

А. П. ГОРБУНОВ, канд. техн. наук, АВВУ, Харків;
В. Г. МАЗАНОВ, канд.техн. наук, доц., АВВУ, Харків;
С. П. МАЗІН, канд.техн. наук, доц., АВВУ, Харків;
О. С. МАЗІН, інж., ХНАДУ, Харків

ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПАЛИВНОЇ ЕКОНОМІЧНОСТІ НА ПАСАЖИРСЬКОМУ МАРШРУТНОМУ ТРАНСПОРТІ І ПЕРСПЕКТИВИ ПОКРАЩЕННЯ ЇЇ ПОКАЗНИКІВ

Встановлено що витрати пального на маршруті, в залежності від кількості пасажирів можуть збільшуватись у 1,5 рази, а від кута нахилу дороги у 3,3 рази. Визначено що гібридні автобуси і електробуси можуть суттєво знизити витрати пального на міському маршрутному пасажирському транспорті, а також покращити екологічні показники. Іл.: 7. Бібліогр.:9. назв.

Ключові слова: паливна економічність, транспорт, гібридний автобус, електробус.

Введення

Проблема економії пального для всіх країнах світу має суттєве значення, так як запаси газу та нафти що річно суттєво знижуються.

Автомобільний транспорт є одним з основних користувачів нафтопродуктів. На перевезення автомобілями вантажів і пасажирів витрачається біля 30% світлих нафтопродуктів. Питома вага витрат на паливно-мастильні матеріали в собівартості однієї тони - кілометру складає 15 – 20 %. Відповідно до цього економні витрати пального при експлуатації мають велике народногосподарське значення [1].

Вважаючи на те що в міському маршрутному транспорті використовується велика кількість автобусів (тільки в м. Харкові використовується близько 448 автобусів [2]) питання паливної економічності є актуальними і свідчать про наявність проблеми.

Огляд останніх досліджень і літератури

На сьогоднішня можна виділити чотири основні наукові напрямки пов'язані з автомобілями задіяними у міських маршрутних перевезеннях. Перший напрямок стосується теорії міських пасажирських перевезень [2, 3]. Другий напрямок відноситься до технічної експлуатації автомобілів [1, 4, 5]. Третій напрямок розглядає питання будови і проектування автомобільної техніки [6, 7]. Четвертий сучасний напрямок стосується електричного міського маршрутного транспорту де в

© А. П. ГОРБУНОВ, В. Г. МАЗАНОВ, С. П. МАЗІН, О. С. МАЗІН, 2012
перспективі передбачається використання гібридних автобусів, а також електробусів [8, 9]. За відомостями [8] автомобіль з гібридною силовою установкою здатний виконати найжорсткіші екологічні вимоги, на 40 – 80 % знизити витрати моторного палива й на 50 – 90 % – викиди вуглекислого газу в

атмосферу. На рис. 1 представлено гібридний автобус ЛиАЗ – 5292, котрий, за даними виробника, дає економію пального 25 % - 30 %.

На рис. 2 представлено електробус СКЗ612 китайського виробництва.



Рис.1. Гібридний автобус ЛиАЗ - 5292



Рис.2. Електробус СКЗ612 має подвійний порт для прискореної підзарядки

Кожен з цих напрямків, у науковому плані є досить розвиненим, але не дає чіткої відповіді на питання щодо теоретичного визначення і аналізу витрат пального на маршрутному пасажирському транспорті в містах.

Мета статті (дослідження) – визначення перспективних напрямків розвитку маршрутного пасажирського транспорту в містах, таких що передбачають суттєве покращення показників паливної економічності і екологічної безпеки.

