

ВИБІР ОПТИМАЛЬНИХ ТИПОРОЗМІРІВ МІСЬКИХ АВТОБУСІВ ЗА ЕКОНОМІЧНИМИ КРИТЕРІЯМИ

ТОВ «Науково-технічний центр «АВТОПОЛІПРОМ»

Анотація

Розглянуті критерії вибору оптимальних типорозмірів міських автобусів за номінальною вмістимістю. Запропоновані коефіцієнти економічної ефективності автобусів за питомою витратою палива на пасажирів у залежності від обсягів пасажиропотоків на маршрутах. Визначені умови доцільності експлуатації міських автобусів великого класу номінальною вмістимістю 80-85 і 100-105 чол.

Ключові слова: економічний критерій, коефіцієнт економічної ефективності, міський автобус, обсяг пасажиропотоку, витрата пального.

Abstract

The criteria for choosing the optimal sizes of city buses by nominal capacity are considered. The proposed coefficients of economic efficiency of buses by specific fuel consumption per passenger, depending on the volume of passenger traffic on routes. The conditions of expediency of operation of city buses of a large class with a nominal capacity of 80-85 and 100-105 people are defined.

Keywords: economic criterion, coefficient of economic efficiency, city bus, volume of passenger traffic, fuel consumption.

Вступ

Ефективність експлуатації міських автобусів на маршрутах, які характеризуються, щонайменше, різною протяжністю та інтенсивністю пасажиропотоків, на сучасному етапі розвитку суспільства повинна оцінюватись критеріями економічності, екологічності, безпечності та якості перевезень пасажирів тощо. Критерії усіх цих груп взаємопов'язані, отже мають відповідний вплив на економічну ефективність перевезень пасажирів міськими автобусами, яка, у значній мірі, залежить від оптимального вибору типорозмірів автобусів за номінальною пасажировмістимістю. Проте, на протязі усіх років існування незалежної України, основним критерієм вибору автобуса для фірм-перевідників пасажирів являлась лише мінімально можлива вартість автобусів, причому, без врахування їх функціонального призначення. Саме тому, за повної бездіяльності відповідних державних органів або, радше, за їх сприяння, міські пасажирські перевезення ще й до нині здійснюються, здебільшого, автобусами, які не належать до міських (клас I відповідно до Правил СЕК ООН № 107 [1]) за особливостями їх конструкцій. У першу чергу, такі автобуси не відповідають вимогам до входів-виходів через наявність сходинок та до рівня (висоти) підлоги у їх пасажирських салонах.

Метою роботи є розроблення оцінювальних параметрів для вибору типорозмірів міських автобусів за номінальною пасажировмістимістю з умов забезпечення їх оптимальної експлуатаційної ефективності.

Результати дослідження

На нинішній час різними авторами запропоновані методики визначення потреб у міських автобусах для перевезень пасажирів на основі різних критеріїв, які проаналізовані у роботі [2]. Основними критеріями за цими методиками являються питомий обсяг пасажиропотоків та номінальна вмістимість автобусів. Проте, якщо стосовно обсягів пасажиропотоків на конкретних маршрутах усе зрозуміло, то щодо вибору автобусів за номінальною пасажировмістимістю виникає ряд питань. Перш за все викликає великий сумнів сучасний підхід до закупівель міських автобусів великого класу за габаритною довжиною (понад 10,0 м до 12,0 м), хоча мова йде лише про автобуси з довжиною біля 12,0 м і вмістимістю 100-106 чол. Реальна експлуатація таких автобусів у м. Львові показує, що вони суттєво сповільнюють рух, особливо по односмугових та вузьких вулицях, а

коефіцієнт їх наповнення у періоди між пікових пасажиропотоків рівний 0,35-0,4. Отже, з точки зору витрат палива, шкідливих викидів у навколишнє середовище, суттєвого зменшення середньої швидкості руху автотранспортних засобів тощо доцільність їх придбання та експлуатації, принаймні, на маршрутах, прокладених, здебільшого, по вузьких односмугових вулицях, сумнівна. Загалом, потреба у міських автобусах для обслуговування конкретного маршруту визначається з двох умов без урахування коефіцієнту виходу автобусів на маршрут:

- з максимального питомого пасажиропотоку у години пікових обсягів перевезень пасажирів;
- із заданих інтервалів руху автобусів у години пікових та середньоденних, тобто, у години між пікових обсягів перевезень пасажирів.

