

ОПТИМІЗАЦІЯ ДОВЖИНИ КУЗОВІВ МІСЬКИХ ЕЛЕКТРОБУСІВ ЗА ЗАДАНОЮ ПАСАЖИРОВМІСТИМІСТЮ

ТзОВ "Науково-технічний центр "Автополіпром"

Анотація

Наведено обґрунтування доцільності застосування для створення перспективних і конкурентоздатних одинарних міських електробусів колісної формули 4x2.1 та компоувальної схеми з мінімізованим переднім і заднім звисами та розміщенням пасажирських дверей у межах їх колісної бази. Запропонована методика оптимізації довжини кузовів проєктованих перспективних міських електробусів за умови заданих параметрів пасажировмістимості – номінальної вмiстимості та кількості одинарних пасажирських сидінь.

Ключові слова: міський електробус, довжина кузова електробуса, номінальна пасажировмістимість, колісна формула, компоувальна схема.

Abstract

The rationale for the use of a 4x2.1 wheel formula and a layout with minimized front and rear overhangs and the placement of passenger doors within their wheelbase for the creation of promising and competitive single city electric buses is presented. A method for optimizing the length of the bodies of the designed promising urban electric buses is proposed for the given parameters of passenger capacity - the nominal capacity of the number of single passenger seats.

Keywords: city electric bus, electric bus body length, nominal passenger capacity, wheel formula, layout diagram.

Вступ

Електробуси з кожним роком все ширше застосовуються у системах міських перевезень пасажирів громадським транспортом. За оцінками експертів у найближчі п'ять-десять років міським електробусам належатиме значна частина загального обсягу перевезень пасажирів у містах практично усіх розвинутих країн світу. Проте, міські електробуси, хоча й у багатьох аспектах аналогічні за конструкцією з міськими автобусами і все ще широко застосовуваними у багатьох країнах, фактично, кардинально відрізняються типами тягових приводів і, особливо, їх компактністю. Саме значно менші габаритні розміри складових частин тягового приводу міських електробусів виділяють їх у групу пасажирських колісних транспортних засобів громадського користування, проєктування яких не тільки може, але й обов'язково повинно здійснюватися за іншими концепціями. Лише інертність та меркантильність власників підприємств з виробництва електробусів являється основною перешкодою до переходу на інші засади проєктування їх перспективних моделей. Адже створення електробусів найпростішим шляхом на базі міських автобусів та ще й з довжиною кузовів біля 12,0 м призводить до дуже низького рівня економічності та ефективності їх експлуатації. Основна причина цього – суттєво менша пасажировмістимість міських електробусів, особливо типу ОНС, обладнаних системою повільного заряджання тягових акумуляторних батарей (АКБ) у нічний час доби. Пасажировмістимість таких електробусів за умови забезпечення середньої величини добового автономного пробігу на рівні 200 км становить всього 55-65 чол. проти 100-106 чол. у автобусів-аналогів. І це при збільшеній допустимій повній масі електробусів до 19500 кг [1], тобто на 1500 кг.

Отже, уже на етапі розроблення ескізних пропозицій щодо проєктування перспективних міських електробусів будь-якого типу, спершу має визначатися орієнтовна довжина їх кузовів з умови забезпечення заданої пасажировмістимості.

Результати дослідження

Переважає більшість моделей сучасних міських електробусів все ще спроектована за класичною колісною формулою 4x2.2, тобто, на базі існуючих міських автобусів. Така колісна формула з розподілом навантаження на керований (6000...6500 кГс) і тяговий (13000...13500 кГс) мости у відношенні (1 : 2)...(1 : 2,25) передбачає застосування компоувальної схеми електробусів з великими переднім і

заднім звисами та розміщеними у них пасажирськими дверима. Тому, створення на базі електробусів, довжина кузовів яких близька до 12,0 м, максимально-уніфікованих модифікацій з меншою довжиною кузовів, навіть у діапазоні 10,5...10,6 м, являється доволі хибним напрямком, оскільки при тих же довжинах звисів – 2,65...2,7 м та 3,35...3,4 м – значно скорочується колісна база (до 4,4...4,5 м), яка ще більше не відповідає рекомендованій величині – 50 % довжини кузова.

Тому, з огляду на озвучені вище передумови для проектування міських електробусів оптимальною являється колісна формула 4х2.1 та компоновальна схема з мінімізованими переднім та заднім звисами. Саме така компоновальна схема забезпечує створення [2]:

- по-перше, типорозмірних рядів перспективних максимально-уніфікованих міських електробусів на основі застосування модульних принципів їх проектування;
- по-друге, забезпечення оптимальної пасажировмістимості електробусів відповідно до конкретних маршрутів та до інтенсивності їх пасажиропотоків.