Виклад основного матеріалу

Відомо що середня потужність, яка повинна підводитись до ведучих коліс автомобіля на ділянці шляху ΔS_i визначається з формули [5] :

$$P_{ki} = \psi_i G_a v_i + k_b A_b v_i^3 + \delta m_a a_{xi} v_i \quad (1)$$

де ψ_i – коефіцієнт опору дороги на ділянці шляху ΔS_i ;

G_a – сила ваги автомобіля, кН;

v_i – швидкість руху автомобіля на ділянці шляху ΔS_i , м/с ;

k_b – коефіцієнт опору повітря ;

A_b – максимальна площа поперечного перетину автомобіля, м² ;

δ – коефіцієнт що враховує маси котрі обертаються;

m_a – маса автомобіля при номінальному навантаженні, т;

a_{xi} – максимально можливе прискорення автомобіля при русі в заданих дорожніх умовах, м/с².

Коефіцієнт що враховує маси котрі обертаються визначається з формули

$$\delta = 1 + \sigma_1 + \sigma_2 \cdot U_{кп}^2$$

(2)

де $\sigma_1 = 0,03 \dots 0,05$; $\sigma_2 = 0,04 \dots 0,06$ (менші значення відносяться до більш важких автомобілів) ;

$U_{кп}$ - передаточне відношення коробки передач на ділянці шляху ΔS_i ;

Максимально можливе прискорення автомобіля при русі в заданих дорожніх умовах визначається з формули

$$a_x = \frac{g}{\delta} \cdot (D - \psi) \quad (3)$$

де D – динамічний фактор на ділянці шляху ΔS_i ;

g – прискорення вільного падіння, м/с^2 .

Вважаючи на те що міський пасажирський транспорт має не значні параметри швидкостей (18 – 20 км/Г [3]), до подальших теоретичних досліджень, нехтуючи силою опору повітря і силою що витрачається на прискорення автомобіля приймаємо

$$P_{ki} = \psi_i G_a v_i \quad (4)$$

Розхід палива (в літрах) при проїзді ділянці ΔS_i з урахуванням втрат потужності в трансмісії [5] визначається з формули

$$\Delta Q_i = 0,28 \cdot \frac{g_e P_{ki} \Delta S_i}{\rho \eta_T v_i}, \text{л} \quad (5)$$

де g_e – питомий розхід палива двигуном, $\text{кг/кВт} \cdot \text{год.}$;

ρ – щільність палива, кг/м^3 (при розрахунках можна приймати щільність бензину рівною 730 кг/м^3 , а дизельного палива – 860 кг/м^3);

η_T – коефіцієнт корисної дії трансмісії (в більшості випадків можна приймати 0,9) ;

Підставляючи в формулу (1.5) замість P_{ki} його значення з формули (1.4) маємо

$$\Delta Q_i = 0,28 \cdot \frac{g_e \cdot \psi_i \cdot G_a \cdot v_i \cdot \Delta S_i}{\rho \eta_T v_i}, \text{л} \quad (6)$$

Скоротивши в формулі (1.6) величину v_i маємо наступну формулу визначення розходу палива (в літрах) при проїзді ділянці ΔS_i

$$\Delta Q_i = 0,28 \cdot \frac{g_e \cdot \psi_i \cdot G_a \cdot \Delta S_i}{\rho \cdot \eta_T}, \text{л} \quad (7)$$

Коефіцієнт опору дороги на ділянці шляху ΔS_i визначається з формули

$$\psi_i = \sin \alpha + \cos \alpha \cdot f ; \quad (8)$$

де f – коефіцієнт опору коченню (для асфальту можна прийняти – 0,016).

Сила ваги автомобіля, кН ;

$$G_a = m_a \cdot g, \text{кН}. \quad (9)$$

Розхід палива при проїзді всього маршруту визначається з формули [5]

$$Q = \sum_{i=1}^n \Delta Q_i \quad (10)$$

де n – число ділянок, на які розділений весь маршрут.

Для прикладу візьмемо маршрут розрахункову схему котрого приведено на рис. 3.

