

ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ МАС ТРАМВАЙНИХ ВАГОНІВ НА ЕТАПІ РОЗРОБЛЕННЯ ЕСКІЗНИХ ПРОПОЗИЦІЙ

ТзОВ "Науково-технічний центр "Автополіпром"

Анотація

Проаналізовані основні технічні параметри низькопідлогових одинарних та зчленованих двосекційних трамвайних вагонів – номінальна пасажировмістимість, розмірні параметри кузовів та споряджена маса. Розроблена методика визначення параметрів мас проєктованих нових моделей вагонів на етапі розроблення ескізних пропозицій з урахуванням різних компоувальних схем одинарних та зчленованих двосекційних вагонів за кількістю, типом і розміщенням колісних візків та пасажирських дверей.

Ключові слова: трамвайний вагон, споряджена маса вагона, номінальна пасажировмістимість, колісна формула вагона, компоувальна схема вагона.

Abstract

The main technical parameters of low-floor single and articulated two-section tram cars are analyzed - nominal passenger capacity, dimensional parameters of bodies and equipped weight. A method of determining the parameters of the masses of the designed new models of cars at the stage of developing sketch proposals has been developed, taking into account different layout schemes of single and articulated two-section cars by the number, type and placement of wheeled carriages and passenger doors.

Keywords: tram wagon, equipped mass of the wagon, nominal passenger capacity, wheel formula of the wagon, layout diagram of the wagon.

Вступ

Трамвайний транспорт, як один з екологічних видів громадського транспорту, широко застосовується у системах міських перевезень пасажирів багатьох країн світу, зокрема, і у понад 20 вітчизняних містах. Для створення нових перспективних максимально уніфікованих одинарних і зчленованих багатосекційних моделей трамвайних вагонів уже кілька десятиліть використовуються різні системи їх модульного проєктування. Вони базуються на застосуванні різних компоувальних схем за двома найбільш характерними (визначальними) критеріями:

- за колісною формулою, яка характеризує кількість, тип та розміщення колісних візків;
- за формулою пасажирських дверей, яка характеризує їх кількість, тип та розміщення.

Саме тому, уже на стадії розроблення ескізних пропозицій щодо проєктування перспективних моделей трамвайних вагонів з урахуванням експлуатаційних параметрів та характеристик конкретних міських маршрутів вибір компоувальних схем являється дуже важливим етапом. Оскільки, економічна ефективність експлуатації трамвайних вагонів залежить, у першу чергу, від питомих показників номінальної пасажировмістимості та витрати електроенергії під час руху за маршрутом, які залежать від параметрів мас, їх вибір повинен, власне, базуватися на попередній оцінці цих параметрів.

Отже, визначення параметрів мас, зокрема, спорядженої маси проєктованих трамвайних вагонів уже на етапі розроблення ескізних пропозицій за різними компоувальними схемами, являється одним з першочергових завдань.

Результати дослідження

До конструктивних параметрів мас трамвайних одинарних і зчленованих багатосекційних вагонів або причіпних потягів належать:

- маса у спорядженому стані та порожня маса – маса вагона у спорядженому стані з масою водія;
- допустима маса пасажирів – маса пасажирів при номінальній вмістимості;
- повна конструктивна маса – маса вагона у спорядженому стані з масами водія і пасажирів;
- допустима повна маса – регламентована повна маса відповідно до вимог нормативних актів.

Допустима повна маса трамвайних одинарних або зчленованих багатосекційних вагонів безпосередньо залежить від їх колісної формули, тобто кількості колісних візків та осей, якими вони обладнані

$$[M_{mp}] = n_{кв} \cdot g \cdot [n_е \cdot P_е] \cdot 10^3, \quad (1)$$

де $n_{кв}$ – кількість колісних візків у ходовій частині трамвайного одинарного або багатосекційного вагона, од.; g – прискорення вільного падіння тіла, м/с²; $n_е$ – кількість осей у колісному візку, од.; $P_е$ – допустима навантага на одну вісь, кН.

Допустима навантага на одну вісь, зокрема і у двовісних колісних візках трамвайних вагонів, відповідно до вимог ДСТУ 4876 [1] становить 80,0 кН.

