

НАПРЯМКИ ПОКРАЩЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ МІСЬКИХ АВТОБУСІВ

ТОВ «Науково-технічний центр «АВТОПОЛІПРОМ»

Анотація

Запропоновані напрямки покращення екологічної безпеки перспективних міських автобусів на основі зменшення шкідливих викидів та руйнівної дії на покриття міських вулиць за рахунок зменшення їх габаритної довжини та спорядженої маси у порівнянні з існуючими міськими автобусами середнього і великого класів адекватної пасажиромістимості.

Ключові слова: екологічна безпека, міський автобус, пасажиромістимість, споряджена маса.

Abstract

Directions are proposed for improving the environmental safety of promising city buses based on reducing harmful emissions by reducing their overall length and curb weight compared to existing city buses of medium and large classes with adequate passenger capacity.

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

Вступ

Міський автобусний транспорт являється, з одного боку, найпоширенішим і, відповідно, найважливішим видом громадського транспорту сучасних міст будь-якої країни. З іншого боку, він є і потужним джерелом забруднення навколишнього середовища. Тому, покращення екологічної безпеки перспективних міських автобусів являється постійним і дуже актуальним завданням вітчизняного автобусобудування.

Метою роботи є розроблення напрямків покращення екологічної безпеки міських автобусів ще на етапі розроблення ескізних пропозицій щодо створення їх нових перспективних та конкурентоспроможних моделей.

Результати дослідження

Пошукам шляхів зменшення шкідливих викидів міськими автобусами присвячено багато досліджень, якими запропоновані різні напрямки покращення їх екологічної безпеки. Одним із найбільш ефективних напрямків являється створення, виробництво та експлуатація міських електробусів. Проте, в сучасних економічних умовах розвитку України достатньо швидкий перехід на застосування електробусів являється неможливим в силу значно більшої вартості електробусів у порівнянні з автобусами, обладнаними дизельними двигунами, та ряду інших причин. Значне покращення екологічної безпеки міських автобусів забезпечується застосуванням двигунів, які працюють на газових видах пального. Як показано у роботі [1], екологічна безпека автобусів, обладнаних двигунами, які працюють на газових видах пального, в 1,1-1,8 разів краща по відношенню до автобусів з бензиновими двигунами, які застосовуються у конструкціях автобусів особливо малого та середнього класів, габаритна довжина яких по кузову становить, відповідно, понад 5,0 м до 6,0 м та понад 6,0 м до 8,0 м. Сумарна токсичність газового двигуна, зведена до CO, у 2,1 рази менша, ніж у дизельного двигуна аналогічної потужності через відсутність у відпрацьованих газах газового двигуна твердих часток і нижчих питомих викидів CmHn і NOx [2]. Інші напрямки покращення екологічної безпеки міських автобусів розглянуті теж у багатьох роботах, наприклад, у роботі [3] пропонуються наступні заходи щодо зниження шкідливого впливу автобусного транспорту на навколишнє середовище: вдосконалення конструкції автобусів з точки зору токсичності відпрацьованих газів шляхом застосування спеціальних фільтрів-нейтралізаторів; підвищення рівня технічного обслуговування автобусів шляхом контролювання і регулювання їх паливної системи; вдосконалення систем і методів контролю за технічним станом автобусів;

організація магістральних швидкісних маршрутів тощо. У багатьох роботах досліджена залежність питомих викидів шкідливих речовин автобусами різної пасажировмістимості, які застосовуються на конкретних маршрутах, і пропонуються варіанти оптимізованого вибору типорозмірів міських автобусів у залежності від дорожніх умов маршрутів та інтенсивності їх пасажиропотоків [4].