Необхідна кількість міських автобусів для одночасного перебування на маршруті і перевезення пікового обсягу пасажирів визначається за виразом [2]

$$A_q = \frac{Q_{\max}}{N_n}, \quad (1)$$

де Q_{\max} – максимальний (піковий) обсяг пасажирів на маршруті, чол./год.;

N_n – номінальна пасажировмістимість автобуса, чол.

Необхідна кількість міських автобусів для одночасного перебування на маршруті для забезпечення заданого інтервалу руху рівна

$$A_t = \frac{2L_m}{V_c \times t_i}, \quad (2)$$

де L_m – протяжність маршруту в одному напрямку, км;

V_c – середня експлуатаційна швидкість руху автобуса за маршрутом, км/год.; за даними досліджень $V_c = 15,0-25,0$ км/год. [3, 4];

t_i – заданий інтервал руху автобусів, год.

На основі виразу (1) можна записати формулу для визначення коефіцієнта наповнення автобусів при пасажиропотоках, менших ніж пікові, за умови перебування на маршруті необхідної кількості автобусів для перевезення пікового обсягу пасажирів

$$k_n = \frac{Q_c}{A_q \times N_n}, \quad (3)$$

де Q_c – середньоденний обсяг пасажирів на маршруті у між пікові періоди, чол./год.

У деяких роботах, наприклад [3], для визначення потреби в автобусах різної номінальної вмістимості, необхідної для перевезень однакової кількості пасажирів, не обґрунтовано застосовують однаковий коефіцієнт їх наповнення. Але при застосуванні для перевезень пасажирів на визначеному маршруті автобусів великого класу у періоди між пікових пасажиропотоків коефіцієнт наповнення автобусів з іншою номінальною вмістимістю інший і визначається за виразом

$$k_{nI} = \frac{k_{nB} \times N_{nB}}{N_{nI}}, \quad (4)$$

де k_{nB} – коефіцієнт наповнення автобусів великого класу на маршруті у періоди між пікових пасажиропотоків, чол./год.;

N_{nB} – номінальна пасажировмістимість автобуса великого класу, чол.;

N_{nI} – номінальна пасажировмістимість автобуса іншого класу або іншої вмістимості, чол.

Адже, наприклад, при $k_{nB} = 0,5$ наповненість автобуса великого класу складатиме 50 чол., тобто, при застосуванні автобуса з номінальною вмістимістю 50 чол. він буде повністю наповнений. Отже

$$A_{cI} = \frac{Q_c}{k_{nB} \times N_{nB}}, \quad (5)$$

У табл. 1 наведені результати розрахунків потреби в автобусах різної номінальної вмістимості для перевезень пасажирів на маршруті довжиною 20 км в одному напрямку при експлуатаційній швидкості руху 20 км/год. і коефіцієнтах наповнення автобуса великого класу номінальною вмістимістю $N_{nB} = 100$ чол. $k_{nB} = 1,0$ у періоди пікових пасажиропотоків $Q_{\max} = 2400$ чол./год. та $k_{nB} = 0,5$ у періоди між пікових середньоденних пасажиропотоків $Q_c = 1000$ чол./год.

Таблиця 1 Потреби в міських автобусах різної номінальної пасажировмістимості для заданих умов

Найменування параметра	Номінальна пасажировмістимість міського автобуса, чол.			
	40	60	80	100
Обсяг максимального пасажиропотоку, Q_{\max} , чол./год.	2400			
Необхідна кількість автобусів, A_q , од.	60	40	30	24
Коефіцієнт наповнення автобусів, k_n	1,0			
Обсяг середньоденного пасажиропотоку у між пікові періоди, Q_c , чол./год.	1000			
Коефіцієнт наповнення автобусів, $k_{нВ}$	-			0,5
Наповнення автобусів, $N_{нІ}$, чол.	40	50		
Необхідна кількість автобусів, A_c , од.	25	20		
Коефіцієнт наповнення автобусів, $k_{нІ}$	1,0	0,833	0,625	0,5