Отже, для одинарних трамвайних вагонів, обладнаних двома двовісними колісними візками, допустима повна маса рівна $[M_{mp}^{2е}] = 32630$ кг. Допустима повна маса зчленованих двосекційних трамвайних вагонів, обладнаних двома, трьома або чотирма двовісними візками, становить, відповідно, $[M_{дс}^{2е}] = 32630$ кг, $[M_{дс}^{3е}] = 48950$ кг та $[M_{дс}^{4е}] = 65260$ кг.

Маса вагона в спорядженому стані без мас водія та пасажирів може визначатися на основі сукупності основних технічних параметрів існуючих вагонів-аналогів за одним з двох варіантів:

- за спорядженою масою вагонів та розмірними параметрами їх кузовів, зокрема довжини і ширини;
- за спорядженою масою вагонів та їх номінальною пасажировмістимістю при різних питомих нормах стоячих пасажирів.

Споряджену масу проєктованих вагонів за розмірними параметрами на етапі розроблення ескізних пропозицій пропонується визначати за виразами

$$M_{сн} = \Delta m_{сн}^l \cdot L_{к}, \quad (2a)$$

або

$$M_{сн} = \Delta m_{сн}^s \cdot L_{к} \cdot B_{к}, \quad (2б)$$

де $\Delta m_{сн}^l$ – питома маса вагона за довжиною кузова, кг/м; $\Delta m_{сн}^s$ – питома маса вагона за площею горизонтальної проєкції кузова вагона, кг/м²; $L_{к}$ і $B_{к}$ – розмірні параметри кузова вагона, відповідно, довжина і ширина, м.

Довжина і ширина кузовів проєктованих вагонів приймається на основі розмірних параметрів існуючих моделей трамвайних вагонів або відповідно до передбачених вимог технічного завдання на їх проєктування.

Розмірні параметри, споряджена маса і номінальна пасажировмістимість одинарних трамвайних вагонів існуючих моделей виробництва 2000-2022 років наведені у табл. 1.

Таблиця 1 – Основні технічні параметри існуючих моделей одинарних трамвайних вагонів виробництва 2000-2022 років

Модель	T4UA VinWay	ПТМ3-4	71-616	71-623	ЛВС-2005	71-911	71-405/ 71407	71-415
Виробник	КП ВТК	ПТМЗ	УКВЗ		Вагонмаш	ПК ТС	Уралтрансмаш	
Країна	Україна	Росія						
Компонувальна схема	рис. 1в	рис. 1а	рис. 1г			рис. 1а	рис. 1в	
Розмірні параметри по кузову, мм:								
- довжина	16000	15000	15330	16200	15000	16500	15900	16500
- ширина	2285	2550	2500					
Параметри мас, кг:								
- споряджена маса	20300	19500	19600	20000	19500	21000	21500	21000
Параметри вмістимості, чол.:								
- номінальна вмістимість - 5 чол./м ²	-	105	-	127	110	119	-	-
- 8 чол./м ²	-	-	137	187	165	170	169/ 171	190
- одинарних сидінь, од.	-	25	32	26	19		32/ 27	30
Тип за рівнем підлоги	ВП ¹			ЧН ²		НП ³	ВП ¹ / ЧН ²	НП ³
Примітка: ¹ ВП – високий рівень підлоги; ² ЧН – частково-низький рівень підлоги; ³ НП – повністю низький рівень підлоги								

Модель	K1	K1M	AKCM-60102	AKCM-802	AKCM-811	Vario LF	Tatra T5	Tatra T6	Skoda T3
Виробник	Южмаш		БКМ			Pragoimex	ЧКД Прага		Skoda
Країна	Україна		Білорусь			Чехія			
Компонувальна схема	рис. 1а		рис. 1б		рис. 1г	рис. 1а			
Розмірні параметри по кузову, мм:									
- довжина	15620	15638	15270	15500	16300	15100	15640	15300	14000
- ширина	2500					2480	2500		
Параметри мас, кг:									
- споряджена маса	18600	19600	20000	19300	19800	21200	18500	18900	16000
- номінальна вмістимість - 5 чол./м ²	-	-	156	-	-	116	128	120	110 (103)
- 8 чол./м ²	170	160	211	165		171	170	-	162 (146)
- одинарних сидінь, од.	-	-	30	28	33	32	28	40	23 (31)
Тип за рівнем підлоги	ВП ¹	ЧН ²	ВП ¹	ЧН ²	НП ³	ЧН ²	ВП ¹		