Напрямок застосування двигунів, що працюють на різних видах газового пального, хоча й вирішує питання покращення екологічної безпеки міських автобусів, має ряд недоліків. Необхідність використання достатньо важких газових балонів для акумулювання газу та посилення міцності каркасів кузовів автобусів зменшує пасажировмістимість міських автобусів, щонайменше, на 15-20 чол. А законодавче збільшення допустимої повної маси автобусів, двигуни яких працюють на альтернативних видах пального, на 1500 кг, тобто до 19500 кг (для автобусів з дизельними двигунами повна маса становить не більше 18000 кг), сприяє швидшому руйнуванню покриття міських вулиць, особливо при високих температурах повітря навколишнього середовища. Автобуси, обладнані газовими двигунами та газобалонними установками більш небезпечні в експлуатації і вимагають значно частішого контролювання їх технічного стану. Крім того, міські автобуси, обладнані газовими двигунами, суттєво дорожчі у порівнянні з дизельними автобусами, тому, наразі, не користуються попитом у фірм-перевізників пасажирів. Ще вищі ринкові ціни властиві автобусам, обладнаним гібридними тяговими приводами, до складу яких входять двигуни внутрішнього згоряння та електричні двигуни, а також важкі і дорогі блоки тягових акумуляторних батарей. Отже, у нашій державі міські автобуси з дизельними двигунами ще 5-10 років будуть залишатися основними транспортними засобами громадського користування. Тому, для створення нових перспективних моделей міських автобусів необхідний пошук інших конструктивних рішень уже на стадії розроблення ескізних пропозицій, які би забезпечували відповідне покращення їх екологічної безпеки. Причому, вони повинні бути спрямовані як на зменшення токсичності відпрацьованих газів двигунів автобусів, так і на зменшення руйнівної дії невідпрацьованих мас керованого та привідного мостів на покриття міських вулиць, на пониження рівнів внутрішнього та зовнішнього шумів тощо.

Одним з пропонованих напрямків зменшення токсичних викидів з відпрацьованими газами дизельних двигунів являється зменшення споряджених мас міських автобусів за умови забезпечення заданої пасажировмістимості або збереження пасажировмістимості автобусів-аналогів. Об'єм викидів шкідливих речовин у навколишнє середовище дизельними двигунами міських автобусів безпосередньо пов'язаний з режимами їх руху та витратами пального. А витрати пального за результатами численних досліджень [5, 6] пропорційні масі транспортних засобів, тому можна записати наступні вирази

$$Q_n = q_n \times (M_{cn} + M_{nac}), \quad (1)$$

$$Q_n = Q_{cn} + Q_{nac}, \quad (2)$$

де Q_n – витрата пального автобусом на маршруті протяжністю 100 км, л/100 км;

Q_{cn} – витрата пального автобусом без пасажирів на маршруті довжиною 100 км, л/100 км;

Q_{nac} – витрата пального автобусом, яке витрачається на перевезення пасажирів на маршруті протяжністю 100 км, л/100 км;

q_{cn} – питома витрата пального автобусом з дизельним двигуном, л /кг·100 км;

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

M_{nac} – маса пасажирів, кг;

$$M_{nac} = 68n_{nac}, \quad (3)$$

68 – регламентована маса одного пасажирів міського автобуса, кг;

n_{cn} – прийнята. Задана або регламентована номінальна вмістимість автобуса, чол.

Витрата пального порівнюваними автобусами розраховується за формулою, запропонованою у роботі [7]

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

де B_i – коефіцієнт впливу параметрів мас, двигуна і трансмісії та швидкості руху автобуса на базову норму витрати палива;

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

За прийнятих умов щодо тотожності конструктивних параметрів силових агрегатів і передавальних чисел головних передач привідних мостів автобусів та однакових режимів руху на маршруті вираз (4) можна записати у вигляді

$$Q_n = 27,88 + 0,00035M_{cn} + \sum Q_{i-1}, \quad (4.1)$$

або, за умови порівняння відносних показників витрат пального, у спрощеному вигляді

$$Q_{cn}^6 = 27,88 + 0,00035M_{cn}. \quad (4.2)$$

де Q_{cn}^6 – відносна витрата пального автобусами за умови $\sum Q_{i-1}^n = \sum Q_{i-1}^6$, тобто за умови однакових витрат палива, величина яких залежить від інших, наведених вище, конструктивних параметрів автобусів, л/100 км.

На основі виразу (1) формулу для визначення питомих викидів шкідливих речовин дизельними двигунами міських автобусів можна записати наступним чином

$$m_e = k_e \times q_n \times \rho_n \times (M_{cn} + M_{nac}), \quad (5)$$

де k_e – коефіцієнт питомих викидів шкідливих речовин двигуном автобуса у залежності від витрати пального;

ρ_n – питома маса пального, кг/л.