З урахуванням рекомендованих інтервалів руху міських автобусів у періоди пікових обсягів пасажиропотоків $t_i=5-7,5$ хв. і допустимих інтервалів у періоди середніх обсягів пасажиропотоків $t_i \leq 15$ хв. для прийнятих вихідних умов необхідна кількість автобусів на маршруті складає $A_{\max}=24-16$ од. і $A_c=8$ од. Отже, у періоди пікових обсягів пасажиропотоків для перевезення прийнятого для розрахунків $Q_{\max}=2400$ чол./год. необхідно 24 од. автобусів великого класу вмістимістю 100 чол., а у періоди між пікових обсягів пасажиропотоків – не менше 8 од. За результатами проведених розрахунків побудований графік залежностей потреб в міських автобусах різної номінальної вмістимості у періоди пікових та середньоденних обсягів пасажиропотоків при прийнятих вихідних умовах.

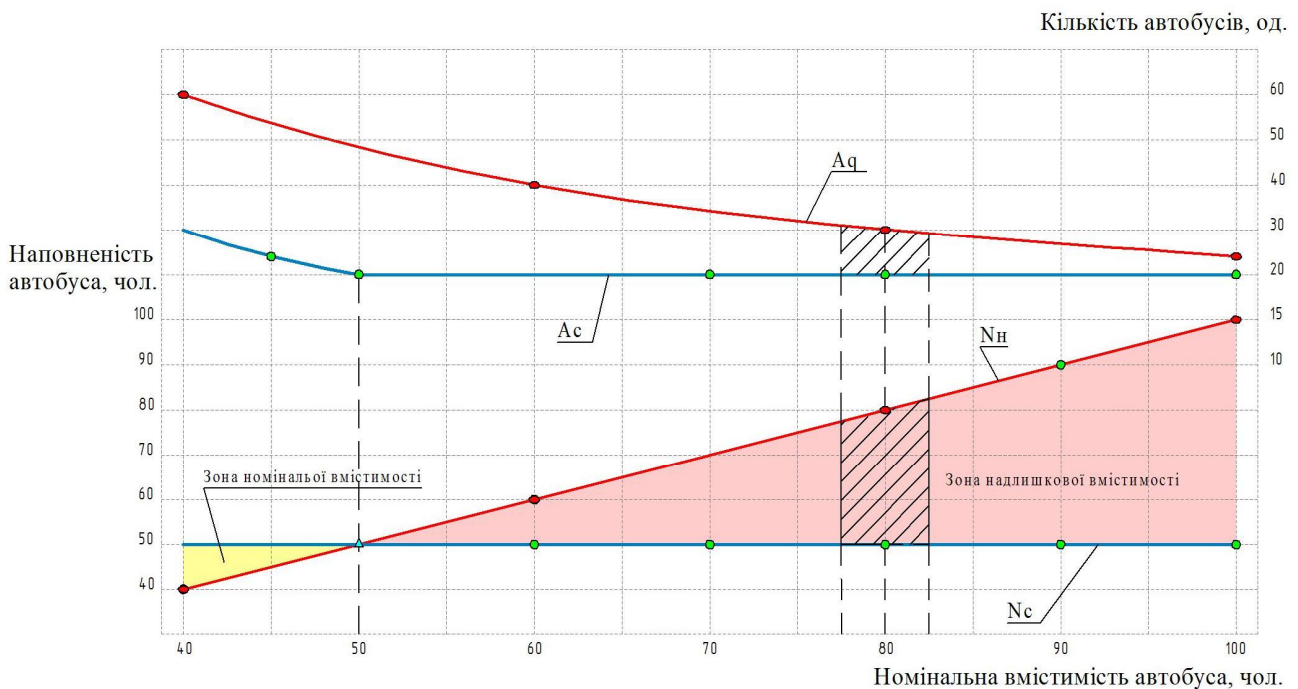


Рис. 1. Залежність потреб в міських автобусах різної номінальної вмістимості у періоди пікових та середньоденних обсягів пасажиропотоків при заданих вихідних параметрах

