

НАПРЯМКИ ПІДВИЩЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ МІСЬКИХ АВТОБУСІВ

ТОВ «Науково-технічний центр «АВТОПОЛПРОМ»

Анотація

Запропоновані напрямки підвищення експлуатаційної ефективності перспективних міських автобусів на основі застосування колісної формули 4x2.1 та привідних мостів з незалежною підвіскою одинарних коліс. Показано, що запропоновані напрямки забезпечують зменшення їх габаритної довжини по кузову та спорядженої маси у порівнянні з існуючими міськими автобусами великого класу адекватної пасажиромістимості з габаритною довжиною 12,0-12,1 м і зменшення витрат палива на 1,15-1,3 %.

Ключові слова: експлуатаційна ефективність, міський автобус, колісна формула, привідний міст, типорозмірний ряд.

Abstract

Directions for increasing the operational efficiency of promising city buses based on the use of 4x2.1 wheel formula and drive axles with independent suspension of single wheels are proposed. It is shown that the proposed directions provide a decrease in their overall body length and curb weight compared to existing city buses of a large class with adequate passenger capacity with an overall length of 12.0-12.1 m and a decrease in fuel consumption by 1.15-1.3%.

Keywords: operational efficiency, city bus, wheel formula, drive axle, size range.

Вступ

Підвищення експлуатаційної ефективності міських автобусів являється постійним актуальним завданням для обох з трьох основних учасників системи міських перевезень пасажирів – виробників пасажирських транспортних засобів громадського користування та їх експлуатантів, перевізників різних форм власності третього і найголовнішого учасника – пасажирів. Зрозуміло, що діяльність як виробників міських автобусів так і перевізників пасажирів повинна здійснюватися з огляду на забезпечення максимальної комфортабельності та зручності перевезень пасажирів і мінімізації експлуатаційних витрат на здійснення цих перевезень. Звісно, мінімізація експлуатаційних витрат міських автобусів у першу чергу залежить від їх конструктивних та експлуатаційних параметрів і вибору оптимальних типорозмірів автобусів за вмістимістю для конкретних маршрутів.

Метою роботи є розроблення напрямків підвищення експлуатаційної ефективності міських автобусів на етапі створення перспективних конкурентоспроможних моделей.

Результати дослідження

Як показано у роботі [1] надзвичайно результативним інструментом для підвищення ефективності експлуатації автобусів на міських маршрутах являється зниження собівартості перевезень пасажирів, яка складається з витрат на оплату праці, на придбання палива, мастильних та інших експлуатаційних матеріалів, на придбання шин, на технічне обслуговування і ремонт автобусів, з амортизаційних відрахувань та накладних витрат. Аналіз звіту про фінансові результати автобусного парку № 2 комунального підприємства "Київпаstrанс" витрати на оплату праці складають біля 13 %, а витрати на придбання палива – 42 %. Тобто, витрати на придбання палива являються основними у загальній собівартості перевезень пасажирів міськими автобусами. Отже, одним із напрямків підвищення експлуатаційної ефективності міських автобусів являється зменшення питомої витрати палива на перевезення однакового обсягу пасажирів.

Вираз для визначення питомої витрати палива міськими автобусами на перевезення однакової кількості пасажирів на одному і тому ж маршруті можна записати наступним чином

$$q_m = q_{en} + q_{nac}, \quad (1)$$

де q_{en} – питома витрата палива автобусом зі спорядженою масою (без пасажирів), л/кг·100 км;

$$q_{cn} = \frac{Q_{cn}}{M_{cn}}, \quad (2)$$

Q_{cn} – витрата палива автобусом зі спорядженою масою на маршруті протяжністю 100 км, л;

M_{cn} – споряджена маса міського автобуса, кг;

q_{cn} – питома витрата палива автобусом, необхідна для перевезень відповідної кількості пасажирів, тобто зі спорядженою масою, л/кг·100 км;

$$q_{cn} = \frac{Q_{nac}}{M_{nac}}, \quad (3)$$

M_{cn} – маса пасажирів, кг;

$$M_{nac} = 68n_{nac}, \quad (4)$$

n_{cn} – регламентована вмістимість автобуса, чол.,

68 – регламентована маса одного пасажирів міського автобуса. кг.

