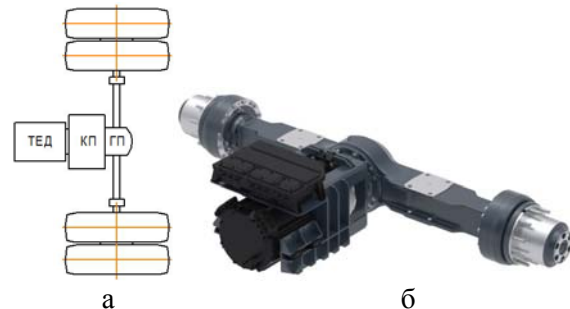


Рис. 20. ЕТПр з електромеханічним ВМ інтегрально-балкового типу з одним ТЕД, з гіпоїдною ГП і коробкою передач: а – компоновальна схема; б – ВМ моделі EPS785 фірми «Axletech International, LLC» [4]

Допустима навантага на ВМ моделі EPS785, призначений для застосування у конструкціях перспективних вантажних електромобілів, складає 38555 кг, пікова потужність ТЕД – 350 кВт, крутний момент – 3500 Н·м.

Ті самі компанії пропонують і перспективний інтегрально-балковий міст моделі «Route 500» з гіпоїдною ГП, двома ТЕД та коробкою переміни передач (рис. 21) з допустимою навантагою 11800 кг. Така компоновальна схема забезпечує створення електромеханічних ВМ великої потужності (сумарна пікова потужність двох ТЕД дорівнює 440 кВт) для застосування у вантажних автомобілях великої вантажопідйомності.

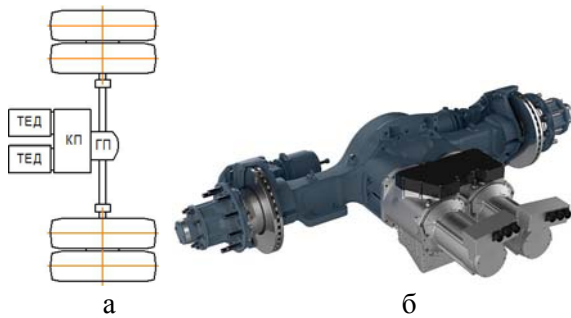


Рис. 21. ЕТПр з електромеханічним ВМ інтегрально-балкового типу з двома ТЕД і гіпoidною ГП: а – компонувальна схема; б – електромеханічний ВМ моделі «Route 500» виробництва фірми «Axletech International, LLC» [4]

### ЕТПр на основі ведучих мостів інтегрального типу

На черговому Міжнародному автосалоні комерційної техніки IAA-2018, який проходив 19–27 вересня 2018 р. у німецькому Ганновері (Hannover), американська компанія «Dana Incorporated» презентувала електричні ВМ інтегрального типу для електробусів та вантажних електромобілів, які плануються до освоєння виробництва на заводі «Dongfeng Dana Axle CO., Ltd», яке розміщене у місті Сяньян (Xianyang), Китай, спільному підприємстві з китайською компанією «Dongfeng Motor CO., Ltd» [11].

Компонувальна схема ЕТПр на основі електричних ВМ інтегрального типу наведена на рис. 22.

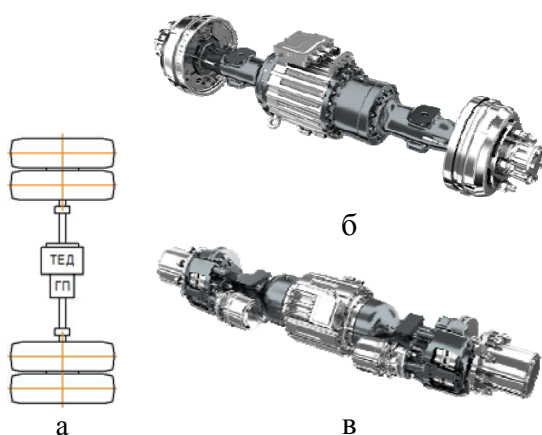


Рис. 22. ЕТПр інтегрального типу: а – компонувальна схема; б – електричний міст моделі «Spicer eS5700r»; в – електричний міст моделі «Dana eS13xr» [6]

Такий ЕТПр фактично є електричним ВМ балкового типу, ТЕД якого інтегрований у балку і зблокований з циліндричною ГП.

