

КОНЦЕПЦІЯ ПРОЕКТУВАННЯ ТИПОРозмірного Ряду Перспективних Міських Електробусів

ТзОВ "Науково-технічний центр "Автополіпром"

Анотація

Запропонована концепція проектування типорозмірного ряду максимально уніфікованих перспективних міських низькопідлогових електробусів на основі застосування колісної формули 4x2.1 з незалежною підвіскою одинарних коліс керованого моста та тягового моста типу "De-Dion" та інтегрального блоку у складі тяговий електродвигун та редуктор головної передачі з механічним диференціалом. Проаналізовані конкурентні переваги базових моделей пропонованих електробусів різних типорозмірів у порівнянні з міськими електробусами близьких типорозмірів.

Ключові слова: міський електробус, типорозмірний ряд, колісна формула, уніфікація, незалежна підвіска, тяговий міст, електричний двигун.

Abstract

The concept of designing a standard size range of the most unified promising urban low-floor electric buses based on the use of 4x2.1 wheel formula with independent suspension of single wheels of the steered axle and traction axle type "De-Dion" and integrated unit in the traction with mechanical differential. The competitive advantages of the basic models of the offered electric buses of different standard sizes in comparison with city electric buses of the same standard sizes are analyzed.

Keywords: city electric bus, size range, wheel formula, unification, independent suspension, traction axle, electric motor.

Вступ

Колісні пасажирські транспортні засоби громадського користування з електричним тяговим приводом – міські низькопідлогові електробуси все ширше застосовуються для перевезень пасажирів у багатьох європейських та інших країнах світу, зокрема, у США та Китаї. Проте, у нашій державі наразі проходять підконтрольну експлуатацію лише дві моделі міських електробусів вітчизняного виробництва та кілька моделей електробусів китайських виробників.

Метою роботи являється розроблення та аналіз можливих варіантів концепції проектування типорозмірного ряду міських електробусів середнього і великого класів за довжиною кузова на основі застосування принципів їх максимальної уніфікації.

Результати дослідження

Ефективність експлуатації електробусів при перевезеннях пасажирів на міських маршрутах у значній мірі залежить від наступних двох чинників:

- від інтенсивності та розподілу пасажиропотоків на конкретних міських маршрутах на протязі усього робочого часу доби;
- від номінальної пасажировмістимості тих моделей міських електробусів, які застосовуються для перевезень пасажирів на цьому маршруті, тобто від їх типорозміру.

Типорозмір міських низькопідлогових електробусів за вимогою Правил ЄЕК ООН № 107, визначається за однією з двох ознак – за довжиною кузова або за номінальною пасажировмістимістю [1].

Найбільшого застосування для перевезень пасажирів на міських маршрутах набули електробуси великого класу (довжина їх кузовів становить понад 10,0 м до 12,0 м), довжина кузовів яких близька до 12,0 м. Проте, за необхідності обладнання електробусів автономними джерелами електричної енергії (ДЕЕ) – тягових акумуляторних батарей (АКБ) або суперконденсаторів (СК), маса яких у електробусах типу ОНС сягає 3500 кг, суттєво зменшується номінальна пасажировмістимість – на 25-35 чол., навіть за умови збільшення допустимої повної маси на 1500 кг (до 19500 кг). Електробуси середнього класу з довжиною кузова у межах понад 8,0 м до 10,0 м виготовляються лише деякими компа-

ніями, здебільшого підприємствами Туреччини, Китаю та деяких інших країн. У країнах Європи більшістю автобусних підприємств виготовляються автобуси великого класу, в основному з довжиною кузова біля 12,0 м, що пояснюється наявністю освоєного виробництва кузовів міських автобусів такої довжини, обладнаних дизельними двигунами.