Номінальна пасажировмістимість міських електробусів з огляду на вимоги міжнародних Правил ЄЕК ООН № 107 [3] може бути:

- максимально можливою за умови встановлення у пасажирському салоні мінімально допустимої кількості одинарних пасажирських сидінь;
- мінімально можливою за умови встановлення у пасажирському салоні максимально можливої кількості одинарних пасажирських сидінь.

Відповідно до Правил ЄЕК ООН № 107 у пасажирських салонах міських електробусів повинні бути облаштовані:

- щонайменше, один накопичувальний майданчик, розміщений навпроти будь-яких подвійних пасажирських дверей;
- місце для розміщення одного пасажирів у інвалідному візку (воно може бути виділене на накопичувальному майданчику).

Для міських електробусів також регламентована кількість одинарних пасажирських дверей, встановлених у правій боковині їх кузовів у залежності від номінальної пасажировмістимості (табл. 1):

Таблиця 1 – Регламентована кількість пасажирських дверей у кузовах міських електробусів

Номінальна вмістимість, пас.	Кількість одинарних дверей, од.	Кількість дверей, од.:	
		одинарних	подвійних
9...45	2	1	1
46...70	2	1	1
		-	2
71...100	3	2	1
		1	2
>100	4	2	2
		1	3
		3*	1*

Примітка: *Не рекомендований варіант застосування пасажирських дверей

З огляду на наведені вимоги вираз для визначення регламентованої номінальної пасажировмістимості міських електробусів на основі загальної формули

$$N_{ном} = n_{сид} + n_{ст} + n_{ів}, \quad (1)$$

де $n_{сид}$ – кількість пасажирів, розміщених на стаціонарних одинарних сидіннях, чол.; $n_{ст}$ – кількість пасажирів у стоячому положенні, чол.; $n_{ів}$ – кількість пасажирів, які перевозяться у інвалідних візках, чол., можна записати у наступному вигляді:

$$N_{ном}^{max} = n_{сид}^{min} + n_{ст} = k_c \cdot S_{nc} + \frac{k_s \cdot S_{nc} - k_c \cdot S_{nc} \cdot \Delta s_{одс}}{q_{nac}}, \quad (2)$$

де $n_{сид}^{min}$ – мінімально допустима кількість одинарних пасажирських сидінь, од.; k_c – коефіцієнт допустимого зменшення кількості одинарних сидінь відносно площі пасажирського салону; S_{nc} – площа пасажирського салону, призначеного для встановлення пасажирських сидінь та розміщення

накопичувального майданчика, пасажирів у інвалідних візках та у стоячому положенні, m^2 ; k_s – коефіцієнт повноти використання площі пасажирського салону; $\Delta s_{одс}$ – площа, яку займає одне одинарне пасажирське сидіння з регламентованими розмірами та зоною для розміщення ніг, $m^2/сид.$; $q_{нас}$ – питома норма площі салону на 1 пасаажира, $m^2/пас.$

Вираз (2) для мінімально можливої пасажировмістимості міських електробусів з умови максимально можливого встановлення одинарних пасажирських сидінь матиме вигляд

$$N_{ном}^{min} = n_{сид}^{max} + n_{см} = k_{сид} \cdot S_{nc} + \frac{k_s \cdot S_{nc} - k_{сид} \cdot S_{nc} \cdot \Delta s_{одс}}{q_{нас}}, \quad (3)$$

де $n_{сид}^{max}$ – максимально можлива кількість одинарних пасажирських сидінь, од.; $k_{сид}$ – коефіцієнт питомої кількості одинарних пасажирських сидінь, які можливо встановити у пасажирських салонах міських електробусів, $сид./m^2$.

Коефіцієнт питомої максимальної кількості одинарних пасажирських сидінь на основі аналізу планувань пасажирських салонів міських електробусів з колісною формулою 4x2.1 та компоновальною схемою, наведеною на рис. 1, становить $k_{сид} = 1,35...1,7$ у залежності від довжини їх кузовів (менше значення для кузова довжиною 9,0 м, більше – 12,0 м). На етапі розроблення ескізних пропозицій щодо проектування перспективних міських електробусів рекомендована величина $k_{сид} = 1,5$.