Аналіз наведеного графіка показує, що експлуатація міських автобусів великого класу довжиною 12,0 м з номінальною пасажировмістимістю $N_{нВ}=100$ чол. у періоди між пікових пасажиропотоків являється не ефективною. Адже, з урахуванням коефіцієнта нерівномірності обсягів пасажиропотоків k_n , який за даними [5] змінюється у діапазоні 0,1-1,0, а на протязі сумарних 7 год. ранкових, обідніх та вечірніх періодів перебування на маршруті рівний $k_n=0,1-0,3$, питомі обсяги пасажиропотоків

становитимуть лише 240-720 пас./год. При необхідній мінімальній кількості автобусів на маршруті з умови забезпечення допустимого інтервалу руху 15 хв. – 8 од. – коефіцієнт наповненості автобусів великого класу складатиме 0,3-0,9. Але в реальних умовах експлуатації міських автобусів великого класу на маршрутах середній коефіцієнт їх наповненості за даними різних досліджень становить 0,3-0,35 [6] і 0,3-0,4 [7]. З наведеного графіка виходить, що для даного розрахункового маршруту оптимальним являється застосування автобусів номінальною вмістимістю 50 чол., оскільки середній коефіцієнт їх наповнення, розрахований за (4), становить 0,6-0,8. Проте, для перевезень заданого пікового обсягу пасажиропотоку необхідно аж 48 од. таких автобусів, тобто у 2,4 рази більше ніж автобусів вмістимістю 100 чол. Тому, доцільним являється застосування автобусів з номінальною пасажировмістимістю 80 чол., яких для перевезень пасажирів у пікові періоди обсягів пасажиропотоків необхідно 30 од., що лише на 6 більше ніж автобусів вмістимістю 100 чол., а у періоди між піковими обсягів пасажиропотоків достатньо 8-20 од. у залежності від обсягів пасажиропотоків. До слова, у роботі [8] наведені рекомендації щодо вибору номінальної вмістимості міських автобусів у залежності від обсягів пасажиропотоків за якими для $Q_{\max} = 1800-2600$ чол./год. рекомендована номінальна вмістимість автобусів складає 80 чол.

Економічність експлуатації автобусів вмістимістю 80 чол. при перевезеннях однакової кількості пасажирів покращується за рахунок зменшення нормативної витрати пального, яка визначається за пропонуваним виразом на основі [9]

$$Q = q_a + 0,00035M_{cn} + 0,0001M_n, \quad (6)$$

де q_a – базова нормативна витрата пального у залежності від параметрів трансмісії та швидкості руху, л/100 км;

M_{cn} – споряджена маса автобуса, кг;

M_n – повна маса автобуса, кг.

Для міського автобуса великого класу моделі МАЗ-203 довжиною 12,0 м, повною масою 18000 кг і номінальною вмістимістю 100 чол. нормативна витрата пального становить $Q = 32,2$ л/100 км. З виразу (6) отримуємо $q_a = 26,6$ л/100 км, отже

$$Q_{ni} = 26,6 + 0,00035M_{cni} + 0,0001M_{ni}, \quad (7)$$

Нормативна витрата палива автобусом з тотожною силовою установкою вмістимістю 80 чол. з $M_{cn} = 9400$ кг і $M_n = 14840$ кг становитиме 31,4 л/100 км, тобто, економія пального щонайменше $\Delta q_n = 0,7-0,8$ л/100 км, оскільки їх споряджена маса менша від спорядженої маси автобусів вмістимістю 100 чол. на 1500-1800 кг. При експлуатації на маршруті 10-15 од. автобусів економія витрат на придбання пального при щоденному пробігу 160 км і вартості пального 20 грн./л., розрахована за виразом

$$\Delta C_n = \Delta q_n \frac{L_m \times n_m}{100} \times c_n \times A_c, \quad (8)$$

де n_m – кількість рейсів одного автобуса за маршрутом в одному напрямку на протязі робочого дня, од.;

c_n – вартість дизельного пального, грн./л.

складає 224-384 грн./день, 6720-11520 грн./міс. та 80640-138240 тис./рік. Крім того, вартість автобуса вмістимістю 80 чол. менша орієнтовно на 20-25 тис. дол. США відносно вартості, наприклад, автобусів МАЗ-203 вмістимістю 100 пас., яка складає 140-150 тис. дол. США, тобто, замість 10 автобусів вмістимістю 100 чол. фірма-перевізник зможе придбати 12 автобусів вмістимістю 80 чол., що з огляду на міркування, наведені вище, являється доволі вагомим аргументом.