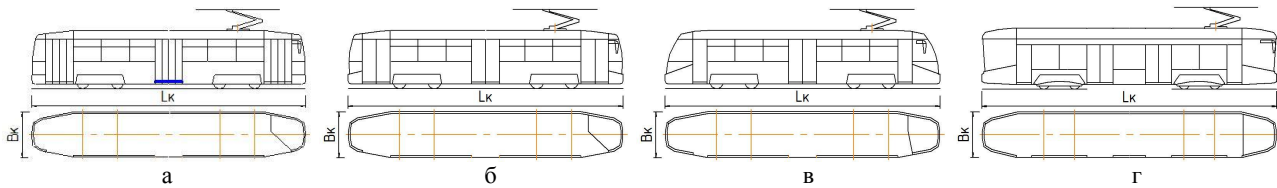


Рис. 1. Компонувальні схеми одинарних трамвайних вагонів:

а) і б) – з трьома подвійними пасажирськими дверима; в) – з двома одинарними і двома подвійними пасажирськими дверима

Розмірні параметри, споряджена маса і номінальна пасажиромістимість двосекційних трамвайних вагонів існуючих моделей виробництва 2000-2022 років наведені у табл. 2.

Таблиця 2 – Основні технічні параметри існуючих моделей зчленованих двосекційних трамвайних вагонів виробництва 2000-2022 років

Модель	Vario LF	ЛВС-2005-6	ЛВС-2005-8	K2R	K4Г	B82202	Tango NF2 nOVA
Виробник	Pragoimex	Вагонмаш		ЧКД Прага		Stadler	
Країна	Чехія	Росія		Чехія		Швейцарія	
Компонувальна схема	рис. 2в	рис. 2г	рис. 2д	рис. 2в	рис. 2а	рис. 2в	рис. 2г
Розмірні параметри по кузову, мм:							
- довжина	22600	22500	27110	20400	18110	20345	24900
- ширина	2480	2500		2200		2500	
Параметри мас, кг:							
- споряджена маса	30000		36000	23870	20300	22400	-
Параметри вмістимості, чол.:							
- номінальна вмістимість - 5 чол./м ²	-	170	180	157	142	-	188
- 8 чол./м ²	232	250	255	-	175	205	-
- одинарних сидінь, од.	50	29	39	49	34	31	61
Тип за рівнем підлоги	ЧН ²			ВП ¹	ЧН ²		НП ³

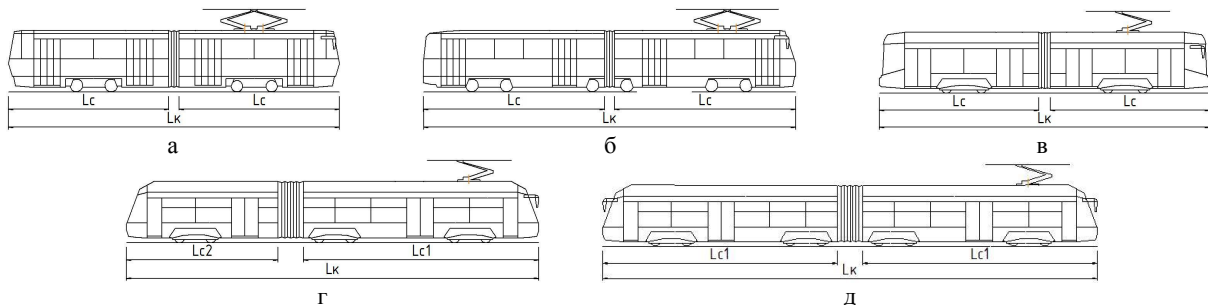


Рис. 2. Компонувальні схеми зчленованих двосекційних трамвайних вагонів:

а) і в) – з двома колісними візками; б) і г) – з трьома колісними візками; д) – з чотирма колісними візками

На основі наведених у табл. 1 і табл. 2 величин споряджених мас існуючих моделей одинарних та зчленованих двосекційних трамвайних вагонів визначені їх питомі маси за довжиною кузовів, наведені у табл. 3.