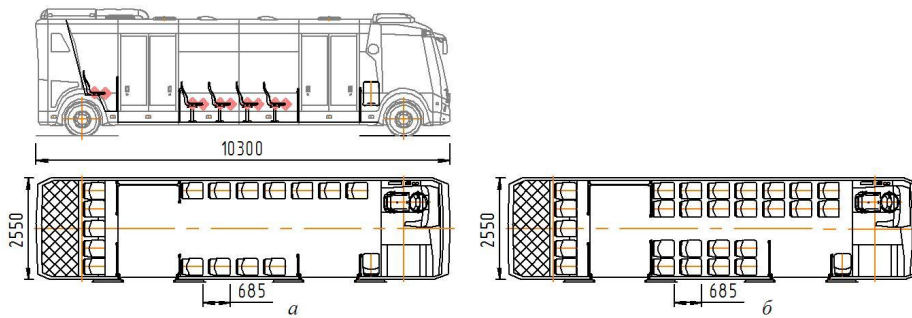


Рис. 1. Планування пасажирських салонів міських електробусів за кількістю пасажирських сидінь: а) – мінімально допустимою; б) – максимально можливою

Відповідно до вимог Правил ЄЕК ООН № 107 $k_c = 0,9...1,0$, а допустимі питомі норми площі пасажирського салону на одного пасаажира становлять $q_{нас} = 0,25 m^2/пас.$ (або $4 пас./m^2$); $q_{нас} = 0,2 m^2/пас.$ ($5 пас./m^2$); $q_{нас} = 0,167 m^2/пас.$ ($6 пас./m^2$); $q_{нас} = 0,143 m^2/пас.$ ($7 пас./m^2$) та мінімально допустиме значення $q_{нас} = 0,125 m^2/пас.$ ($8 пас./m^2$).

Коефіцієнт повноти використання пасажирського салону для встановлення пасажирських сидінь у залежності від щільності планувань пасажирських салонів приймається рівним $k_s = 0,95...1,0$.

Площу, яку займає одне одинарне сидіння разом з зоною для розміщення ніг пасаажира, визначену графічним способом на основі планувань пасажирських салонів автобусів та електробусів, рекомендується приймати рівною $\Delta s_{одс} = 0,325...0,332 m^2/сид.$

Отже, для прийнятих середніх значень параметрів $k_s = 0,975$; $k_{сид} = 1,5$ і $\Delta s_{одс} = 0,329 m^2/сид.$ Отже, формули (2) і (3) набувають вигляду:

$$N_{ном}^{max} = 0,9S_{nc} + \frac{0,68 \cdot S_{nc}}{q_{нас}}, \quad (4)$$

$$N_{ном}^{min} = 1,5S_{nc} + \frac{0,48S_{nc}}{q_{нас}}, \quad (5)$$

Для компоувальної схеми міських електробусів, наведеної на рис. 1, вираз для визначення площі пасажирського салону, призначеного для розміщення пасажирських сидінь та пасажирів у інвалідних візках і у стоячому положенні, записується у наступному вигляді (рис. 2):

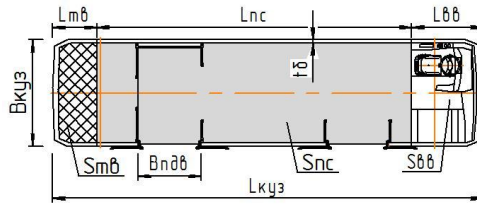


Рис. 2. Розрахункова схема визначення площі пасажирських салонів міських електробусів

$$S_{nc} = S_{кюз} - S_{mб} - S_{бб} - 2t_{б} \cdot L_{nc}, \quad (6)$$

або

$$S_{nc} = (B_{кюз} - 2t_{б}) \cdot (L_{кюз} - L_{mб} - L_{бб}), \quad (7)$$

де $S_{кюз}$, $S_{mб}$ і $S_{бб}$ – площі горизонтальних проекцій, відповідно, кузова електробуса, технічного відсіку та відділення водія, m^2 ; $t_{б}$ – товщина проекції боковини на рівні низької підлоги у пасажирському салоні, m ; L_{nc} – довжина пасажирського салону, m ; $B_{кюз}$ – ширина кузова електробуса, m ; $L_{кюз}$, $L_{mб}$ і $L_{бб}$ – довжина, відповідно, кузова електробуса, технічного відсіку та відділення водія, m .

Для сучасних міських електробусів $B_{кюз} = 2,55$ m ; $t_{б} = 0,65 \dots 0,95$ m , ширина проїми подвійних пасажирських дверей $B_{ндб} = 1,4 \dots 1,5$ m .

Для наведеної на рис. 2 компоновальної схеми рекомендовані значення параметрів наступні – $L_{бб} = 1,7 \dots 1,8$ m ; $L_{mб} = 1,0 \dots 1,1$ m .