Електричний ВМ моделі «Spicer eS5700r» (рис. 22, б) обладнаний ТЕД потужністю 130 кВт (174 к.с.), важить 305 кг без коліс і призначений для вантажних електромобілів і електробусів класу 3 (повна маса 3500–8000 кг).

Для електромобілів і електробусів класів 4–6, повна маса яких складає 9000–40000 кг, призначені електричні ВМ моделі «Spicer eS9000r». Потужність їх ТЕД із системою рідинного охолодження (рідина – нітрогліколь) сягає 237 кВт, крутний момент рівний 300 Н·м і 5700 Н·м на колесах. Маса ВМ, обладнаного дисковими гальмівними механізмами, становить 370 кг.

Аналогічне призначення має і електричний ВМ моделі «Dana eS13xr» (рис. 22, в).

### Аналіз конструкцій тягових електричних приводів з мостами балкового і порталного типу

Огляд існуючих та перспективних конструкцій ЕТПр показує, що, принаймні на цей час, налічується п'ять їх типів за будовою та велика кількість різних варіантів компонувальних схем. Безперечно, кожен тип та компонувальна схема ЕТПр мають як переваги так і недоліки. Відповідно сфери їх застосування повинні визначатися на основі аналізу специфічних конструктивних особливостей транспортних засобів та характерних умов їх експлуатації.

Вибір того чи іншого типу ЕТПр та конкретної компонувальної схеми на етапі розроблення ескізних пропозицій стосовно нових перспективних комерційних автомобільних транспортних засобів повинен базуватися на трьох визначальних параметрах:

- розрахунковій або заданій допустимій навантазі на ВМ;
- габаритних розмірах ЕТПр – довжині та висоті;
- масі ЕТПр та його окремих складових частин, особливо ВМ.

Безумовно, при виборі типу ЕТПр та його складових частин повинні враховуватися і економічні показники – вартість та експлуатаційні витрати.

Для аналізу технічної ефективності ЕТПр на основі ВМ балкового і порталного типів пропонуються наступні показники:

– коефіцієнт відносної матеріалоемності ВМ:

$$k_M = \frac{M_{\text{мб}}}{M_{\text{мі}}}, \quad (1)$$



де  $M_{мб}$  – маса найважчого ВМ, кг;  $M_{Mi}$  – маса порівнюваного ВМ у адекватній композиції, кг;

– коефіцієнт вагової ефективності ВМ за масою і допустимою навантагою:

$$k_G = \frac{M_{Mi}}{g \cdot G_M}, \quad (2)$$

де  $G_M$  – допустима навантага на ВМ, Н;  $g = 9,81 \text{ м/с}^2$ .

Аналіз параметрів мас механічних мостів балкового і порталного типів та електромеханічного і електричного мостів інтегрально-портального типів наведений у табл. 4.

Таблиця 4 – Аналіз параметрів мас та ефективності електричних тягових приводів різних типів

Найменування параметра	Тип і компоновальна схема ЕТПр, рис. №			
	Балковий, 3а	Портальний, 10а	Інтегрально-портальний	
			12а	15а
Модель ведучого моста	ZF A132	ZF AV 133	ZF AVE 130	ZAwheel v1.0
Допустима навантага, кГс	13000			
Висота у середній частині моста, мм	650-720	320-390	250-320	
Маса ведучого моста, кг	998	973	1220	646
Коефіцієнт відносної матеріалоемності моста, $k_M$	0,82	0,80	1,00	0,53
Коефіцієнт ефективності, $k_G$ , кг/кН	7,82	7,63	9,57	5,06

Доцільність застосування кількох ТЕД у конструкції ЕТПр пропонується оцінювати за коефіцієнтом їх вагової потужності:

$$k_N = \frac{m_{ед}}{N_{ед}}, \quad (3)$$

де  $m_{ед}$  – маса одного ТЕД, кг;  $N_{ед}$  – потужність одного ТЕД, кВт.