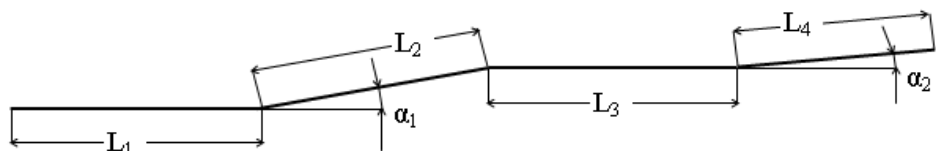


Рис.3. Розрахункова схема маршруту

До розрахунків на приклад приймаємо : автобус малого класу БАЗ – 212 ;
 $L_1 = 1200$ м; $L_2 = 300$ м; $L_3 = 1600$ м; $L_4 = 800$ м; $\alpha_1 = 100$; $\alpha_2 = 50$; $f = 0,016$.

Для теоретичних досліджень приймаємо значення питомого розходу пального двигуном, як величину постійну – на приклад для дизельного двигуна $0,25$ кг /кВт · год.

Згідно з формулами (7 – 10) проведемо розрахунки та занесемо отримані результати в табл. 1.

$$G_a = m_a \cdot g = 7,25 \cdot 9,8 = 71,05 \text{ кН} \quad (11)$$

$$\Delta Q_3 = \Delta Q_1 \frac{L_3}{L_1} \quad (12)$$

Сумарна витрата пального на маршруті складе

$$Q = \sum_{i=1}^n \Delta Q_i = 1,18 \text{ л.} \quad (13)$$

Таблиця 1 - Результати розрахунків

	ΔQ_1	ΔQ_2	ΔQ_3	ΔQ_4	α_1	α_2	Ψ
L_1	0,123373643	-	-	-	0	0	0,016
L_2	-	0,364951	-	-	10	0	0,18931821
L_3	-	-	0,164498	-	0	0	-
L_4	-	-	-	0,52974	0	5	0,103050847

Середня витрата пального на маршруті на 1,0 км буде дорівнювати

$$Q_c = Q : (L_1 + L_2 + L_3 + L_4) = 0,30 \text{ л/км, тобто } 0,30 \cdot 100 = 30 \text{ л/100 км.}$$

На одного пасажера, при повному завантаженні автобуса, витрата пального на маршруті складе

$$Q_{\text{пас } 37} = Q : n_{\text{пас max}} = 1,18 : 37 = 0,031 \text{ л.} \quad (14)$$

Вартість на пальне на одного пасажера приблизно складе

$$V_{\text{п}} = Q_{\text{пас}} \cdot V_{\text{пал}} = 0,031 \cdot 10 = 0,31 \text{ грн.} \quad (15)$$

де $V_{\text{пал}}$ – вартість одного літру пального, грн.

Для автобуса БАЗ – 212 споряджена маса складає 4,66 т, повна маса – 7,25т, максимальна кількість пасажирів $n_{\text{пас}} = 37$. Прийняту для даного автобуса масу пасажера визначаємо з формули $n_{\text{пас}} = (m_{\text{пов}} - m_{\text{спор}}) : n_{\text{пас max}} = (7,25 - 4,66) : 37 = 0,07 \text{ т (70 кг)}$

Сила ваги пасажера визначається з формули

$$G_{\text{пас}} = m_{\text{пас}} \cdot g = 0,07 \cdot 9,8 = 0,686 \text{ кН} \quad (16)$$

Витрата пального на маршруті (в літрах) при проїзді ділянки ΔS_i в залежності від завантаження автобуса визначається по формулі

$$\Delta Q_i = 0,28 \cdot \frac{g_e \cdot \psi_i \cdot (G_{\text{спор}} + n_{\text{пас}} \cdot G_{\text{пас}}) \cdot \Delta S_i}{\rho \cdot \eta_T}, \text{ л} \quad (17)$$

де $G_{\text{спор}}$ – сила ваги спорядженого автобуса, кН;

$$G_{\text{спор}} = m_{\text{спор}} \cdot g = 4,66 \cdot 9,8 = 45,67 \text{ кН}$$

Користуючись вище наведеними розрахунками будемо графік витрат пального автобусом на ділянці L_1 в залежності від кількості пасажирів (рис. 4).

