

# ВИБІР ТИПОРОЗМІРІВ ШИН КОЛІС ПЕРСПЕКТИВНИХ МІСЬКИХ ЕЛЕКТРОБУСІВ З УМОВИ РУЙНІВНОГО ВПЛИВУ НА ПОКРИТТЯ ВУЛИЦЬ

ТзОВ "Науково-технічний центр "Автополіпром"

## **Анотація**

*Наведені принципи вибору шин коліс керованого і тягового мостів перспективних конкурентоспроможних міських електробусів з умови впливу їх коліс на руйнування дорожнього покриття міських вулиць. Проаналізовані питомі навантаги на покриття міських вулиць від коліс міських електробусів з різними колісними формулами у залежності від допустимої повної маси 18000 кг та 19500 кг.*

**Ключові слова:** міський електробус, типорозміри шин коліс, керований міст, тяговий міст, колісна формула, допустима навантага, допустима повна маса.

## **Abstract**

*The principles of tire selection for steering wheels and traction axles of promising competitive city electric buses are presented in terms of the impact of their wheels on the destruction of the road surface of city streets. The analyzed specific loads for covering city streets from the wheels of city electric buses with different wheel formulas depending on the permissible total weight of 18,000 kg and 19,500 kg.*

**Keywords:** city electric bus, standard tire sizes, steered axle, traction axle, wheel formula, permissible load, permissible gross weight.

## **Вступ**

Міські електробуси вже широко застосовуються для міських перевезень пасажирів у багатьох містах європейських та інших країн. Особливо великого поширення такі пасажирські транспортні засоби набули у китайських системах міського транспорту загального користування. На нинішній час створені та активно експлуатуються різні типи міських електробусів малого, середнього, великого та особливо великого класів за довжиною їх кузовів. Окрім того, вони спроектовані на основі застосування різних колісних формул, здебільшого 4x2.2, яка, наразі, найбільш поширена, та 4x2.1, за якою уже спроектовано декілька моделей електробусів різними компаніями. Ведуться також роботи по застосування багатомостових колісних формул 6x4.1 та 8x4.1. Збільшення допустимої повної маси електробусів з 18000 кг до 19500 кг та допустимої навантаги на тягові мости до 132,4 кН або 13500 кгс призвело до суттєвого зростання і питомих навантаж на покриття міських вулиць, особливо з урахуванням непідресорених мас тягових мостів порталного типу.

Тому, вибір колісних формул, типу керованих і тягових мостів та їх коліс для проектування перспективних конкурентоспроможних міських електробусів повинен базуватися на аналізі впливу їх коліс з умови руйнівної дії на покриття міських вулиць.

## **Результати дослідження**

Більшість моделей сучасних міських електробусів спроектована за колісною формулою 4x2.2, а їх тягові мости балкового або порталного типів обладнані здвоєними колесами типорозміру R22.5". Хоча зустрічаються і моделі, мости яких обладнані або одинарними колесами такого ж типорозміру, або здвоєними колесами типорозміру 19.5". Колеса ще меншого типорозміру – 17.5", наразі, застосовані лише на концептуальних моделях міських електробусів, створених на основі колісної формули 8x4.1. Зрозуміло, що степінь впливу коліс керованих і тягових мостів електробусів на руйнування покриття міських вулиць різний у залежності від:

- повної допустимої або конструктивної маси електробусів;
- допустимих навантаж на керований і тяговий мости, і, відповідно, на їх колеса;
- прийнятої колісної формули;
- типорозмірів застосованих коліс за посадковим діаметром дисків;

- типорозмірів шин коліс за шириною протектора;
- допустимих навантаж на шини одинарних та здвоєних коліс.

Допустимі повні маси дво- та багатомостових електробусів і допустимі навантаги на їх тягові мости, відповідно до вимог Директиви 96/53 від 25.07.1996 р. [1], наведені у табл. 1.