При однаковій максимальній пасажировмістимості міських автобусів, тобто при $68n_{nac} = const$, та однаковій агрегатній базі (керований та привідний мости і силовий агрегат – дизельний двигун та автоматична коробка переміни передач) питома витрата палива на їх перевезення на маршруті залежить лише від спорядженої маси автобусів. Таким чином, зменшення спорядженої маси перспективних міських автобусів за умови збереження заданої пасажировмістимості являється актуальним напрямком підвищення їх експлуатаційної ефективності.

На основі виразу (2) можна отримати наступну рівність

$$Q_{cn}^n = Q_{cn}^{\delta} \times \frac{M_{cn}^n}{M_{cn}^{\delta}}, \quad (5)$$

за якою визначається витрата палива проєктованим автобусом на основі відомих параметрів автобуса-аналога з тотожною агрегатною базою.

Залежність питомої витрати палива колісними автотранспортними засобами досліджена у ряді робіт, наприклад у роботі [2] наведений графік витрат палива автомобілями з різними типами двигунів у залежності від спорядженої маси (величина витрат палива прямо пропорційна спорядженій масі автомобіля). У цій же роботі запропонований вираз для визначення базової норм витрати палива автомобілями, який для автомобілів, обладнаних дизельними двигунами має вигляд

$$Q = 27,88 + \sum_{i=1}^n B_i \times X_i, \quad (4)$$

де B_i – коефіцієнт впливу параметрів мас, двигуна або трансмісії на базову норму витрати палива;

X_i – конструктивний параметр автомобіля (споряджена і повна маса та максимальна швидкість автомобіля, робочий об'єм, максимальна потужність, максимальний крутний момент та максимальна кількість обертів колін валу дизельного двигуна, передавальне число головної передачі).

За прийнятих вище умов вираз (4) можна записати у вигляді

$$Q = 27,88 + 0,00035M_{cn} + 0,0001(M_{cn} + M_{nac}) + \sum Q_{i-2}, \quad (5.1)$$

або

$$Q = 27,88 + 0,00035M_{cn} + 0,0001M_n + \sum Q_{i-2}, \quad (5.2)$$

де M_n – повна маса автобуса, кг;

$\sum Q_{i-2}$ – витрата палива, яка враховує параметри агрегатної бази та швидкість руху автобуса.

Одним із напрямків зменшення спорядженої маси міських автобусів тотожної вмістимості являється зменшення їх довжини на основі застосування компоновальних схем з колісною формулою 4x2.1, які передбачають заміну стандартних привідних мостів порталного типу привідними мостами з незалежною підвіскою одинарних коліс. На нинішній час такі привідні мости двох моделей виготовляє італійсько-турецька компанія "BRIST Axle Systems S.r.l." [3]. Їх основні технічні параметри у порівнянні з параметрами привідних мостів порталного типу виробництва фірми "ZF Friedrichshafen AG" (Німеччина) [4] наведені у табл. 1.

Таблиця 1 Технічні параметри приводних мостів з незалежною підвіскою коліс і порталного типу

Найменування параметра	Модель приводного моста		
	BRIST IDS TJ 105-225	BRIST IDS TJ 105-225 HR	ZF AV 133
Фірма-виробник	"BRIST Axle Systems Srl" (Італія-Турція)		"ZF Friedrichshafen AG" (Німеччина)
Допустима навантага, кГс	10500		11500-13000
Передавальне число	5,29	6,0 або 8,92	5,12/5,73/6,19/ 9,812
Типорозмір коліс	385/55 R22,5		275/70 R22.5
Маса, кг	574	650	973
Маса шин, кг	74,0		51,0
Маса диска, кг	47,5		47,2
Кількість коліс, од.	2		4
Маса коліс, кг	243		206
Маса моста з колесами, кг	817	893	1179

Аналіз параметрів мас мостів, наведених у табл. 1, показує, що лише застосування мостів з незалежною підвіскою одинарних коліс, хоча й обладнаних широкопрофільними шинами, зменшує споряджену масу автобусів на 286-362 кг.