При однаковій регламентованій пасажиромістимості міських автобусів, тобто при $68N_{nac} = const$, та однаковій агрегатній базі (керований та привідний мости і силовий агрегат – дизельний двигун і автоматична коробка переміни передач), а також за умови адекватних режимів руху по одному і тому ж маршруту на основі формул (4) і (5) можна записати наступні вирази

$$m_e = m_{ecn} + m_{enac}, \quad (6)$$

де m_{ecn} – питомі викиди шкідливих речовин автобусом зі спорядженою масою, кг/100 км;

m_{enac} – питомі викиди шкідливих речовин двигуном автобуса відповідно до додаткових витрат палива на перевезення пасажирів кг/100 км;
та, з урахуванням однакової пасажиромістимості порівнюваних міських автобусів,

$$m_{ecn} = m_e^0 + k_e \times \rho_n \times 0,00035M_{cn}, \quad (7)$$

або

$$m_{ecn} = m_e^0 + \Delta m_{ecn}, \quad (7.1)$$

де m_e^0 – величина шкідливих викидів дизельними двигунами при нульових значеннях додаткових викидів шкідливих речовин у залежності від наведених вище конструктивних параметрів, кг/100 км;

Δm_{ecn} – величина додаткових питомих викидів шкідливих речовин двигуном автобуса у залежності від його спорядженої маси, кг/100 км.

На основі виразу (7.1) можна записати наступний вираз

$$\Delta m_{ecn}^n = \Delta m_{ecn}^6 \times \frac{M_{cn}^n}{M_{cn}^6}, \quad (8)$$

де Δm_{ecn}^n – додаткові питомі викиди шкідливих речовин двигуном проектного автобуса у залежності від його спорядженої маси, кг/100 км;

Δm_{ecn}^6 – додаткові питомі викиди шкідливих речовин двигуном базового автобуса-аналога, у залежності від його спорядженої маси, кг/100 км;

M_{cn}^n – споряджена маса проектного автобуса, адекватного за силовим агрегатом і пасажиромістимістю, базовому автобусу-аналогу, кг;

M_{cn}^6 – споряджена маса базового автобуса-аналога, кг.

За виразом (7) на стадії розроблення ескізних пропозицій щодо створення перспективних моделей міських автобусів оцінюється відносний рівень питомих викидів проектованим автобусом

на основі відомих питомих викидів або витрат пального базового автобуса-аналога з тотожним силовим агрегатом адекватної пасажиромістимості.

Таким чином, зменшення спорядженої маси перспективних міських автобусів, обладнаних дизельними двигунами, за умови збереження заданої пасажиромістимості являється актуальним напрямком покращення їх екологічної безпеки, причому не тільки з умови зменшення питомих викидів шкідливих речовин.

Зменшення спорядженої маси перспективних міських автобусів з дизельними двигунами можливе за рахунок:

- застосування матеріалів для виготовлення каркасів кузовів і панелей зовнішнього облицювання та внутрішнього оздоблення з меншими питомими масами при необхідних параметрах міцності;

- застосування інших агрегатів ходових частин та трансмісій, параметри мас яких менші при достатньо адекватних інших параметрах (потужності двигунів, допустимих навантагах на керований та привідний мости тощо);

- зменшення довжини кузовів автобусів за умови забезпечення адекватної містимості автобусів-аналогів;

- застосування інших колісних формул автобусів замість класичної 4x2.2, наприклад 4x2.1, яка передбачає обладнання привідних мостів одинарними колесами.

Застосування нових матеріалів для виготовлення каркасів кузовів і панелей їх зовнішнього облицювання та внутрішнього оздоблення являється перспективним напрямком зменшення споряджених мас автобусів. Проте, його реалізація стримується, зазвичай, суттєво більшою вартістю таких матеріалів та необхідного технологічного оснащення. Тому, цей напрямок для створення перспективних міських автобусів майже не застосовується конструкторсько-технологічними підрозділами вітчизняних підприємств.

Застосування колісної формули 4x2.1 для створення перспективних конкурентоспроможних міських автобусів допускає застосування механічних привідних мостів з незалежною підвіскою одинарних коліс, виробництво яких освоїла італійсько-турецька компанія "BRIST Axle Systems S.r.l.". При допустимій навантазі на привідні мости моделей IDS TJ 105-225 та IDS TJ 105-225 HR, рівній 10500 кГс, їх маса на 286-362 кг менша маси стандартного моста порталного типу моделі AV 133 виробництва фірми "ZF Friedrichshafen AG" (Німеччина).

Ще однією перевагою застосування колісної формули 4x2.1 являється можливість зменшення довжини кузовів перспективних міських автобусів, а відтак, і зменшення їх спорядженої маси за умови забезпечення заданої або адекватної пасажиромістимості відносно вибраних міських автобусів-аналогів. За рекомендаціями, наведеними у роботі [8], питома зменшення маси кузовів автобусів при зменшенні їх довжини у межах колісних баз, тобто у середній частині кузовів, яка для сучасних міських автобусів конструктивно практично однакова, складає 250-350 кг/м.