Зрозуміло, що за умови забезпечення економічної ефективності перевезень пасажирів на міських маршрутах з різною інтенсивністю пасажиропотоків, яка залежить, зокрема, від чисельності населення у вітчизняних містах, необхідна наявність та експлуатація електробусів відповідних типорозмірів, тобто з різною номінальною пасажировмістимістю. Адже, чим більший коефіцієнт наповнення їх пасажирських салонів, тим вищий коефіцієнт економічності їх експлуатації та тим більший прибуток і менший термін окупності придбаних електробусів.

Аналіз конструкцій сучасних електробусів показує, що майже усіма відомими європейськими виробниками міських автобусів пропонуються електробуси великого і навіть особливо великого класу (довжина кузова понад 12,0 м до 15,0 м) класу з довжиною кузова $12,0+0,135/-0,265$ м, номінальна пасажировмістимість яких дуже різниться у залежності від типу за автономними ДЕЕ та системою їх заряджання/ підзаряджання, і становить 65-100 чол. Міські електробуси з кузовами менших розмірів, зазвичай у діапазоні $10,5\pm 0,15$ м, виготовляють лише декілька підприємств. Зате виробництвом електробусів середнього класу займається більша кількість фірм, зосереджених у Туреччині та Китаї. Кілька європейських новоутворених підприємств, наприклад, угорська "EvoPro Group", словенська TAM-EUROPE, теж пропонують електробуси середнього класу.

З огляду уніфікованих конструкцій міських електробусів випливає висновок, що лише деякі підприємства пропонують всього дві модифікації електробусів великого класу за довжиною кузова. Вони спроектовані за колісною формулою 4x2.2, тобто обладнані тяговим мостом традиційного порталного балкового або інтегрально-балкового типу зі здвоєними колесами. Наприклад, іспанська компанія "Irizar Group" пропонує дві моделі електробусів з довжинами кузовів 10,855 м та 11,98 м [2], обладнаних двома подвійними пасажирськими дверима, розміщеними у передньому звісі та перед арками коліс тягового моста (рис. 1).

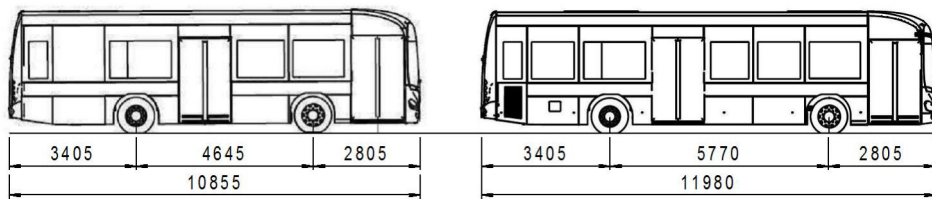


Рис. 1. Типорозмірний ряд міських електробусів великого класу за довжиною кузова виробництва компанії "Irizar Group"

Проте, наведений варіант створення типорозмірного ряду міських електробусів з колісною формулою 4x2.2 та з розміщенням у передньому звісі подвійних пасажирських дверей має ряд суттєвих недоліків, серед яких:

- дуже коротка колісна база у моделі меншого типорозміру – усього 42,79 % від довжини кузова (у моделі більшого типорозміру – 48,16 %) при оптимальній величині ≥ 50 %;
- менша ділянка площі пасажирського салону у моделі меншого типорозміру, вільна від вузьких проходів між арками коліс керованого та тягового мостів – на 16,6 %;
- нижча плавність руху електробуса меншого типорозміру та погіршена комфортабельність перевезень пасажирів.

Інший типорозмірний ряд міських електробусів, теж з двох базових моделей, пропонує італійська компанія IVECO Bus [3, 4] (рис. 2).