Таблиця 1 – Допустимі повні маси міських електробусів і допустимі навантаги на їх тягові мости

Склад транспортного засобу	Кількість мостів	Допустима	
		повна маса, кг	навантага на міст, кН (кГс)
Автобус та електробус одинарний	2	18000 (автобуси) 19500 (електробуси)	керований – 98,1 (10000) * <sup>3</sup> тяговий – 112,8 (11500) тяговий* <sup>2</sup> – 132,4 (13500)
	3	25,0 (26,0* <sup>1</sup> )	здвоєні мости – 157,0 (16000)* <sup>4</sup> здвоєні мости – 176,6 (18000)* <sup>5</sup>
		26,0 (27,0* <sup>1</sup> )* <sup>2</sup>	
4	32,0* <sup>1</sup>		
Автобус та електробус дволанковий зчленований	3	28,0 (29,0* <sup>2</sup> )	

Примітки: \*<sup>1</sup> Якщо тяговий міст обладнаний здвоєними колесами і пневматичною або якщо кожний тяговий міст обладнаний здвоєними колесами і максимальна навантага на кожний міст не перевищує 9500 кГс.  
\*<sup>2</sup> Для електробусів та гібридних автобусів.  
\*<sup>3</sup> Для тягових мостів з одинарними колесами.  
\*<sup>4</sup> При колісній базі здвоєних мостів понад 1,0 м до 1,3 м.  
\*<sup>5</sup> При колісній базі здвоєних мостів понад 1,3 м до 1,8 м.

Найбільш важливим показником транспортно-експлуатаційного стану асфальтобетонного покриття міської вулиці є міцність дорожнього покриття, яка характеризується модулем тривалої пружності  $E_y$  [2]

$$E_y = \frac{p_d \cdot D_s}{l_y}, \quad (1)$$

де  $p_d$  – тиск на покриття вулиць від одинарного або здвоєного колеса електробуса, МПа;  $D_s$  – діаметр площі кола, рівновеликого площі контурного контакту шини колеса з дорогою, м (рис. 1);  $l_y$  – пружна деформація (прогин) дорожнього покриття, м.

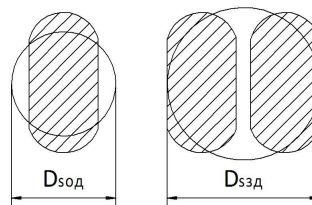


Рис. 1. Площі контактів шин одинарних та здвоєних коліс електробусів з покриттям міських вулиць

У ходових частинах міських електробусів застосовуються колеса двох типів – одинарні (на керованих або тягових мостах) та здвоєні (на тягових мостах).

Площа контурного контакту шини колеса з дорожнім покриттям  $S_{ш}$  безпосередньо залежить від навантаги на одинарні або здвоєні колеса і відповідного тиску повітря у їх шинах

$$S_{ш} = \frac{G_k}{k_k \cdot p_{ш}}, \quad (2)$$

де  $G_k$  – навантага на колесо автобуса, кН;  $k_k$  – коефіцієнт пропорційності, який залежить від конструкції шини;  $p_{ш}$  – тиск повітря у шині, МПа.

На основі виразу (2) та відомої формули для визначення площі кола отримуємо

$$D_s = 0,00113 \sqrt{\frac{G_k}{k_k \cdot p_{ш}}}. \quad (3)$$

або, за умови розмірності розрахункової навантаги на колеса у кГс

$$D_s = 0,00357 \sqrt{\frac{G_k}{k_k \cdot p_{ш}}}. \quad (3.1)$$

Одним з найважливіших критеріїв вибору шин коліс міських електробус, окрім наведених вище, являється прогин покриття міських вулиць. Адже чим він менший, тим довший термін експлуатації асфальтобетонного покриття вулиць. З виразів (1) та (3.1) за умови обладнання коліс керованих і тягових мостів виключного шиноматриці радіального типу можна прийняти  $k_k = 1,0$ , отримуємо формулу для визначення прогину покриття міських вулиць

$$l_y = 0,00357 \sqrt{\frac{G_k \cdot p_{ш}}{E_y}}. \quad (4)$$

Для міських вулиць III-ої категорії мінімально допустимий модуль тривалої пружності приймається рівним  $E_y = 200$  МПа [3]. Тоді

$$l_y = 0,0178 \cdot 10^{-3} \sqrt{G_k \cdot p_{ш}}. \quad (5)$$

Можливі варіанти розподілу розрахункових навантаж на колеса керованих і тягових мостів одинарних міських електробусів з різними колісними формулами у залежності від допустимих повних мас і допустимих навантаж на керований і тяговий мости (табл. 1) наведені у табл. 2.