Таким чином, застосування колісної формули 4x2.1 та привідних мостів з незалежною підвіскою одинарних коліс для створення перспективних міських автобусів являється реальним напрямком покращення їх екологічної безпеки у плані зменшення шкідливих викидів та руйнівної дії на покриття міських вулиць.

Порівняння питомих викидів міськими автобусами проекту АПП-D103, розробленого автором, та моделі ЛАЗ-A152 (СітіЛАЗ-10 LE), планування пасажирських салонів яких показано на рис. 1, наведено у табл. 1 та на рис. 2.

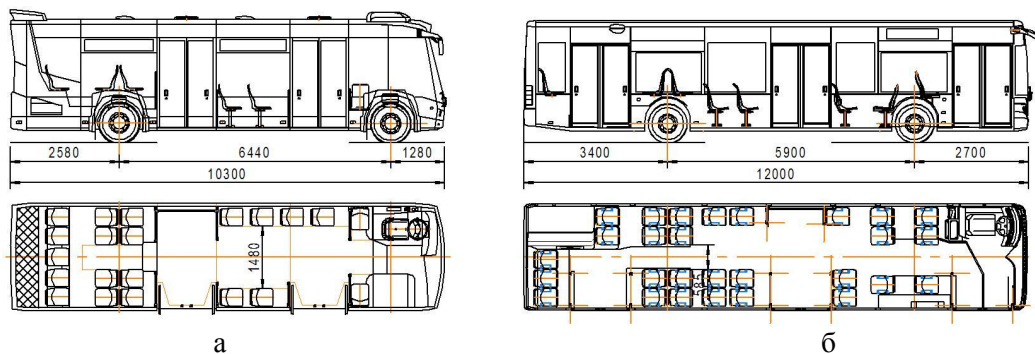


Рис. 1. Міські автобуси: а – перспективний проекту ААП-D103; б – серійний моделі СітіЛАЗ-A183

Таблиця 1 Оцінка екологічної безпеки міських автобусів АПП-D103 та СітіЛА3-A183

Найменування параметра	Модель автобуса		Порівняння параметрів, %
	АПП-D103	СітіЛА3-A183	
Габаритна довжина, м	10,3	12,0	- 15
Пасажиромістимість номінальна, чол.	99	100	- 1
у т.ч. місць для сидіння	21	27	- 2,9
Споряджена маса, кг	10075	11200	- 9,1
Повна маса, кг	16810	18000	- 6,0
Відносна витрата пального автобусом зі спорядженою масою, л/100 км	31,406	31,8	- 1,24
Додаткові питомі викиди шкідливих речовин автобусом у залежності від спорядженої маси, $\Delta m_{всп}$, кг/100 км	$0,9 m_{всп}^{\delta}$	$m_{всп}^{\delta}$	- 10,0

Аналіз проведених розрахунків показує, що рівень токсичних викидів з відпрацьованими газами перспективного міського автобуса проекту АПП-D103 менший на 1,24 %, що при щоденній експлуатації тисяч автобусів не так уже й мало.

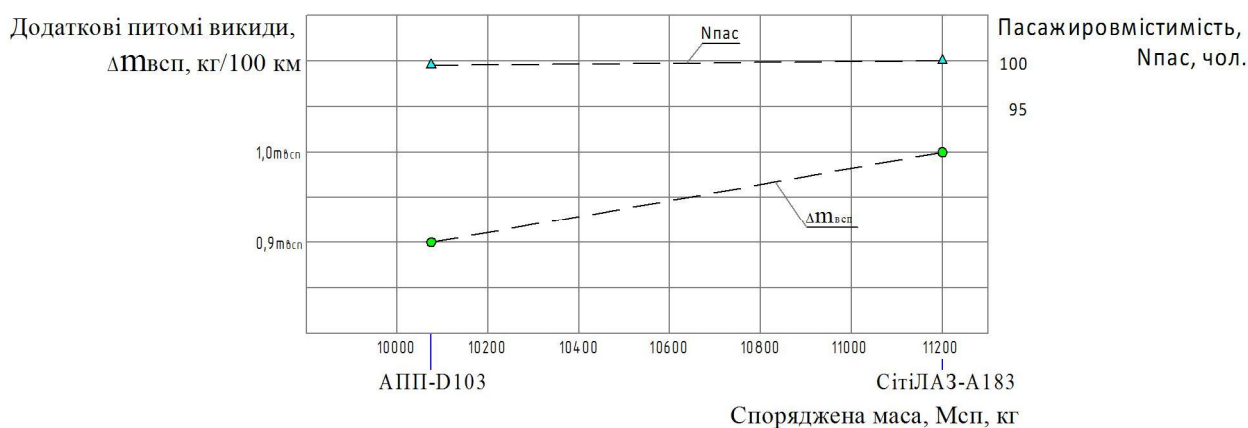


Рис. 2. Залежність додаткових питомих викидів міських автобусів від спорядженої маси