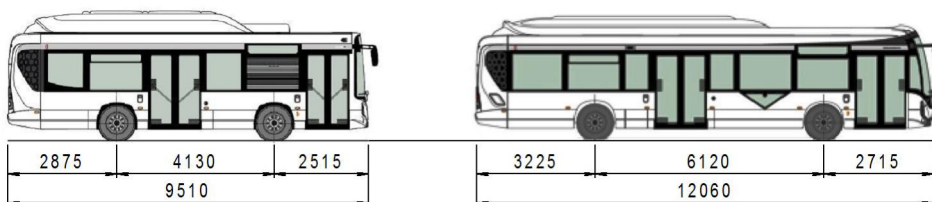


Рис. 2. Типорозмірний ряд міських електробусів середнього і особливо великого класу за довжиною кузова виробництва італійської компанії IVECO Bus

Проте, на відміну від моделей міських електробусів, наведених на рис. 1, моделі цього типорозмірного ряду уніфіковані дуже мало навіть по боковинах кузовів, бо їх ширина суттєво різна – 2,33 м і 2,55 м. Різна і агрегатна база, принаймні різні керовані та тягові мости, колія коліс яких становить: передніх – 1,95 м та 2,087 м, задніх – 1,796 м та 1,869 м. Більше того, тяговий міст електробуса меншого типорозміру обладнаний одинарними колесами.

Окрім того, колісна формула 4x2.2 не забезпечує можливості створення типорозмірного ряду максимально-уніфікованих міських електробусів бодай з трьох базових моделей за довжиною кузова навіть великого класу. Саме тому, кілька новостворених або мало відомих у сфері автобусобудування підприємств спроектували типорозмірні ряди електробусів, які охоплюють середній і великий класи, але без наявності моделей з довжиною кузова біля 12,0 м, або малий і середній класи. Наприклад, уже згадувана угорська компанія "EvoPro Group" пропонує міські модульно-уніфіковані електробуси з колісною формулою 4x2.2 і тяговим мостом балкового типу, типорозмірний ряд яких налічує три модифікації [5], дві з яких малого класу – понад 6,0 м до 8,0 м, третя – середнього класу (рис. 3).

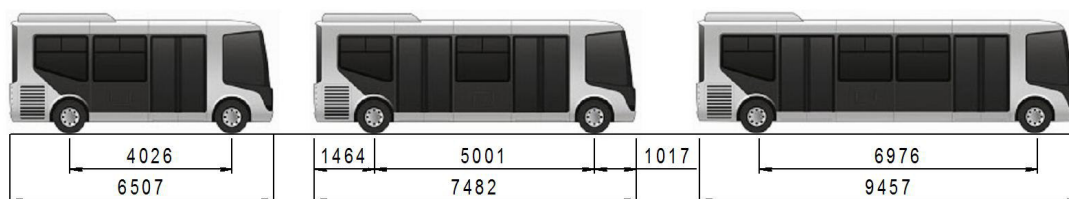


Рис. 3. Типорозмірний ряд міських електробусів малого і середнього класів за довжиною кузова виробництва угорської компанії "EvoPro Group"

Проте, і цей варіант створення типорозмірного ряду міських електробусів з колісною формулою має ряд суттєвих недоліків, зокрема:

- у трансмісії та ходовій частині електробусів застосовані керований і тяговий мости, обладнані колесами з шинами типорозміру R19,5 з допустимою навантагою, відповідно, 5,5 кН та 6,5 кН, які забезпечують допустиму повну масу усього 12000 кг;
- номінальна пасажиромістимість електробуса найбільшого типорозміру становить лише 85 чол., якої не достатньо для експлуатації на маршрутах з великою інтенсивністю пасажиропотоків;
- така пасажиромістимість досягнута при допустимій повній масі 12000 кг за рахунок виготовлення кузовів електробусів з композиційних матеріалів, що значно збільшує і без того велику їх ринкову вартість.