Отже, для рекомендованих середніх величин розмірних параметрів

$$S_{nc} = 2,42L_{кюз} - 6,65. \quad (8)$$

З виразів (4), (5) та (8) при отримуємо

$$L_{кюз} \geq \frac{N_{ном}}{2,18 + \frac{1,64}{q_{нас}}} + 2,75, \quad (9)$$

$$L_{кюз} \geq \frac{N_{ном}}{3,63 + \frac{1,16}{q_{нас}}} + 2,75. \quad (10)$$

Пропоновані формули дають можливість оцінити необхідну довжину кузовів проєктованих міських електробусів з колісною формулою 4х2.1 і мінімізованими звисами на основі заданої номінальної пасажировмістимості з умов застосування мінімально допустимої (9) та максимально можливої (10) кількості одинарних пасажирських сидінь, встановлених у їх пасажирських салонах.

На першій стадії розроблення ескізних пропозицій щодо створення перспективних моделей міських електробусів пропонується користуватися усередненою формулою для визначення довжини їх кузовів при заданій пасажировмістимості

$$L_{кюз} \geq \frac{N_{ном}}{2,91 + \frac{1,35}{q_{нас}}} + 2,75. \quad (11)$$

Сучасні моделі міських електробусів типу ОНС з довжиною кузовів біля 12,0 m мають номінальну пасажировмістимість на рівні 65 чол. Необхідна довжина кузовів міських електробусів для забезпечення такої пасажировмістимості при різних величинах $q_{нас}$, розрахована за виразами (9), (10) та (11) наведена у табл. 2.

Таблиця 2 – Розрахункова величина довжини кузовів міських електробусів при номінальній вмістимості 65 чол.

Розрахункова формула	Питома норма площі салону на стоячого пасажиря, $q_{нас}$, м ² /пас.				
	0,25	0,2	0,167	0,143	0,125
(9)	10,2	9,0	8,2	7,5	7,0
(10)	10,6	9,6	8,9	8,3	7,8
(11)	10,4	9,4	8,6	7,9	7,4

Наведені розрахунки показують, що для пропонованої компоувальної схеми міських електробусів з номінальною пасажировмістимістю 65 чол. довжина їх кузовів становить 7,0...10,6 м у залежності від величини питомої норми площі пасажирського салону на одного пасажиря.

Сучасні міські електробуси типу ONC з класичною колісною формулою 4x2.2 і довжиною кузовів 12,0 м за площею підлоги, призначеної для розміщення стоячих пасажирів, рівною 11,85...11,95 м², за умови встановлення максимально можливої кількості одинарних пасажирських сидінь навіть при $q_{нас} = 0,25$ м²/пас. (або 4 пас./м²) можуть вмістити аж 80 чол. Проте, за допустимою повною конструктивною масою 19500 кг з умови забезпечення величини автономного пробігу не менше 200 км – лише 65 чол.

Висновки

Проведені розрахункові дослідження щодо визначення довжини кузовів проєктованих перспективних міських електробусів заданої номінальної пасажировмістимості на основі колісної формули 4x2.1 та компоувальної схеми з мінімізованими переднім і заднім звисами дають підставу для наступних висновків :

- створення міських електробусів на базі кузовів існуючих міських автобусів призводить до значного зменшення економічної ефективності їх експлуатації навіть за умови найбільшої питомої площі на одного стоячого пасажиря ($q_{нас} = 0,25$ м²/пас. або 4 пас./м²);

- площа підлоги пасажирського салону сучасних міських електробусів, створених на базі кузовів міських автобусів з колісною формулою 4x2.2 та класичною компоувальною схемою з великими переднім і заднім звисами та розміщеними у них подвійними пасажирськими дверима, використовується лише на 45...90 % при, відповідно, $q_{нас} = 0,125...0,25$ м²/пас.

Отже, уже на етапі розроблення ескізних пропозицій щодо створення перспективних і конкурентоспроможних міських електробусів вибір колісних формул та відповідних компоувальних схем повинен базуватися на оцінці довжини їх кузовів з умови забезпечення заданої пасажировмістимості та кількості одинарних пасажирських сидінь, а також заданої величини середньодобового автономного пробігу.

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. Войтків С. В. Концепція формування модульної системи автомобільних шасі підвищеної прохідності. Матер. II Всеукр. наук.-техн. "Актуальні проблеми бойового застосування та експлуатації і ремонту зразків озброєння та військової техніки", 17-18 листопада 2022 року: зб. наук. пр. Вінниця: ВНТУ, 2022. С. 241-243.

3. Єдині технічні приписи щодо офіційного затвердження транспортних засобів категорій М2 та М3 стосовно їхньої загальної конструкції : Правила ЕЭК ООН № 107-02. [Чинний з 01.07.2009]. ООН, 2011.

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.