Вплив проміжного редуктора на коефіцієнт вагової потужності ЕТПр із двома ТЕД можна оцінити за виразом

$$k_{Np} = \frac{n_{ед} \cdot m_{ед} + m_{пр}}{n_{ед} \cdot N_{ед}} = k_N + \frac{m_{пр}}{n_{ед} \cdot N_{ед}}, \quad (4)$$

де  $n_{ед}$  – кількість ТЕД у ЕТПр;  $m_{пр}$  – маса проміжного редуктора, кг.

Оцінка ефективності застосування у ЕТПр двох ТЕД замість одного, без урахування та з урахуванням маси ПР, наведена у табл. 5 за параметрами, наведеними у [7–11].

Таблиця 5 – Аналіз параметрів мас та ефективності застосування двох ТЕД

Найменування параметра	Модель ТЕД, кВт				
	TM-4 Sumo MD	Siemens 1PV5138-4WS20	Brusa HSM1-6.17.12	UQM SPM218-143-3	GKN AF-130
Кількість ТЕД	1	2			
Потужність ТЕД, кВт, пікова/ номінальна	200/ 145	125/ 70	120/ 70	145/ 85	100/ 64
Максимальні оберти вала, хв <sup>-1</sup>	2700	9000	12000	8000	8000
Габаритні розміри ТЕД, мм:					
– довжина (по корпусу)	478	510	250	279	110
– ширина (діаметр)	452	245	308	280	300
Коефіцієнт компактності ТЕД					
– за довжиною	1,00	1,07	0,52	0,58	0,23
– за вистою/ діаметром	1,00	0,54	0,65	0,62	0,66
Маса ТЕД, кг	180	120	51,5	50,0	30,5
Коефіцієнт вагової потужності, $k_N$ , кг/кВт	1,24	1,71	0,73	0,59	0,48
Маса проміжного редуктора, кг	-	38	29	20	15
Коефіцієнт вагової потужності, $k_{Np}$ , кг/кВт	1,24	1,98	0,94	0,71	0,67

Для аналізу ЕТПр з ВМ балкового типу, обладнаними одним або двома ТЕД, пропонується коефіцієнт їх ефективності

$$k_{\text{ЕТПр}} = \frac{\sum_{i=1}^n M_i}{g \cdot G_M \cdot n_{\text{ед}} \cdot N_{\text{ед}}}, \quad (5)$$

де  $\sum_{i=1}^n M_i$  – маса складових частин ЕТПр, кг;

$$\sum_{i=1}^n M_i = M_M + n_{\text{ед}} \cdot m_{\text{ед}} + m_{\text{пр}} + m_{\text{кп}}, \quad (6)$$

де  $m_{\text{кп}}$  – маса карданної передачі, кг.

Застосування двох ТЕД замість одного рівної потужності є доцільним у разі необхідності зменшення заднього звису, КТЗ. Наприклад, схема, наведена на рис. 9 забезпечує його зменшення на величину

$$l_{\text{зз}} = L_{\text{ед}} - L_{\text{пр}}, \quad (7)$$

де  $L_{\text{ед}}$  і  $L_{\text{пр}}$  – довжина і ширина корпусів відповідно ТЕД і проміжного редуктора, мм.

Для ТЕД різних моделей і потужностей  $l_{\text{зз}} \approx 150\text{--}300$  мм.

При виборі компоновальних схем ЕТПр із двома ТЕД слід враховувати, що собівартість виготовлення ПКР є вищою ніж ПЦР у 1,5 рази з косозубими та у 2 рази, з шевронними шестернями.

Оцінка конструкцій ЕТПр повинна здійснюватися також з урахуванням коефіцієнтів невіднесених мас ВМ та невіднесених мас ЕТПр

$$k_{\text{ВМ}}^{\text{н}} = \frac{m_M}{\sum_{i=1}^n M_i}, \quad (8)$$

$$k_{\text{ЕТПр}}^{\text{н}} = \frac{\sum_{i=1}^n M_i}{M_{\text{КТЗ}}}, \quad (9)$$

де  $M_{\text{КТЗ}}$  – повна (допустима) маса колісного транспортного засобу, кг.

Оцінка ефективності ЕТПр з мостами різних типів наведена у табл. 6.