Отже, жоден із розглянутих варіантів являється далеким від оптимального з огляду на недостатню кількість типорозмірів або невідповідну номінальну пасажиромістимість для застосування на міських маршрутах різної інтенсивності. Тому, іноземними фахівцями пропонується створення типорозмірних рядів міських електробусів великого та особливо великого класів. Наприклад, у роботі [6] розглянутий типорозмірний ряд електробусів з трьох типорозмірів з довжинами кузовів 12,0 м (одинарний); 18,0 м (дволанковий) та 24,0 м (три ланковий). А турецька компанія "Karsan Otomotiv Sanayii ve Ticaret A.Ş." теж нещодавно презентувала модельний ряд нових міських низькопідлогових електробусів, який складається з трьох типорозмірів за довжиною кузова – 10,75 м і 12,22 м (одинарні) та 18,3 м (дволанковий) [7].

Отже, типорозмірний ряд перспективних міських електробусів повинен відповідати наступним основним вимогам:

- діапазон номінальної пасажиромістимості базових моделей середнього та великого класів за довжиною кузова повинен становити 50-100 чол.;
- конструкція кузовів та планування пасажирських салонів електробусів повинні забезпечувати можливість створення модифікацій базової моделі будь-якого типорозміру з різною номінальною пасажиромістимістю для експлуатації на внутрішньо міських, міських або приміських маршрутах [8];
- коефіцієнти уніфікації електробусів у межах типорозмірного ряду повинні бути якомога більшими і сягати діапазону, принаймні, 80-85 %.

Для забезпечення наведених вимог пропонується концепція проектування перспективних і конкурентоспроможних міських низькопідлогових електробусів на основі:

- застосування колісної формули 4x2.1, тобто керованого та тягового мостів, обладнаних одинарними колесами;

- застосування незалежної пневматичної підвіски коліс керованого та тягового або тягово-керованого мостів;
- застосування дисків коліс однакового типорозміру за посадковим діаметром різної ширини;
- обладнання коліс керованого та тягового мостів шинами різних типорозмірів за шириною з різними допустимими навантагами;
- формування кузовів електробусів різних типорозмірів з трьох конструктивно-геометричних модулів – переднього, з керованим мостом та відокремленим відділенням водія і подвійними одностулковими пасажирськими дверима, середнього, змінної довжини, симетрично обладнаного у лівій і правій боковинах лине вікнами, та заднього, з подвійними одинарними пасажирськими дверима, тяговим мостом, автономними ДЕЕ, комплектувальними виробами системи керування тяговим електричним приводом тощо;
- формування однакових, максимально-уніфікованих, за винятком коліс, переднього та заднього конструктивно-геометричних модулів кузовів;
- обмеження допустимої повної маси електробусів будь-яких типорозмірів величиною 18000 кг, аналогічною допустимій повній масі двомостових автобусів та вантажних автомобілів;
- формування повністю низькопідлогового пасажирського салону електробусів без наявності колісних арок у проході по салону;
- розміщення тягових АКБ або інших ДЕЕ виключно у задньому кузовному конструктивно-геометричному модулі;
- обмеження маси блоків тягових АКБ або інших ДЕЕ (СК та паливних елементів – ПЕ) – не більше 1500 кг;
- застосування у тяговому приводі інтегрального блоку у складі: тяговий електричний двигун мінімізованих габаритних розмірів і маси та редуктор одноступеневої або двоступеневої рознесеної головної передачі з механічним диференціалом;
- застосування системи заміни блоків тягових АКБ у електробусах типу ОНС (повільне зарядження тягових АКБ у нічний час доби);
- забезпечення створення максимально-уніфікованих модифікацій електробусів іншого функціонального призначення, зокрема, аеропортних.