Підставляючи в формулу (17) замість коефіцієнту опору дороги ψ

формулу його визначення (18) отримуємо формулу витрат пального на маршруті (в літрах) при проїзді ділянки ΔS_i в залежності від кута нахилу дороги.

$$\Delta Q_{i\alpha} = 0,28 \cdot \frac{g_e \cdot (\sin \alpha + f \cdot \cos \alpha) \cdot (G_{\text{споп}} + n_{\text{нас}} \cdot G_{\text{нас}}) \cdot \Delta S_i}{\rho \cdot \eta_T}, \text{л} \quad (18)$$

Аналіз витрат пального в залежності від кута нахилу дороги від $\alpha = 0^0$ до $\alpha = 20^0$ проводимо, наприклад, відносно ділянці L_1 , при завантаженні автобуса 20 пасажирями. Розрахунки зведемо в табл. 2.

Користуючись вище наведеними розрахунками будемо графік витрат пального автобусом на ділянці L_1 в залежності від кута нахилу дороги при перевезенні 20 пасажирів (рис. 5).

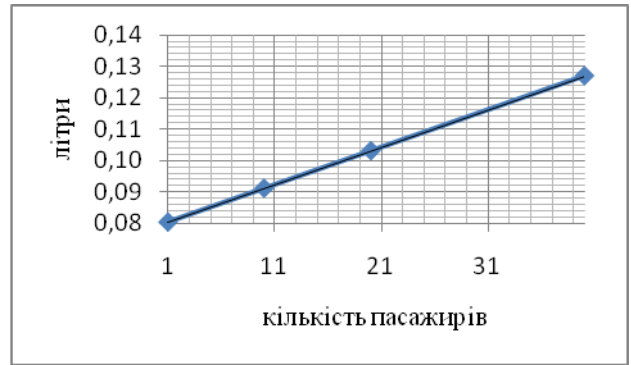


Рис. 4. Витрати пального на ділянці L_1 в залежності від кількості пасажирів

Таблиця 2 - Аналіз витрат пального в залежності від кута нахилу дороги

	L_1	α
ΔQ_{1-20-0}	0,1031	0
ΔQ_{1-20-5}	0,6642	5
$\Delta Q_{1-20-10}$	1,2202	10
$\Delta Q_{1-20-15}$	1,7669	15
$\Delta Q_{1-20-20}$	2,3002	20

Далі проаналізуємо вплив конструктивних показників транспортних засобів (місткість пасажирів, маса машини, тип двигуна) на витрати пального на маршрутному пасажирському транспорті. До аналізу беремо на приклад автобус Ікарус – 280 .

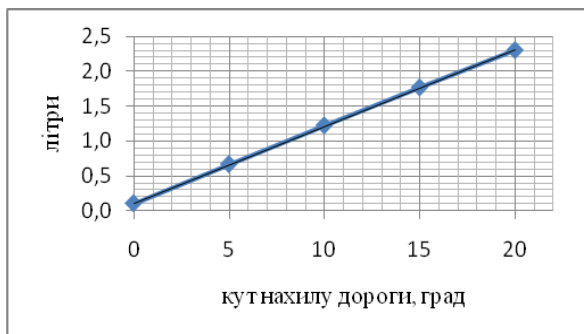


Рис. 5. Витрати пального на ділянці L_1 в залежності від кута нахилу дороги при перевезенні 20 пасажирів