Для проведення експрес-оцінки економічної ефективності експлуатації міських автобусів різної пасажировмістимості на одному і тому ж маршруті за відносною витратою палива на 1 пасажирів пропонується вираз

$$k_{efi} = \frac{Q_i}{k_n \times N_n}. \quad (9)$$

Коефіцієнти економічної ефективності міських автобусів з різною номінальною вмістимістю у залежності від коефіцієнтів наповнення їх пасажирських салонів наведені у табл. 2 та на рис. 2.

Таблиця 2 Потреби в міських автобусах різної номінальної пасажиромістимості для заданих умов

Найменування параметра	Номінальна вмістимість автобуса, чол.		
	80	90	100
Середній обсяг пасажиропотоків, Q_c , чол./год.	400		
Кількість автобусів за умови забезпечення інтервалу руху у 15 хв., A_q , од.	8		
Середнє наповнення автобусів, чол.	50		
Коефіцієнт наповнення автобусів, k_H	0,625	0,555	0,5
Маса спорядженого автобуса, кг	9400	10000	11200
Маса автобуса з пасажирями, кг	12800	13400	14600
Нормативна витрата пального для перевезення пасажирів, л/100 км.	31,17	31,44	31,98
Коефіцієнт економічної ефективності автобусів, л/пас.·100 км	0,623	0,629	0,640
Повна маса автобуса з номінальною вмістимістю, кг	14840	16120	18000
Нормативна витрата пального при перевезенні пасажирів номінальної вмістимості, л/100 км.	31,374	31,712	32,201
Коефіцієнт економічної ефективності автобусів при номінальній вмістимості, л/пас.·100 км	0,392	0,352	0,322
Повна маса автобуса з наповненням 80 чол., кг	14840	16180	16640
Нормативна витрата пального при перевезеннях 80 пасажирів, л/100 км.	31,374	31,644	32,184
Коефіцієнт економічної ефективності автобусів при наповненості 80 чол., л/пас.·100 км	0,392	0,396	0,402

Коефіцієнт економічної ефективності, л/пас.·100 км

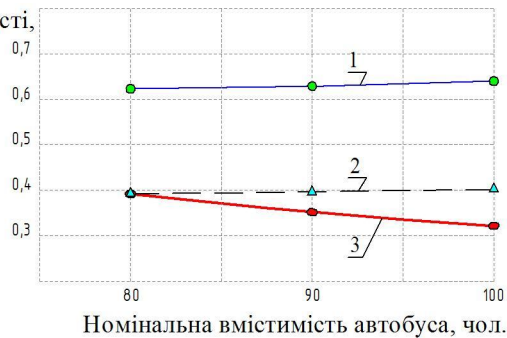


Рис. 2. Коефіцієнт економічної ефективності міських автобусах різної номінальної вмістимості у періоди пікових та середньоденних обсягів пасажиропотоків при заданих вихідних параметрах: 1 – при номінальній пасажиромістимості автобусів; 2 – при наповненості автобусів 80 чол.; 3 – при наповненості автобусів 50 чол.

Отже, коефіцієнт економічної ефективності міських автобусів з номінальною вмістимістю 80 чол. при експлуатації на маршрутах з максимальним пасажиропотоком 1800-2600 чол./год. за умови повного наповнення на 21,7 % гірший (0,392/0,322 л/пас.·100 км). Проте, при середній величині коефіцієнта наповнення пасажирського салону автобуса великого класу $k_{HB}=0,5$ і при середній наповненості 50 чол. для порівнюваних автобусів коефіцієнт економічної ефективності міських автобусів з номінальною вмістимістю 80 чол. вищий на 2,7 % (0,623/0,640 л/пас.·100 км). А при наповненості пасажирських салонів автобусів 80 чол. цей коефіцієнт теж кращий на 2,5 %.