Таблиця 2 – Варіанти розрахункових навантаж на керовані та тягові мости міських електробусів

Колісна формула	4x2.2		4x2.1		6x4.1		8x4.1
Допустима повна маса, кг	18000	19500	18000	19500	25000	26000	32000
Навантага на міст, кГс:							
- керований	6500	6000	8000/ 9000	9500	9000/ 7000	10000/ 8000	8000/ 8000 8000/ 8000
- тяговий	11500	13500	10000/ 9000	10000	8000/ 9000 8000/ 9000	8000/ 9000 8000/ 9000	7000/ 9000 7000/ 9000

Відповідно до можливих варіантів розподілу допустимих навантаж на колеса керованих і тягових мостів електробусів у табл. 3 наведені допустимі навантаги на шини їх коліс.

Таблиця 3 – Допустимі навантаги на шини коліс керованих і тягових мостів міських електробусів

Колісна формула	4x2.2		4x2.1		6x4.1				8x4.1		
Допустима повна маса, кг	18000	19500	18000	19500	25000	26000		32000			
Навантага на шини коліс, кГс:											
- керований	3250	3000	4000	4500	4750	4500	3500	5000	4000	4000	3500
- тяговий	2875	3375	5000	5000	5000	4000	5000	4000	4500	4000	4500

Для вибору шин виробництва чеської компанії "Continental Varum sro" на основі мінімізації прогину покриття міських вулиць від одинарних коліс з різними допустимими навантагами (табл. 3), технічні параметри різних типорозмірів яких наведені у табл. 4,

Таблиця 4 – Допустимі навантаги на шини різної ширини одинарних коліс типорозміру R22.5"

	Розмірні параметри, мм			Допустима навантага, кГс при тиску в шині, МПа				
	діаметр	ширина	статичний радіус	0,7	0,75	0,8	0,85	0,9
Типорозмір шини								
275/70 R22.5	975	280	445	2820	2980	3137,5	3295	3450
295/60 R22.5	940	304	435	2737,5	2895	3047,5	3200	3350
295/80 R22.5	1062	302	487	3210	3392,5	3570	3750	-
315/60 R22.5	966	318	445	2902,5	3067,5	3230	3390	3550
315/70 R22.5	1032	318	468	3270	3455	3640	3820	4000
315/80 R22.5	1096	318	500					
385/55 R22.5	1012	396	464	3680	3887,5	4095	4297,5	4500
385/65 R22.5	1092	405	496					
365/80 R22.5	1116	379	502					
425/65 R22.5	1146	447	518	4407,5	4657,5	4905	5150	-
445/65 R22.5	1174	462	529	4742,5	5012,5	5277,5	5540	5800

розраховані відповідні прогини покриття міських вулиць, наведені у табл. 5 та побудований графік залежності прогину від навантаги на колеса з різними типорозмірами шин (рис. 2).

Таблиця 5 – Розрахункові прогини покриття міських вулиць III категорії у залежності від навантаги на шини різної ширини одинарних коліс типорозміру R22.5"

	Допустима навантага, $G_K$ , кГс при тиску в шині, МПа/ Протин покриття вулиць, $l_y$ , мм											
	0,65	$l_y$	0,7	$l_y$	0,75	$l_y$	0,8	$l_y$	0,85	$l_y$	0,9	$l_y$
Типорозмір шини												
275/70 R22.5	2657,5	0,536	2820	0,573	2980	0,610	3137,5	0,646	3295	0,683	3450	0,719
295/60 R22.5	2580	0,528	2737,5	0,565	2895	0,601	3047,5	0,637	3200	0,673	3350	0,708
295/80 R22.5	3025	0,572	3210	0,611	3392,5	0,651	3570	0,689	3750	0,728	-	-
315/60 R22.5	2735	0,544	2902,5	0,581	3067,5	0,619	3230	0,656	3390	0,692	3550	0,729
315/70 R22.5	3082,5	0,577	3270	0,617	3455	0,657	3640	0,696	3820	0,735	4000	0,774
315/80 R22.5												
385/55 R22.5	3467,5	0,612	3680	0,655	3887,5	0,697	4095	0,738	4297,5	0,780	4500	0,821
385/65 R22.5												
365/80 R22.5												
425/65 R22.5	4155	0,670	4407,5	0,717	4657,5	0,762	4905	0,808	5150	0,853	-	-
445/65 R22.5	4470	0,695	4742,5	0,743	5012,5	0,791	5277,5	0,838	5540	0,885	5800	0,932