Для реалізації запропонованої концепції проектування типорозмірного ряду максимально-уніфікованих перспективних міських електробусів пропонується застосування агрегатів трансмісії та ходової частини виробництва італійсько-турецької компанії "BRIST Axle Systems S.r.l." [8]:

- передній керований міст з незалежною підвіскою коліс моделі IFS TJ 58-225 (рис. 4а);
- передній керований міст з незалежною підвіскою коліс моделі IFS TJ 81-225 (рис. 4а);
- передній керований міст з незалежною підвіскою коліс моделі IFS TJC 80-225 (рис. 4б);
- задній тягово-керований міст з незалежною підвіскою одинарних коліс з одинарною головною передачею моделі IFS TJC 80-225 (рис. 4в);
- задній тягово-керований міст з незалежною підвіскою одинарних коліс з подвійною головною передачею (з центральним одноступеневим редуктором головної передачі та одноступеневими бортовими редукторами) моделі IFS TJC 80-225 HR (рис. 4г).

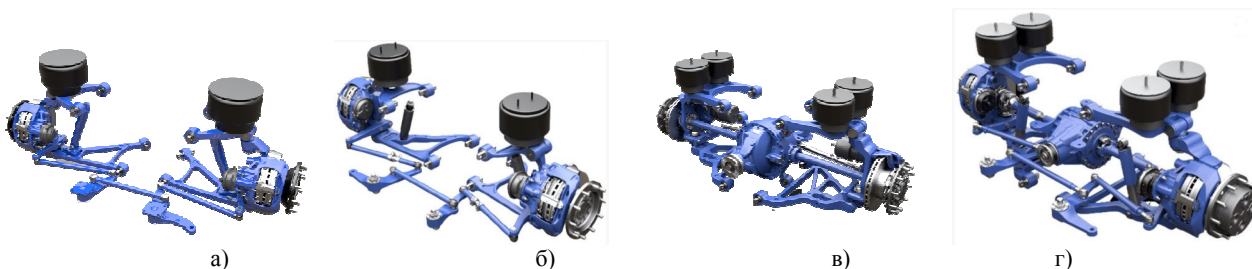


Рис. 4. Керований та тяговий мости з незалежною підвіскою коліс компанії "BRIST Axle Systems S.r.l.":
а, б – керовані, відповідно, IFS TJ 58-225, IFS TJC 80-225; в, г – тягові, відповідно, IDS TJ 105-225, IDS TJ 105-225 HR

Основні технічні параметри керованого і тягового мостів з незалежною підвіскою коліс наведені у табл. 1.

Допустима повна маса перспективних міських електробусів при застосуванні керованих мостів моделей IFS TJ 81-225 або IFS TJC 80-225 та тягового моста будь-якої моделі сягає 18500-18600 кг, тобто одна з вимог запропонованої концепції повністю задовольняється. Проте, при застосуванні для

проекування електробусів малого і середнього класів керованого моста моделі IFS TJ 58-225 допус-
тима повна маса становитиме 16300 кг.

Таблиця 1 – Основні технічні параметри керованого і тягового мостів компанії "BRIST Axle
Systems S.r.l."

Модель моста	Максимальна навантага, кН (кГс)	Типорозмір коліс		Кут повороту коліс, град.	Хід коліс, мм	Передавальне число головної передачі	Маса моста
		дисків	шин				
IFS TJ 58-225	56,9 (5800)	7.5x22,5	275/70 R22.5	55/ 45	±90	-	469
IFS TJ 81-225	79,4 (8100)	9.0x22,5	315/70 R22.5				478
IFS TJ 80-225	72,5 (8000)						460
IDS TJ 105-225	103 (10500)	11.25x22,5	385/55 R22.5	35		5,29	574
IDS TJ 105-225 HR				8,92 або 6,0		650	

Крім того, комплектація керованого та тягових мостів може здійснюватися колісними дисками рі-
зних типорозмірів, обладнаними шинами різних типорозмірів з відповідними розмірними параметра-
ми та параметрами мас (табл. 2).