Таблиця 6 – Аналіз ефективності ЕТПр з ВМ різних типів, одним і двома ТЕД

Найменування параметра	Складові частини ЕТПр			
	ZF A132	ZF AV133	ZF AVE 130	ZAwheel v1.0
Допустима навантага на міст, кГс	13000			
Маса ВМ, кг	998	973	1220	646
Модель ТЕД	SUMO MD HV2200-6P	GKN AF-230	-	-
Кількість ТЕД	1	2	2	2
Сумарна номінальна потужність ТЕД, кВт	190	256	250	240
Маса ТЕД, кг	212	115	-	-
Маса проміжного редуктора, кг	-	32	-	-
Маса карданної передачі, кг	25	25		
Сумарна маса ЕТПр, кг	1235	1155	1220	646
Коефіцієнт ефективності ЕТПр, $k_{\text{ЕТПр}}$ , кг/кН·кВт	0,051	0,035	0,038	0,021
Коефіцієнт невіднесених мас ВМ у складі ЕТПр, $k_{\text{ВМ}}^{\text{н}}$	0,81	0,84	1	1
Коефіцієнт невіднесених мас ЕТПр у складі КТЗ із повною масою 18000 кг, $k_{\text{ЕТПр}}^{\text{н}}$	0,055	0,054	0,068	0,036

Що стосується ЕТПр на основі ВМ інтегрально-балкового та інтегрального типів, то наразі недостатньо конкретної інформації для порівняння їх технічних характеристик. Проте можна констатувати, що електричні ВМ цих типів відзначаються компактністю та легкістю застосування.

### Висновки

У результаті огляду та аналізу конструкцій і технічних параметрів ЕТПр на основі застосування ВМ балкового та порталного типів можна зробити ряд наступних висновків:

– протягом кількох останніх років розвиток ЕТПр відбувається у напрямі створення

електромеханічних і електричних ВМ інтегрально-балкового та інтегрального типів;

– з метою зменшення невіднесених мас та габаритних розмірів доцільним видається застосування компоувальних схем ЕТПр із двома ТЕД і ПЦР;

– компоувальні схеми ЕТПр з ВМ балкового типу можуть застосовуватися для створення нових вантажних електромобілів (рис. 2, а) та електробусів з мінімізованим заднім звисом (рис. 4, а, 5, а, 8 і 9);

– компоувальні схеми ЕТПр з механічними ВМ порталного типу (рис. 10, а і 11, а) є неперспективними для створення електробусів і тролейбусів;

– з компоувальних схем ЕТПр з ВМ інтегрально-портального типу суттєво кращі технічні параметри мають електричні ВМ (рис. 14), але й вони так само не перспективні для створення нових тролейбусів і електробусів з умов оптимального планування пасажирського салону (недоліки – вузькі проходи між арками коліс тощо);

– на даному етапі для застосування у конструкціях нових перспективних комерційних вантажних електромобілів більш доцільними є ЕТПр з механічними ВМ балкового типу або електромеханічні ВМ інтегрально-балкового типу;

– для створення перспективних аеропортних електробусів за новими компоувальними схемами з мінімізованим заднім звисом можна рекомендувати ЕТПр з ВМ інтегрально-балкового типу.

Оскільки уже існують або розробляються конструкції ЕТПр на основі застосування ВМ типу «De-Dion» або ВМ на основі незалежних підвісок коліс, огляд і аналіз яких передбачається у наступних статтях, остаточні висновки і рекомендації щодо перспектив розвитку та застосування тих чи інших їх типів можна буде зробити тільки у заключній статті.

### Література

1. Пат. КМ 26119 України. Автобус міський малого класу. Опубл. 10.09.2007.
2. Products for Buses and Coaches. URL: [https://www.zf.com/products/en/buses/products\\_40128.html](https://www.zf.com/products/en/buses/products_40128.html) (дата звернення 06.11.2018).
3. Brist's Product Brochure. URL: <http://bristaxle.com/products/> (дата звернення 05.11.2018).
4. AxleTech Sells Electric Vehicle Systems. URL: <https://www.axletech.com/es/products/electric-solutions>. (дата звернення 29.10.2018).