Застосування компоновальних схем з приводними мостами моделі "BRIST IDS TJ 105-225" забезпечує створення перспективних міських автобусів тотожної пасажиромістимості меншої довжини по кузову. Наприклад, ескізний проект автобуса моделі АПП-D112, габаритна довжина якого становить 11,25 м, передбачає номінальну вмістимість, в залежності від кількості встановлених у пасажирському салоні сидінь, – 99, 102, 105 та 108 чол. Номінальна вмістимість міських автобусів з габаритною довжиною 11,96-12,1 м становить 100-105 чол. Отже, застосування колісної формули 4x2.1 та приводних мостів з незалежною підвіскою коліс не тільки забезпечує зменшення спорядженої маси автобусів, але й збільшення номінальної пасажиромістимості.

Проте, створення і організація виробництва міських автобусів однієї моделі за довжиною по кузову та кількох її модифікацій з меншими спорядженими масами аж ніяк не являється достатньою умовою для їх ефективної експлуатації на маршрутах з різною інтенсивністю пасажиропотоків як за самими маршрутами так і за періодами перевезень на протязі робочих змін. Тобто, необхідна ще й оптимізація кількості та типорозмірів міських автобусів за номінальною вмістимістю для кожного конкретного маршруту з урахуванням обсягів пасажирооборотів, їх розподілів по годинах на протязі часу функціонування маршрутів та інтервалів руху автобусів.

На даний час розроблено різні варіанти методики визначення кількості міських автобусів конкретної номінальної вмістимості для забезпечення перевезень пасажирів на відповідних маршрутах. Проте, у роботі [5], яка присвячена огляду і аналізу багатьох таких методик, зроблено висновок про те, що *"незважаючи на наявність в минулому і на сьогоднішній день ряду досліджень у цій галузі (йдеться про міські перевезення пасажирів), продовжує залишатися актуальним завдання вибору на регулярних маршрутах у міському сполученні автобусів, які забезпечили б поліпшення одного з головних показників якості надаваних послуг – зниження витрат часу на поїздки"*.

Вирішення цього завдання практично не можливе, з урахуванням великих коливань пасажиропотоків у різні години перебування автобусів на маршрутах, особливо між годинами пікових пасажиропотоків, без наявності у перевізників пасажирів автобусів різних типорозмірів за номінальною вмістимістю, а не за габаритною довжиною. Більше того, для забезпечення максимально ефективної діяльності перевізників на основі мінімізації вартості перевезень пасажирів, типорозмірний ряд міських автобусів повинен бути ще й одним модельним рядом. Тобто, **усі типорозміри міських автобусів за номінальною вмістимістю повинні бути максимально уніфікованими за агрегатною базою та іншими складовими частинами**. В ідеальному варіанті конструктивно вони повинні бути однаковими і відрізнятися лише довжинами кузовів. Аналіз парку міських автобусів, пропонувананих різними вітчизняними виробниками, показує, що на нинішній час міські перевезення пасажирів здійснюються лише двома типорозмірами автобусів – автобусами великого класу з довжиною по кузовах 11,96-12,1 м (А185 "Електрон", А701 "Богдан", ЛАЗ-А180, МАЗ-203) та середнього класу з довжиною по кузовах 8,27 м (ЗАЗ-А10С) і 8,78 м (АЗ02 "Богдан"). Автобуси інших моделей являються не міськими а лише пристосованими до перевезень пасажирів на міських маршрутах. Таким чином, перевізники можуть вибирати міські автобуси з обмеженого типорозмірного ряду за номінальною вмістимістю 60-74 чол. та 100-105 чол. А за рекомендацією,

наведеною у роботі [5], типорозмірний ряд міських автобусів з умови забезпечення оптимального вибору їх типорозмірів для конкретних маршрутів повинен складатися з шести моделей вмістимістю 34-40, 60-75, 80-95, 110-120, 160-180 і 230-260 чол.

Створення типорозмірного ряду максимально-уніфікованих міських автобусів з наведеним діапазоном номінальної вмістимості 40-260 чол. у межах одного модельного ряду, безумовно, не можливе. Навіть за умови застосування систем проектування модульно-уніфікованих одинарних автобусів на основі колісних формул 4x2.1, 6x4.1 і 8x4.1 та на їх базі одного-двох дволанкових зчленованих автобусів. Проте, цілком реальним завданням являється створення і організація виробництва максимально модульно-уніфікованих міських автобусів кількох типорозмірів за номінальною вмістимістю з однаковою агрегатною базою. Ескізний проект модельного типорозмірного ряду таких автобусів наведений на рис. 1.