З наведеного графіка (рис. 2) добре видно, що різниця у повних масах міських автобусів проекту АПП-D103 і серійної моделі СітіЛА3-A183, яка становить 1125 кг, припадає, фактично, лише на масу кузова, агрегати трансмісії та ходової частини тощо, тобто на споряджену масу автобуса-аналога за номінальною пасажиромістимістю, яка більша лише на 1 пас. Таким чином, технічний рівень пропонованого перспективного міського автобуса значно вищий за усіма параметрами, що, безперечно, сприятиме його конкурентоспроможності.

Висновки

Пропоновані напрямки створення перспективних міських автобусів великого класу, обладнаних дизельними двигунами, 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 покращення їх екологічної безпеки за рахунок:

- зменшення питомих викидів на 1,2-1,3 % у порівнянні з сучасними автобусами адекватній вмістимості, створеними за колісною формулою 4x2.2 і обладнаними привідними мостами порталного типу;
- зменшення руйнівної дії на покриття міських вулиць, оскільки навантаги на привідний міст автобуса пропонованого проекту АПП-D103 менші на 10-20 % у діапазоні від мас споряджених автобусів до їх повних мас;
- зменшення руйнівної дії на покриття міських вулиць, оскільки невідресорені маси привідних мостів з незалежною підвіскою одинарних коліс менші на 45-51 % у порівнянні з привідними мостами порталного типу.

Крім того, такі автобуси можуть бути обладнані дизельними двигунами, потужність яких, за умови збереження однакової питомої потужності на рівні 11,8 кВт/т, може бути меншою на 5-10 %, що теж сприятиме зменшенню токсичних викидів у навколишнє середовище.

Варто також зауважити, що перспективні міські автобуси, пасажировмістимість яких адекватна вмістимості сучасних міських автобусів великого класу довжиною 12,0 м (100-105 чол.), за рахунок меншої на 1,5-1,7 м довжини будуть маневренішими, менше сповільнюватимуть рух, особливо у зонах зупинок для посадки-висадки пасажирів, що теж сприятиме зменшенню викидів шкідливих речовин у навколишнє середовище, причому не тільки самими автобусами, але й іншими автотранспортними засобами, які будуть рухатися за ними.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Бевз О. В., Матвієнко О. О. Вплив на навколишнє середовище автобусів БА3-22154 під час експлуатації на різних видах палива. *Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин*. 2015. Вип. 45, ч. II. С. 174-180.
2. Газобалонний автобус. Покращення екологічних показників міського автобуса встановленням газового двигуна. URL: https://www.khadi.kharkov.ua/fileadmin/P_vcheniy_secretar/GAZOBALONNYY_AVTOBUS.pdf (дата звернення: 27.04.2020).
3. Гуренкова О. В. Можливі шляхи вирішення екологічних проблем міського транспорту. *Вісник східноукраїнського національного університету ім. Володимира Даля*. 2018. № 1 (242). С. 45-49.
4. Мельничук С. В., Рафальський О. І., Чуйко С. П. Шляхи покращення екологічності автобусів в умовах їх експлуатації на пасажирських маршрутах міст. *Вісник ЖДТУ*. 2017. № 1 (79). С. 145-152.
5. Горбунов А. П., Мазанов В. Г., Мазін С. П., Мазін О. С. Теоретичні дослідження паливної економічності на пасажирському маршрутному транспорті і перспективи покращення її показників. *Вісник Нац. техн. ун-ту "ХПІ" : зб. наук. пр. Темат. вип. : Нові рішення в сучасних технологіях*. Харків : НТУ "ХПІ". 2012. № 50 (956). С. 22-28.
6. Кривошапов С. І. Статистичний метод нормування витрати палива на автомобільному транспорті. *Вісник Донецької академії автомобільного транспорту*. 2014. № 3. С. 31-37.
7. Войтків С. В. Розрахунок параметрів мас автобусів на стадії ескізного проектування. *"Автобусобудування та пасажирські перевезення в Україні"* : Третя всеукраїнська наук.-практ. конф. : тези доповідей (Львів, 22-23 лют. 2018 р.). Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2018. С. 49-51.
8. Кривошапов С. І. Статистичний метод нормування витрати палива на автомобільному транспорті. *Вісник Донецької академії автомобільного транспорту*. 2014. № 3. С. 31-37.

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