5. ZAwheel axle drive module. URL: <https://www.ziehl-abegg.com/gb/en/product-range/automotive/axle-drive-module/> (дата звернення 17.07.2018).
6. Dana Electrified Products. URL: <http://www.danaelectrified.com/products> (дата звернення 11.10.2018).
7. Introducing TM4-SUMO. URL: <https://www.tm4.com/products/direct-drive-electric-powertrain/> (дата звернення 08.07.2018).
8. PowerPhase\_145\_DataSheet. URL: [https://www.neweagle.net/support/wiki/Product\\_Documentation/EV\\_Software\\_and\\_Hardware/Traction\\_Inverters/UQM/PowerPhase\\_145\\_DataSheet.pdf](https://www.neweagle.net/support/wiki/Product_Documentation/EV_Software_and_Hardware/Traction_Inverters/UQM/PowerPhase_145_DataSheet.pdf). (дата звернення 30.05.2018).
9. Specifications Siemens 1PV51XX-4WSXX induction motors. URL: <http://www.hec-drives.nl/Specs%20Siemens%201PV51XX.pdf>. (дата звернення 01.08.2018).
10. HSM1-6.17.12. URL: <https://www.brusa.biz/produkte/antrieb/motoren-400-v/hsm1-61712.html> (дата звернення 11.09.2018).
11. AF-140-Tech-Sheet-V13. URL: [http://products.gknlandsystems.info/fileadmin/user\\_upload/pdf/Electrics/DS\\_GKN\\_electric\\_motor\\_technology\\_64\\_GB\\_1214.pdf](http://products.gknlandsystems.info/fileadmin/user_upload/pdf/Electrics/DS_GKN_electric_motor_technology_64_GB_1214.pdf). (дата звернення 11.09.2018).

### References

1. Pat. КМ 26119 Ukrayiny. Avtobus mis'ky'j malogo klasu. [City bus of small class]. Opubl. 10.09.2007.
2. Products for Buses and Coaches. Retrived from: [https://www.zf.com/products/en/buses/products\\_40128.html](https://www.zf.com/products/en/buses/products_40128.html) (accessed 06.11.2018).
3. Brist's Product Brochure. Retrived from: <http://bristaxle.com/products/> (accessed 05.11.2018).
4. AxleTech Sells Electric Vehicle Systems. Retrived from: <https://www.axletech.com/es/products/electric-solutions>. (accessed 9.10.2018).
5. ZAwheel axle drive module. Retrived from: <https://www.ziehl-abegg.com/gb/en/product-range/automotive/axle-drive-module/> (accessed 17.07.2018).
6. Dana Electrified Products. Retrived from: <http://www.danaelectrified.com/products> (accessed 11.10.2018).
7. Introducing TM4-SUMO. URL: <https://www.tm4.com/products/direct-drive-electric-powertrain/> (accessed 08.07.2018).
8. PowerPhase\_145\_DataSheet. Retrived from: [https://www.neweagle.net/support/wiki/Product\\_Documentation/EV\\_Software\\_and\\_Hardware/Traction\\_Inverters/UQM/PowerPhase\\_145\\_DataSheet.pdf](https://www.neweagle.net/support/wiki/Product_Documentation/EV_Software_and_Hardware/Traction_Inverters/UQM/PowerPhase_145_DataSheet.pdf). (accessed 30.05.2018).
9. Specifications Siemens 1PV51XX-4WSXX induction motors. Retrived from: <http://www.hec-drives.nl/Specs%20Siemens%201PV51XX.pdf>. (accessed 01.08.2018).
10. HSM1-6.17.12. Retrived from: <https://www.brusa.biz/produkte/antrieb/motoren-400-v/hsm1-61712.html> (accessed 11.09.2018).
11. AF-140-Tech-Sheet-V13. Retrived from: [http://products.gknlandsystems.info/fileadmin/user\\_](http://products.gknlandsystems.info/fileadmin/user_)

[upload/pdf/Electrics/DS\\_GKN\\_electric\\_motor\\_technology\\_64\\_GB\\_1214.pdf](upload/pdf/Electrics/DS_GKN_electric_motor_technology_64_GB_1214.pdf) (accessed 11.09.2018).