Таблиця 3 – Розрахункові питомі маси за довжиною кузовів одинарних та зчленованих двосекційних трамвайних вагонів, створених за різними компоновальними схемами

Тип вагонів за складом	Одинарні				Зчленовані двосекційні		
	рис. 1а	рис. 1б	рис. 1в	рис. 1г	рис. 2а	рис. 2в	рис. 2г
Питома маса за довжиною кузова, Δm_{cn}^l , кг/м	1143/ 1183/ 1191 1235/ 1253 1300/ 1352/ 1404	1245	1269/ 1273	1234/ 1279	1121	1101	
Питома маса за площею горизонтальної проекції кузова вагона, Δm_{cn}^s , кг/м ²	457/ 473/ 476/ 494 501/ 510/ 541/ 566	498	509/ 555	494	510	440	533

Аналіз отриманих результатів показує, що питомі маси трамвайних вагонів, як одинарних так і зчленованих двосекційних, залежать не тільки від довжини і ширини їх кузовів, а й від комплектації, тобто від комплектувальних виробів ходових частин, зокрема кількості та типів тягових електричних двигунів. Вагомий вплив мають також тип і площа вікон, а також системи опалення та кондиціонування повітря. Тому, рекомендовані питомі маси за довжиною або за площею горизонтальної проекції їх кузовів для визначення споряджених мас нових перспективних моделей трамвайних вагонів становлять $\Delta m_{cn}^l = 1320 \pm 10$ кг/м та $\Delta m_{cn}^s = 525 \pm 10$ кг/м².

Інший метод визначення спорядженої маси проєктованих трамвайних вагонів базується на врахуванні їх номінальної пасажировмістимості при відповідній питомій нормі стоячих пасажирів. Наприклад, у роботі [2] запропоновані емпіричні формули для розрахунків мас одинарних чотиривісних

$$M_{cn}^{4o} = 32350 - \frac{2304061}{N_{н5}}, \quad (3)$$

та зчленованих трисекційних шестивісних трамвайних вагонів

$$M_{cn}^{6o} = \frac{7118180}{530,5 - N_{н5}}, \quad (4)$$

де $N_{н5}$ – номінальна пасажировмістимість трамвайних вагонів при питомій нормі стоячих пасажирів 5 чол./м².

Проте, за проведеними розрахунками за виразом (3) отримані величини споряджених мас одинарних трамвайних вагонів моделей, наприклад, АКСМ-60102, вмістимістю 156 чол., та "Tatra T5" вмістимістю 128 чол., становлять, відповідно, 16990 кг (реальна маса за даними виробника рівна 20000 кг) та 14350 кг (реальна маса – 18500 кг). Тобто, похибка в розрахунках становить 15-22 % в сторону зменшення споряджених мас, що не припустимо навіть для етапу розроблення ескізних пропозицій.

Для визначення мас споряджених проєктованих одинарних та зчленованих дволанкових трамвайних вагонів за параметрами номінальної пасажировмістимості пропонуються інші вирази

$$M_{cn} = \Delta m_{cn}^{N5} \cdot N_{н5}, \quad (5a)$$

або

$$M_{cn} = \Delta m_{cn}^{N8} \cdot N_{н8}, \quad (5б)$$

де Δm_{cn}^{N5} і Δm_{cn}^{N8} – питомі маси трамвайних вагонів за номінальною пасажировмістимістю при нормах стоячих пасажирів, відповідно, 5 чол./м² та 8 чол./м², кг/чол.; $N_{н8}$ – номінальна пасажировмістимість трамвайних вагонів при питомій нормі стоячих пасажирів 8 чол./м².

На основі наведених у табл. 1 і табл. 2 величин спорядженої маси одинарних та зчленованих двосекційних трамвайних вагонів визначені їх питомі маси за номінальною пасажировмістимістю при різних питомих нормах стоячих пасажирів, наведені у табл. 4.