Таблиця 2 – Основні технічні параметри дисків коліс та безкамерних шин для керованого і тяго-
вого мостів міських електробусів

Тип/ Модель моста	Максимальна навантага, кН (кГс)	Колісний диск		Безкамерна шина			Маса, кг	
		Типорозмір	Допустима навантага на диск, кГс	Типорозмір	Допустима навантага на шину, кГс	Діаметр шин, мм	диска	шини
IDS TJ 105-225 IDS TJ 105-225 HR	8.25x22,5	3350-3750	275/70 R22,5	3150	957	37,0-42,0	50,6	
			275/80 R22,5	3250	1012		51,6	
			285/80 R22,5	3500	1028		58,4	
			295/80 R22,5	3750	1044		63,2	
	9.00x22,5	4000-4500	295/80 R22,5	3750	950	38,5-43,0	63,5	
			315/60 R22,5		1013		64,5	
			315/70 R22,5	4000	1044		67,8	
			385/55 R22,5	995	43,5-47,0		74,4	
	385/60 R22,5	4500	1034	75,4				
	385/65 R22,5	5000	1072	76,6				

Застосування коліс різних типорозмірів на одних і тих же моделях керованого та тягового мостів
сприятиме оптимізації параметрів спорядженої маси електробусів різних типорозмірів та їх номіна-
льної пасажировмістимості. Адже такий підхід забезпечує додаткове зменшення спорядженої маси
електробусів відповідних типорозмірів на 65-80 кг і зменшення вартості комплектів коліс.

Зменшення допустимої повної маси електробусів до 18000 кг та застосування тягових мостів типу
"De-Dion" з незалежною підвіскою одинарних коліс забезпечить зменшення руйнівної дії на покриття
міських вулиць.

Один з можливих варіантів типорозмірного ряду максимально-уніфікованих міських низькопідло-
гових електробусів, спроектований за пропонованою концепцією, наведений на рис. 5.

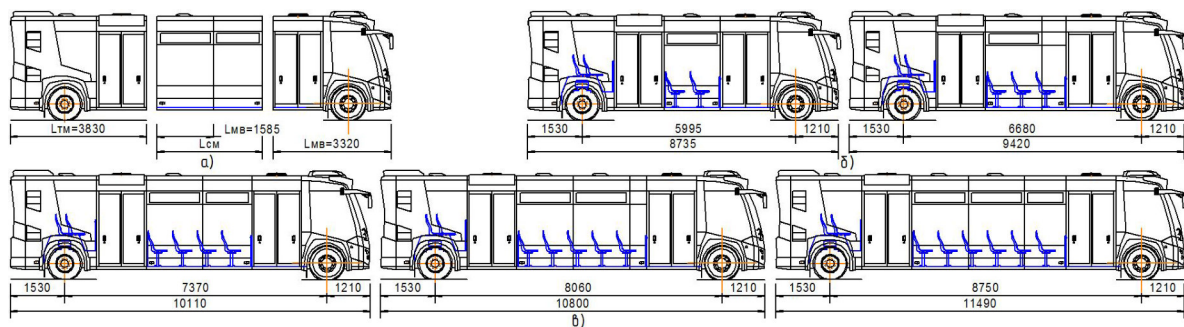


Рис. 5. Типорозмірний ряд перспективних максимально-уніфікованих міських електробусів:
а – схема конструктивно-геометричних модулів; б – електробуси середнього класу; в – електробуси великого класу

Кузови усіх типорозмірів електробусів складаються з двох практично повністю уніфікованих конструктивно-геометричних модулів відділення водія (Лмв) та тягового модуля (Лтм) і уніфікованих модулів середньої частини кузовів (Лсм), коефіцієнт уніфікації яких різний для різних типорозмірів електробусів.

Пропонований типорозмірний ряд перспективних міських електробусів складається з п'яти базових моделей середнього класу з довжиною кузовів 8,735 м і 9,42 м та великого класу – 10,11 м, 10,8 м і 11,49 м. Максимальна пасажиромістимість електробусів за площею пасажирського салону у варіанті його планування для експлуатації на маршрутах з великою інтенсивністю пасажиропотоків (типізація – внутрішньоміські перевезення) становить 74 чол., 83 чол., 94 чол., 104 чол. та 116 чол.