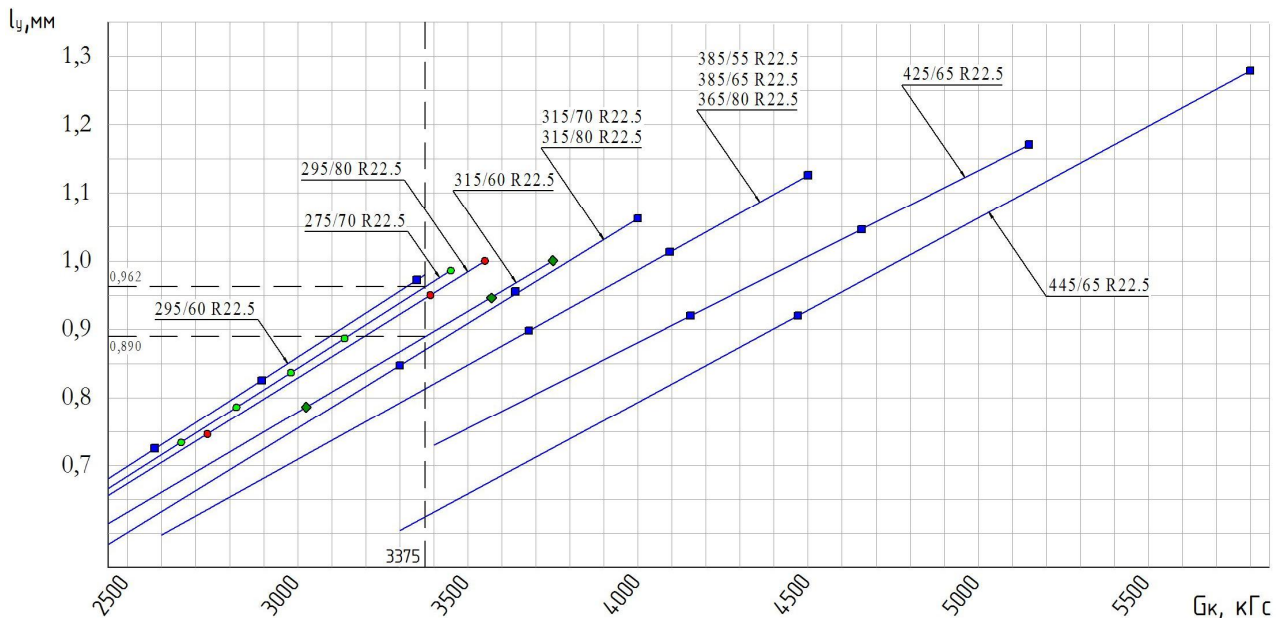


Рис. 2. Прогин покриття міських вулиць у залежності від навантаги на одинарні колеса, обладнані шинами різних типорозмірів

На широко застосовуваних у конструкція тягового приводу одинарних міських електробусів тягових електромеханічних мостів інтегрально-портального типу моделі ZF AVE 130, виробництва німецької компанії "ZF Friedrichshafen AG", встановлені здвоєні колеса, обладнані шинами типорозміру 275/70R22.5. Найбільша розрахункова допустима навантага на шини коліс тягового моста, відповідно до табл. 3, становить 3375 кГс при повній допустимій масі електробуса 19500 кг. Таку навантагу забезпечують, наприклад, шини типорозміру 275/70R22.5 виробництва чеської фірми "ContinentalВагum sro" моделі "BC 31" при тиску 9,0 МПа з урахуванням обмеженої швидкості руху електробусів на рівні 80 км/год. Саме шини такого типорозміру застосовуються у конструкціях практично всіх моделей сучасних міських електробусів. Цей вибір, зумовлений не тільки допустимою навантагою на колеса тягових мостів, а найменшою ринковою вартістю шин цього типорозміру у порівнянні з шинами інших типорозмірів.