**Войтків Станіслав Володимирович**<sup>1</sup>, к.т.н., генеральний конструктор, Заслужений машинобудівник України, тел. +38 067-447-04-90, +38 099-345-04-51, [voytktivsv@ukr.net](mailto:voytktivsv@ukr.net)

**Тараненко Михайло Євгенович**<sup>2</sup>, д.т.н., професор, завідувач кафедри «Автомобілі та транспортна інфраструктура», тел. +38 096-287-43-08, e-mail: [m.taranenko@khai.edu](mailto:m.taranenko@khai.edu)

<sup>1</sup>Науково-технічний центр «Автополіпром», 79022, Україна, м. Львів, вул. Городоцька, 174.

<sup>2</sup>Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут», 61000, Україна, м. Харків, вул. Чкалова, 17.

### Focus areas for developing the design of electric driveshafts for commercial electric vehicles on the basis of beam and portal axles

**Abstract. Problem.** The development of designs and serial production of UTPR is a very important task of Ukrainian engineering and should be one of its priorities. Moreover, a state program should be created for the development of domestic commercial electric vehicles - that is, electric buses, trolley buses, geno bus (hybrid buses with ETPR and diesel generator set) and freight electric vehicles for various purposes. **Goal.** The choice of areas for developing the production of electric driveshafts of commercial vehicles equipped with electric traction drive for urban and suburban passenger traffic and for the delivery of various goods to commercial establishments in cities and other settlements. **Methodology.** The layout schemes of electric driveshafts of commercial electric vehicles based on the use of beam and portal drive axles are considered. **Results.** A classification of electric driveshafts of commercial electric vehicles according to the type of drive axle and the placement of one or two traction electric motors is proposed. The main technical parameters of drive axles are given, advantages and disadvantages of electric driveshafts are considered. **Originality.** A number of indicators and formulas for their determination have been proposed, providing an analysis of the technical efficiency of the ETP on the basis of beam and portal axles. **Practical value.** As a result of reviewing and analyzing the structures and parameters of UTP, based on the use of portal and beam axles, recommendations on the use of specific types and layout

schemes for creating commercial freight electric vehicles, electric buses and trolley buses have been made.

**Key words:** electric driveshaft, classification, driveshaft axles, electric engine, main gear, gear

**Voytkiv Stanislav**<sup>1</sup>, Cand. of Science, General Designer, The Deserved Machine Engineer of Ukraine, tel. +38 067-447-04-90, +38 099-345-04-51, e-mail: [voytktivsv@ukr.net](mailto:voytktivsv@ukr.net)

**Taranenko Michail**<sup>2</sup>, Doctor of Sciences, professor, Head of the Department of Automobile and Transport Infrastructure, tel. +38 096-287-43-08, e-mail: [m.taranenko@khai.edu](mailto:m.taranenko@khai.edu)

<sup>1</sup>Scientific and Technical Center "Avtopoliprom", 79022, Ukraine, Lviv, Gorodotskaya str., 174.

<sup>2</sup>National Aerospace University them N.E. Zhukovsky "Kharkiv Aviation Institute", 61000, Ukraine, Kharkiv, Chkalova str., 17.

### Направления развития конструкций электрических тяговых приводов коммерческих электромобилей на основе мостов балочного и порталного типов

**Аннотация.** Рассмотрены компоновочные схемы электрических тяговых приводов коммерческих электромобилей на основе использования приводных мостов балочного и порталного типов. Предложена их классификация по типу приводного моста и по размещению одного или двух тяговых электрических двигателей. Приведены основные технические параметры приводных мостов, рассмотрены преимущества и недостатки электрических тяговых приводов.

**Ключевые слова:** электрический привод, классификация, приводной мост, электродвигатель, редуктор.

**Войтків Станіслав Володимирович**<sup>1</sup>, к.т.н., генеральний конструктор, Заслужений машинобудівник України, тел. +38 067-447-04-90, +38 099-345-04-51, e-mail: [voytktivsv@ukr.net](mailto:voytktivsv@ukr.net)

**Тараненко Михайло Євгенович**<sup>2</sup>, д.т.н., професор, завідувач кафедри «Автомобілі та транспортна інфраструктура», тел. +38 096-287-43-08, e-mail: [m.taranenko@khai.edu](mailto:m.taranenko@khai.edu)

<sup>1</sup>Науково-технічний центр «Автополіпром», 79022, Україна, м. Львів, вул. Городоцька, 174.

<sup>2</sup>Національний аерокосмічний університет ім. Н.Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут», 61000, Україна, вул. Чкалова, 17.