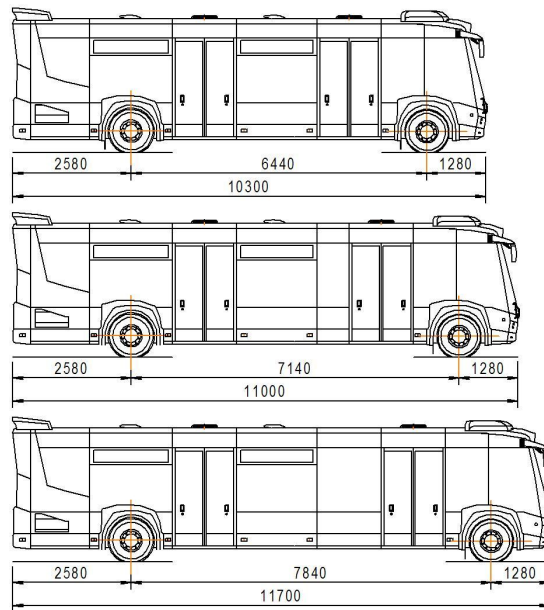


Рис. 1. Типорозмірний ряд модульно-уніфікованих міських автобусів АПП-D103/ D110/ D117

Основні технічні параметри пропонованих проектів міських автобусів і автобуса великого класу моделі МА3-203 та їх аналіз за параметрами мас і відносних витрат палива, визначених за виразом (5.2), наведені у табл. 2.

Таблиця 1 Технічні параметри приводних мостів з незалежною підвіскою коліс і порталного типу

Найменування параметра	Модель автобуса						
	АПП-D103		АПП-D110		АПП-D117		МА3-203
Габаритна довжина, м	10,3		11,0		11,7		12,0
Пасажировмістимість номінальна, чол.	92	99	100	109	109	111	105
у т.ч. місць для сидіння	25	21	28	23	31	29	26
Споряджена маса, кг	10075		10250		10425		10860
Питома споряджена маса, кг/м	978,2		931,8		891,0		905
Відносна витрата палива автобуса зі спорядженою масою, л/100 км	3,526		3,588		3,649		3,801
Повна маса, кг	16330	16810	17050	17665	17840	17980	18000
Відносна витрата палива автобуса з повною масою, л/100 км	1,633	1,681	1,705	1,767	1,784	1,798	1,800
Нормативна витрата палива л/100 км	33,039	33,087	33,173	33,235	33,313	33,327	33,481
	+q1	+q1	+q1	+q	+q1	+q	+q
Економічність по витраті палива, Δq , л/100 км	0,442	0,394	0,308	0,246	0,168	0,154	-

Примітка: q – витрата палива у залежності від інших конструктивних та експлуатаційних параметрів автобусів, яка для пропонованого типорозмірного ряду однакова (q=const)

За результатами розрахунків побудовані графіки залежностей спорядженої маси, номінальної пасажировмістимості та відносної економії витрати палива перспективних міських автобусів проектів АПП-D103, АПП- D110 та АПП- D117 від їх довжини по кузовах (рис. 2).