Проте, з огляду на руйнівну дію коліс тягових мостів інтегрально-портального типу міських електробусів з допустимою повною масою 19500 кг доцільнішим було би застосування шин типорозміру 315/60 R22.5, які за діаметром навіть на 9 мм менші, а статичний радіус однаковий – 445 мм. Необ-

хідну допустиму навантагу у 3375 кГс ці шини забезпечують при внутрішньому тиску меншому за 0,85 МПа. Тому, розрахунковий прогин покриття міських вулиць від коліс з навантагою 3375 кГс, обладнаних шинами типорозміру 315/60 R22.5 становить 0,89 мм, який на 11 % менший ніж зі стандартними шинами типорозміру 275/70R22.5.

На одинарних міських електробусах з колісною формулою 4x2.1 застосовуються керовані мости з незалежною підвіскою коліс моделі IFS TJC 80-225 та тягові мости розрізного типу моделі IDS TJ 105-225 HR з незалежною підвіскою одинарних коліс виробництва італійської компанії "Brist axle S.r.l.". Вони обладнуються колесами з шинами типорозмірів, відповідно, 315/70 R22,5 та 385/55 R22.5. Найбільша розрахункова допустима навантага на шини коліс тягового моста, відповідно до табл. 3, становить 5000 кГс при повній допустимій масі електробуса 19500 кг. Таку навантагу забезпечують шини моделі BF 200R виробництва чеської фірми "Continental Varum sro" при тиску 9,0 МПа з урахуванням обмеженої швидкості руху електробусів на рівні 80 км/год. При їх застосуванні прогин покриття міських вулиць становить  $l_y = 1,187$  мм.

Оскільки на тягових мостах інтегрально-портального типу моделі ZF AVE 130 застосовуються здвоєні колеса, прогин покриття міських вулиць визначається з урахування їх близького розміщення. Відповідно до роботи [3] прогин покриття автомобільних доріг від дії здвоєних коліс в 1,1 рази більший ніж від одинарних коліс однакової навантаги. Отже, для здвоєних коліс

$$l_y = 0,0196 \cdot 10^{-3} \sqrt{G_k \cdot p_{ш}} \quad (6)$$

Навіть з урахуванням збільшеного прогину покриття міських вулиць під дією здвоєних коліс тягових мостів електробусів з допустимою повною масою 19500 кг, рівного  $l_y = 1,058$  мм, він все ж менший на 11 % ніж під дією одинарних коліс тягових мостів електробусів з колісною формулою 4x2.1.

Проте, застосування одинарних коліс тягових мостів типорозміру 425/65 R22.5 забезпечує прогин на рівні  $l_y = 1,133$  мм, який майже рівний прогину від здвоєних коліс типорозміру 275/70R22.5.

### Висновки

Проведені розрахункові дослідження впливу типу коліс та типорозмірів, обладнаних ними шин, тягових мостів міських електробусів дають підставу для наступних висновків:

- з умов мінімізації впливу здвоєних коліс інтегрально-портальних електромеханічних тягових мостів моделі ZF AVE 130 доцільними для застосування являються шини типорозміру 315/60 R22.5, які, окрім того, забезпечать збільшення їх експлуатаційного пробігу;
- створення міських електробусів на основі колісної формули 4x2.1 з допустимою повною масою 19500 кг і колесами тягових мостів, обладнаних шинами типорозміру 385/55 R22.5, призводить до більших прогинів асфальтобетонного покриття міських вулиць у порівнянні з електробусами класичного типу з колісною формулою 4x2.2.

Отже, видається важливою умова здійснення вибору типорозмірів шин коліс керованих та тягових або тягового-керованих мостів міських електробусів на основі урахуванням величин прогинів покриття міських вулиць під дією реальних навантаж на колеса цих мостів.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Council directive 96/5 3/EC of 25 July 1996 laying down for certain road vehicles circulating within the Community the maximum authorized dimensions in national and international traffic and the maximum authorized weights in international traffic URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:31996L0053&rid=5> (дата звернення 11.09.2018 р).
2. Сильянов В.В. Транспортно-эксплуатационные качества автомобильных дорог.- М.: Транспорт, 1984.- 287 с. 2. Немчинов М.В. Сцепные качества дорожных покрытий и безопасность движения автомобилей.- М.: Транспорт, 1985.- 231 с.
3. Оценка прочности жестких дорожных одежд. ОДН 218.1.052-2002. [Чинний з 19.11.2002].
4. Федоренко Л.І. Основні фактори впливу рухомих автотранспортних засобів на стан дорожнього одягу автомобільних доріг.

**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.