Аналіз отриманих величин питомих споряджених мас за номінальною пасажировмістимістю трамвайних одинарних та зчленованих двосекційних вагонів показує, що вони різняться:

- для одинарних трамвайних вагонів на 4-27 % та 15-44 % при питомих нормах стоячих пасажирів, відповідно, 5 чол./м² та 8 чол./м²;

- для зчленованих двосекційних вагонів на 32-40 % та 9-22 % при питомих нормах стоячих пасажирів, відповідно, 5 чол./м² та 8 чол./м².

Таблиця 4 – Розрахункові питомі маси за номінальною пасажировмістимістю одинарних та зчленованих двосекційних трамвайних вагонів, створених за різними компоувальними схемами

Тип вагонів за складом	Одинарні				Зчленовані двосекційні		
	рис. 1а	рис. 1б	рис. 1в	рис. 1г	рис. 2а	рис. 2в	рис. 2г
Питома маса за довжиною кузова, Δm_{cn}^{N5} , кг/м	144/ 145/ 155			157	143	152	200
	186/ 183/			177			
Питома маса за площею горизонтальної проекції кузова вагона, Δm_{cn}^{N8} , кг/м ²	99/ 109/ 110/	95/	111	107/		109/	
	124	117		118/ 120/ 143	116	129	141

Зрозуміло, що така розбіжність у розрахункових питомих нормах маси споряджених вагонів за номінальною пасажировмістимістю пов'язана з кількістю та різними схемами розміщення пасажирських сидінь (1+1, 2+1, 2+2 або комбінованими схемами).

Для визначення спорядженої маси проєктованих нових моделей трамвайних вагонів за умови заданої номінальної пасажировмістимості пропонуються наступні величини питомих мас за вмістимістю – $\Delta m_{cn}^{N5} = 160 \pm 5$ кг/чол. (при 5 чол./м²) та 120 ± 5 кг/чол. (при 8 чол./м²).

За рекомендованими питомими спорядженими масами трамвайних вагонів за номінальною пасажировмістимістю при її заданій величині, рівній 170 чол. для одинарного вагона та 250 чол. для двосекційного при 8 чол./м², їх розрахункові споряджені маси становлять, відповідно, 19550-21250 кг (різниця 8,7 %) та 28750-31250 кг (різниця 8,7 %).

Висновки

Проведені розрахункові дослідження щодо визначення спорядженої маси проєктованих перспективних моделей одинарних та зчленованих двосекційних трамвайних вагонів на стадії розроблення ескізних пропозицій дають підставу для наступних висновків:

- запропонований вираз (2а) для визначення їх спорядженої маси за довжиною кузовів, прийнятою за розмірними параметрами трамваїв-аналогів, та рекомендовані величини питомої спорядженої маси являються цілком прийнятними, оскільки розбіжність величин питомих мас за довжиною кузовів існуючих сучасних одинарних вагонів становить всього 8 %;

- запропонований вираз (2б) для визначення спорядженої маси за площею горизонтальної проекції їх кузовів, прийнятою за ескізними компоновками, та рекомендовані величини питомої спорядженої маси теж придатні для використання, хоча розбіжність величин питомих мас за площею горизонтальної проекції кузовів існуючих сучасних вагонів дещо більша і сягає 13 %;

- вирази (5а) та (5б) для визначення споряджених мас одинарних або зчленованих двосекційних вагонів можуть застосовуватися у випадках заданої номінальної пасажировмістимості проєктованих вагонів.

Загалом, усі запропоновані вирази для визначення споряджених мас одинарних та зчленованих двосекційних трамвайних вагонів повинні застосовуватися разом на різних стадіях розроблення ескізних пропозицій і, навіть, на початкових стадіях ескізного проєктування, особливо за умови наявності розроблених різних варіантів компоновок вагонів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. ДСТУ 4876: 2007. Вагони трамвайні пасажирські. Загальні технічні вимоги. [Чинний від 2007-11-21]. Київ : Держспоживстандарт України, 2009. 39 с. (Інформація та документація).
2. Добровольский И. Г., Плющ В. Н. Теория подвижного состава городского электрического транспорта: учебно-методическое пособие для студентов специальности 1-37 01 05 "Городской электрический транспорт" Минск : БНТУ, 2012. 236 с.

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.