З урахуванням різної тривалості періодів пікових та між пікових пасажиропотоків, які оцінюються коефіцієнтом обсягів пасажиропотоків

$$k_t = \frac{T_i}{T_0}, \quad (10)$$

де T_i – кількість годин з максимальними обсягами пасажиропотоків на маршруті, год.;

T_0 – загальна денна (добова) кількість годин перебування автобуса на маршруті, год.,

коефіцієнт економічної ефективності міських автобусів визначається за формулою

$$k_{ef_a} = k_{tq_{max}} \times k_{ef_{max}} + k_{tq_c} \times k_{ef_c}. \quad (11)$$

За умови денного перебування автобусів на маршруті на протязі 15 год. і максимальних обсягів пасажиропотоків на протязі 3 год. (по півтори години до і після завершення роботи на підприємствах) коефіцієнти економічної ефективності міських автобусів при перевезеннях пасажирів на одному і тому ж маршруті при $k_{tq_{max}}=0,25$ і $k_{tq_c}=0,75$ становитимуть $k_{ef_a}=0,577$ та $k_{ef_a}=0,576$ л/пас.·100 км для автобусів, відповідно, номінальною вмістимістю 80 чол. та 100 чол.

Висновки

Коефіцієнти економічної ефективності міських автобусів, яка у значній мірі залежить від їх номінальної вмістимості та обсягів пасажиропотоків на конкретних маршрутах, залежать і від їх конструктивних параметрів, у першу чергу від спорядженої маси та питомої потужності. За умови обладнання автобусів одними і тими ж силовими установками або двигунами тотожної потужності і однаковими автоматичними механізмами перемикання передач та коефіцієнта наповнення їх пасажирських салонів на рівні 0,5 для автобусів великого класу вмістимістю 100 чол. коефіцієнти економічної ефективності автобусів вмістимістю 80 чол. та 100 чол. близькі за величиною. При прийнятих для проведення розрахунків вони становлять біля $k_{ef\phi_a}=0,58$ л/пас.·100 км. Але за коефіцієнтів наповнення пасажирського салону міських автобусів великого класу вмістимістю 100 чол. на рівні $k_{нв}=0,3-0,4$ економічна доцільність застосування автобусів номінальною вмістимістю 80 чол. на маршрутах з максимальними обсягами пасажиропотоків у діапазоні 1800-2600 чол. очевидна. Тим паче, що вони менше забруднюють навколишнє середовище та сприяють збільшенню середньої експлуатаційної швидкості руху по міських вулицях і, завдяки меншій масі, менше руйнують їх покриття.

Загалом, на маршрутах з максимальними обсягами пасажиропотоків 1800-2600 чол./год. економічно доцільним являється застосування двох типорозмірів автобусів за номінальною пасажировмістимістю – 70-80 % з номінальною вмістимістю 75-80 чол. і 25-20 % з номінальною вмістимістю 100-105 чол.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Правила ЕЭК ООН № 107-03. Единообразные предписания, касающиеся официального утверждения двухэтажных пассажирских транспортных средств большой вместимости в отношении общей конструкции. [Чинні від 2011-10-18]. Вид. офіц. Київ : Держспоживстандарт України, 2011. 147 с.
2. 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.
3. Рудзінський В. В., Маяк М. М., Мельничук С. В., Рафальський О. І., Чуйко С. П. Обстеження пасажиропотоків на транспорті загального користування м. Житомир та оцінка основних техніко-експлуатаційних параметрів для вибору міських автобусів. *Вісник ЖДТУ*. Серія : Технічні науки. 2016. № 2. С. 6-12.
4. Маяк М. М., Мельничук С. В., Головня Р. М., Чуйко С. П. До питання визначення технічної швидкості міського маршрутного автобусу в залежності від умов його експлуатації. *Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті*. 2018. № 1 (10). С. 58-65.
5. Давідч Ю. О. Розробка розкладу руху транспортних засобів при організації пасажирських перевезень: навч. посіб. Харків: ХНАМГ. 2010. 345 с.
6. Гудков В. А., Миротин Л. Б., Вельможин А. В., Ширяев С. А. Пассажирские автомобильные перевозки. Под. ред. В. А. Гудкова. Москва : Горячая линия – Телеком. 2006. 448 с.
7. Цибулка Я. Качество пассажирских перевозок в городах : пер. з чеш. Москва : Транспорт. 1987. 239 с.
8. Peter White. Public Transport: Its Planning, Management and Operation. L. : Routledge. 2008. 240 p.
9. 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