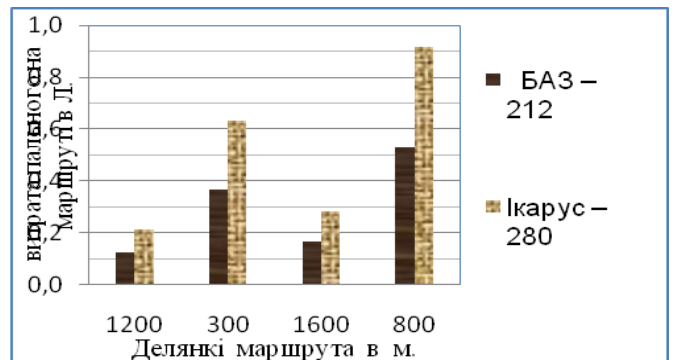


Рис. 6. Витрати пального на ділянках L_1 - L_4 для автобуса Ікарус – 280 та автобуса БАЗ – 212

Сумарна витрата пального на маршруті складе

$$Q = \sum_{i=1}^n \Delta Q_i = 0,213 + 0,631 + 0,285 + 0,916 = 2,045 \text{ л} \quad (13)$$

Середня витрата пального на маршруті на 1,0 км буде дорівнювати

$$Q_c = Q : (L_1 + L_2 + L_3 + L_4) = 2,045 : (1,2 + 0,3 + 1,6 + 0,8) = 0,525 \text{ л/км,}$$

тобто $0,525 \cdot 100 = 52,5 \text{ л/100 км.}$

На одного пасажера, при повному завантаженні автобуса, витрата пального на маршруті складе

$$Q_{\text{пас } 37} = Q : n_{\text{пас max}} = 2,045 : 162 = 0,01262 \text{ л.} \quad (14)$$

Вартість на пальне на одного пасажера приблизно складе

$$V_{\text{п}} = Q_{\text{пас}} \cdot V_{\text{пал}} = 0,01262 \cdot 10 = 0,1126 \text{ гр.} \quad (15)$$

Порівняна характеристика сумарної та середньої витрати пального на маршруті для двох типів автобусів показана на рис. 7.

Таким чином, при використанні автобуса великої місткості пасажирів вартість пального на одного пасажера на маршруті може зменшитись у $0,31 : 0,1126 = 2,75$ раз.

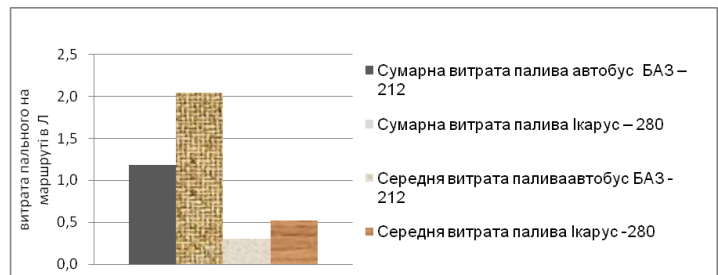


Рис. 7 Порівняна характеристика сумарної та середньої витрати пального на маршруті для двох типів автобусів

Висновки

Витрати пального на маршруті, в залежності від кількості пасажирів можуть збільшуватись у 1,5 рази. Витрати пального в залежності від кута нахилу дороги на маршруті можуть збільшуватись у 3,3 рази. Гібридні автобуси і електробуси можуть суттєво знизити витрати пального на міському маршрутному пасажирському транспорті, а також покращити екологічні показники. Гібридні автобуси і електробуси вже існують, а теоретичні основи визначення технічних і економічних показників маршрутів міського пасажирського транспорту відсутні. Ділянки маршрутів з великими кутами нахилу дороги потребують окремих експериментальних досліджень, метою котрих повинно бути визначення сумарного коефіцієнта опору дороги. Запропонована методика дає змогу виконувати теоретичні дослідження котрі спрямовано на економію пального на міському маршрутному пасажирському транспорті. Подальші дослідження доцільно спрямувати на розробку математичної моделі паливної економічності на міському маршрутному пасажирському транспорті.