Висновки

Пропонована концепція проектування типорозмірного ряду перспективних міських електробусів забезпечує:

- створення максимально-уніфікованих типорозмірів електробусів малого, середнього і великого класів за довжиною кузовів;
- створення конкурентоспроможних міських повністю низькопідлогових електробусів не тільки на внутрішньому, а й на зовнішніх ринках багатьох інших країн за рахунок кількох явних конкурентних переваг;
- оптимізацію типорозмірів електробусів за параметрами довжини кузовів та номінальної вмістимості;
- створення максимально-уніфікованих модифікацій базових моделей одного і того ж типорозміру з різною номінальною пасажиромістимістю для оптимальної експлуатації на маршрутах з різною інтенсивністю пасажиропотоків;
- створення максимально-уніфікованих модифікацій базових моделей електробусів різних типорозмірів іншого функціонального призначення, наприклад, аеропортних.

Застосування міських електробусів різних типорозмірів за номінальною пасажиромістимістю сприятиме значному підвищенню економічної ефективності їх експлуатації на маршрутах з різною ефективністю пасажиропотоків.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Войтків С. В. Класифікація пасажирських транспортних засобів І-го класу за пасажиромістимістю. *"Новітні технології в автомобілебудуванні, транспорті та при підготовці фахівців"*. Наукові праці Міжнародної науково-практичної конференції, присвяченої 90-річчю кафедри автомобілів ім. А. Б. Гредескула Харківського національного автомобільно-дорожнього університету, 27-29 жовтня 2021 р. Харків : ХНАДУ, 2021. С.26-29.
2. Turnkey integral mobility solutions. URL: https://www.irizar.com/wp-content/uploads/2017/11/Irizar-emobility_eng.pdf (дата звернення: 01.02.2022).
3. E-WAY FULL ELECTRIC – 9.5 m. URL: https://www.iveco.com/ivecobus/en-us/collections/technical_sheets/Documents/E-WAY/E-way_9.5m.pdf (дата звернення: 02.02.2022).
4. E-WAY FULL ELECTRIC – 12 m. URL: https://www.iveco.com/ivecobus/en-us/collections/technical_sheets/Documents/E-WAY/E-way_12m.pdf (дата звернення: 03.02.2022).
5. Ultra-lightweight Electric City Bus. URL: http://www.evopro.hu/hu/termekek/kompozit-jarmuvek/hajtas-es-elektronika-fejlesztes/Modulo_final_EN_web.pdf (дата звернення: 04.02.2022).
6. Göhlich D., Fay T.-A., Jefferies D., Lauth E., Kunitz A. & Zhang X. (2018). Design of urban electric bus systems. *Design Science*, 4, E15. P. 1-28. URL: <https://doi.org/10.1017/dsj.2018.10>.
7. Karsan e-ATA. URL: <https://www.karsan.com/fit/e-ata-12-specifications> (дата звернення: 04.02.2022).
8. Axles & Transmission for the Future of Bus & Truck. Overview to Product Portfolio. URL: <https://bristaxle.com/products/> (дата звернення: 04.02.2022).
9. Войтків С. В. Типізація пасажирських колісних транспортних засобів за параметрами вмістимості/ *"Новітні технології в автомобілебудуванні, транспорті та при підготовці фахівців"*. Наукові праці Міжнародної науково-практичної конференції, присвяченої 90-річчю кафедри автомобілів ім. А. Б. Гредескула Харківського національного автомобільно-дорожнього університету, 27-29 жовтня 2021 р. Харків : ХНАДУ, 2021. С.29-32.

Войтків Станіслав Володимирович – канд. техн. наук, Заслужений машинобудівник України, генеральний конструктор, ТзОВ "Науково-технічний центр "Автополіпром", м. Львів, e-mail: voytkivsv@ukr.net.

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