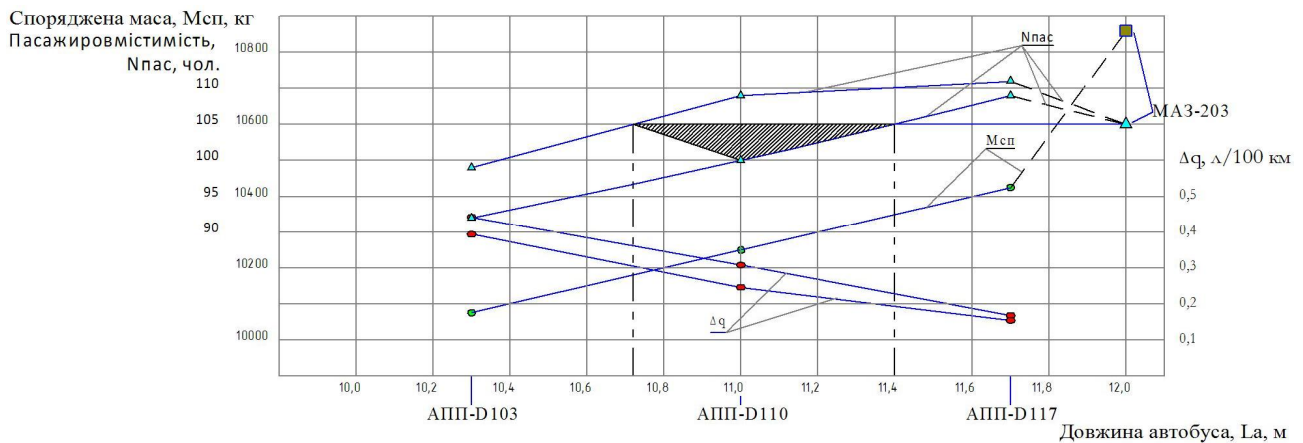


Рис. 2. Залежність спорядженої маси, пасажиромістимості та паливної економічності перспективних міських автобусів типорозмірного ряду ААП-D103/ D110/ D117

З наведених графіків зрозуміло, що для заміни існуючих міських автобусів великого класу з габаритною довжиною по кузовах у межах 11,96-12,1 м і номінальною пасажиромістимістю 100-105 чол. достатньо освоїти виробництво навіть автобуса проекту ААП-D103 з габаритною довжиною 10,3 м вмістимістю 99 чол. Його застосування для перевезень пасажирів на відповідних маршрутах протяжністю 20 км забезпечить зменшення щоденної витрати палива при добовому пробігу 200 км на 0,65 л на кожному з автобусів при коефіцієнті наповнення 0,45. Якщо припустити, що на маршруті експлуатується щоденно 10 автобусів, економія палива становитиме 6,5 л щоденно, біля 200 л щомісячно та понад 2400 л в рік, або при вартості дизельного палива 20 грн./л, 48 тис. грн.

Висновки

Пропоновані напрямки створення перспективних міських автобусів великого класу на основі застосування колісної формули 4x2.1 і привідних мостів з незалежною підвіскою одинарних коліс забезпечують зменшення їх габаритної довжини по кузову і спорядженої маси та підвищення експлуатаційної ефективності на 1,15-1,3 % у порівнянні з сучасними автобусами адекватній вмістимості, створеними за колісною формулою 4x2.2 і обладнаними привідними мостами порталного типу. Крім того, такі автобуси маневреніші, менше сповільнюють рух і повільніше руйнують покриття міських вулиць за рахунок менших невіднесених мас привідних мостів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Гришук О. К., Стрельнікова О. В., Белецька О. М. Підвищення ефективності експлуатації автобусів на міських маршрутах. *Вісник Національного транспортного університету*. 2012. № 25. С. 277-281.
2. Кривошапов С. І. Статистичний метод нормування витрати палива на автомобільному транспорті. *Вісник Донецької академії автомобільного транспорту*. 2014. № 3. С. 31-37.
3. BRIST Product-Portfolio. URL: https://bristaxle.com/wp-content/uploads/2020/03/BRIST_Product-Portfolio_v20200302.pdf (дата звернення: 17.04.2020).
4. ZF. Produktübersicht Product Overview. URL: https://www.zf.com/master/media/corporate/m_zf_com/company/download_center/products/buses/TU_Product_Overview_201909_DE_EN_LowRes.pdf (дата звернення: 17.04.2020).
5. Біліченко В. В., Цимбал С. В., Цимбал О. В. Методики визначення потреби в рухомому складі. *Проблеми і перспективи розвитку автомобільного транспорту*. Матеріали VIII-ої міжнародної науково-практичної інтернет-конференції 14-15 квітня 2020 р.: зб. наук. праць. Вінниця: ВНТУ, 2020. С. 64-67.

Войтків Станіслав Володимирович – канд. техн. наук, генеральний конструктор ТОВ «Науково-технічний центр «АВТОПОЛІПРОМ», Заслужений машинобудівник України, Львів, e-mail: voytkivsv@ukr.net

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