Список літератури: 1. Говорущенко, Н. Я. Техническая эксплуатация автомобилей. [Текст] : учебник. / Н. Я. Говорущенко. – Харьков : Вища школа. Изд-во при Харьк. ун-те, 1984. – 312 с. 2. Горбачев, П. Ф. Сучасні наукові підходи до організації роботи маршрутного пасажирського транспорту в містах. [Текст] : монографія. / П. Ф. Горбачев. Харків : Изд-во ХНАДУ, 2009. – 196 с. 3. Ефремов, И. С. Теория городских пассажирских перевозок. [Текст] : учебное пособие для вузов. / И.С. Ефремов, В.М. Кобозев, В.А. Юдин. М. Высш. школа, 1980. – 535 с., ил. 4. Безбородов, Г. Б. Экономия топлива при вождении автомобиля. [Текст] : книга / Г.Б. Безбородов, Н. М. Маяк, А.А. Чалий. К. : Техніка, 1986. – 112 с., ил. – Библиогр. : с. 109 – 110. 5. Гришкевич, А. И. Автомобили: теория. [Текст] : учебник для вузов / А. И. Гришкевич. Мн. : Выш. шк., 1986. – 208 с. : ил. 6. Вишняков, Н. Н. Автомобиль: Основы конструкции. [Текст] : учебник для вузов по специальности «Автомобили и автомобильное хозяйство» – 2-е изд., перераб. и доп. / Н.Н. Вишняков, В. К. Вахламов, А. Н. Нарбут, и др. М.: Машиностроение, 1986. – 304 с.: ил. 7. Гольд, Б. В. Конструирование и расчет автомобиля. [Текст] : ученик изд. 2-е, переработанное и дополненное. / Б.В. Гольд. М. : – 1962. 8.

Бажинов, О. В. Гібридні автомобілі. [Текст]: монографія. / *О.В. Бажинов, О.П. Смирнов, С. А. Серіков, А. В. Гнатов, А. В. Колесніков.* Харків, ХНАДУ, 2008. – 327с. 9. *Соснин, Д. А.* Новейшие автомобильные электронные системы. [Текст]: учебное пособие для специалистов по ремонту автомобилей, студентов и преподавателей вузов и колледжей. / *Д. А. Соснин, В. Ф. Яковлев.* М.: СОЛОН – Пресс, 2005. – 240 с.: ил. – (Серия «Библиотека студента»).

УДК 656.1/5, УДК 629. 113. 004

Теоретические исследования топливной экономичности на пассажирском маршрутном транспорте и перспективы улучшения ее показателей./ Горбунов А.П., Мазанов В.Г., Мазин С.П., Мазин А. С.// Вестник НТУ «ХПИ». Серия «Новые решения в современных технологиях». – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2012. - №50(956). С.22-28.

Установлено, что расход топлива на маршруте, в зависимости от количества пассажиров может увеличиваться в 1,5 раза, а от угла наклона дороги в 3,3 раза. Определено, что гибридные автобусы и электробусы могут существенно снизить расход топлива на городском маршрутном пассажирском транспорте, а также улучшить экологические показатели. Из.: 7. Библиогр.: 9 назв.

Ключевые слова: топливная экономичность, транспорт, гибридный автобус, электробус.

UDK 656.1/5, UDK 629. 113. 004

Theoretical studies of fuel economy in passenger bus and the prospects for enhancing its performance/ A. Gorbunov, V.Mazanov, S.Mazin, A.Mazin // Bulletin of NTU “KhPI”. Subject issue: New decisions of modern technologies. – Kharkov: NTU “KhPI”. – 2012. - № 50(956). P.22-28.

Found that the fuel consumption on the route, depending on the number of passengers can be increased by 1.5 times, and the angle of inclination of the road at 3.3 times. Determined that hybrid buses and elektrobussy can significantly reduce fuel consumption by urban passenger transport route, and improve environmental performance. Im.:7 : Bibliogr.: 9.

Keywords: fuel economy, transport, hybrid bus, elektrobussy.

Надійшла до редакції 10.09.2012