

О.В. Бевз, доц., канд. техн. наук, С.О. Магопець, доц., канд. техн. наук,
В.В. Русских доц., канд. техн. наук

Кіровоградський національний технічний університет

Порівняльна характеристика екологічної безпеки і економічної ефективності експлуатації мікроавтобусів на різних видах палива

В статті представлена порівняльна оцінка експлуатації мікроавтобусів сімейства БАЗ за критеріями екологічної безпеки в міських умовах при роботі на бензині і газовому паливі.
мікроавтобус, паливо, екологія, нафтовий газ, економічна ефективність

За останні десятиліття людство остаточно переконалося, що першим винуватцем забруднення атмосферного повітря – одного з основних джерел життя на нашій Планеті, є дітище науково-технічного прогресу – автомобіль. Автомобіль, поглинаючи настільки необхідний для протікання життя кисень, разом з тим інтенсивно забруднює повітряне середовище токсичними компонентами, що наносить відчутну шкоду всьому живому і неживому. Внесок автотранспорту у забруднення атмосферного повітря в великих містах складає – 75...90 %. Найбільша частина цих витрат (до 65 %) пов'язано з процесами перевезення пасажирів мікроавтобусами і легковими автомобілями.

В даній ситуації поряд з удосконаленням конструкцій ДВЗ, технологій ТО і ПР, методів і засобів організації дорожнього руху, використання альтернативних більш екологічно чистих видів палива є одним з основних шляхів зниження негативного впливу автомобіля на екологію міста.

В якості основних альтернативних видів моторного палива широке застосування одержали зріджений нафтовий газ (пропан) (ЗНГ) і стислий природний газ (метан) (СПГ). Використання пропану-бутану на автомобілях в Україні зростає дуже високими темпами. Це зв'язано з багатьма перевагами ЗНГ, як моторного палива, перед бензином. Насамперед, це вартість: ціна на ЗНГ традиційно зберігається на рівні 50% від ціни на 95-й бензин і виробляється в Україні, на відміну від СПГ. Крім цього, ЗНГ володіє більше високим октановим числом і кращими екологічними й експлуатаційними властивостями. Що стосується встановлення на автомобілі в Україні метанових установок, то на сьогодні вони не дуже популярні через три фактори. По-перше, ціна метан повністю залежить від експорту з Росії й постійно зростає. По-друге, газове обладнання для СПГ дуже дороге, в основному через дефіцитні балони під метан, які повинні витримувати тиск понад 200 атмосфер. По-третє, балони істотно зменшують вантажопідйомність автомобіля, отже, якщо і варто встановлювати СПГ, то лише на вантажні автомобілі і мікроавтобуси.

Для того щоб відповісти на питання, наскільки ефективним є використання альтернативних видів палива в плані оздоровлення атмосфери міст, проведемо оцінку екологічної небезпеки мікроавтобуса БАЗ-2215, що здійснює пасажирські перевезення в умовах міста Кіровограда (середньодобовий пробіг становить близько 180 км), на бензині А-92, ЗНГ і СПГ.

Виберемо методику проведення оцінки. Так, для оцінки екологічної безпеки транспортних засобів використовують питомі показники токсичності відпрацьованих

газів (ВГ) - кількість викидів і-ої шкідливої речовини з ВГ в атмосферу. При проведенні випробувань автомобілів на бігових барабанах питомий показник виражається в одиницях маси і-ої шкідливої речовини (ШР) на одиницю пройденого шляху (г/км) або на одне випробування (г/вип), а при проведенні випробувань ДВЗ на моторному стенді - в одиницях маси і-ої ШР на одиницю виконаної транспортної роботи (г/кВт·г). Подібний підхід може привести до необ'єктивної оцінки, тому що тільки за масовими характеристиками кожної домішки неможливо скласти реальної картини екологічної небезпеки автомобіля. Це пов'язано насамперед з тим, що до складу ВГ входить безліч домішок, які мають різні кількісні й токсичні характеристики і відносяться до різних класів небезпеки.

Критерії екологічної небезпеки автомобіля, засновані на комплексній характеристиці екологічної небезпеки ВГ - категорії шкідливості автомобіля (КША), позбавлені цього недоліку, тому що КША характеризує одночасно кількість викидів всіх домішок, що входять до ВГ, а також їх клас небезпеки і токсичність, що розраховується за формулою, м³/с:

$$KША = \sum_{i=1}^n KНД_i = \sum_{i=1}^n \left(\frac{M_i}{ГПК_i} \right)^{\alpha_i}, \quad (1)$$

де $KНД_i$ - категорія небезпеки і-тої домішки, м³/с;

M_i - кількість викидів і-тої домішки, г/с;

$ГПК_i$ - максимально-разова гранично припустима концентрація і-ої домішки, г/м³;

α_i - безрозмірна константа, яка дозволяє співвіднести класи небезпеки і-ої речовини та діоксиду сірки (III клас небезпеки);

n - кількість шкідливих домішок у ВГ.

Критерій екологічної небезпеки автомобіля $K_{e.n.a}$ дозволяє судити про відповідність автомобіля стандартним вимогам екологічної безпеки:

$$K_{e.n.a} = \frac{KША}{KША_{евро}}, \quad (2)$$

де $KША$ - категорія шкідливості досліджуваного автомобіля, м³/с;

$KША_{евро}$ - категорія шкідливості автомобіля, що задовольняє самим жорстким діючим нормам на викиди (на сьогоднішній день це ЕВРО-4), м³/с.

Досліджуваний автомобіль і "автомобіль-еталон" належать до одного класу й випробовуються в рамках одного дослідного циклу, що дозволяє порівнювати їх за умови виконання ними однакової транспортної роботи. Однак $K_{e.n.a}$ не може виступати в якості критерію для оцінки впливу виду палива на екологічну небезпеку автомобіля. Для цього нами пропонується критерій екологічної пристосованості ДВЗ до альтернативних видів палива Π :

$$\Pi = \frac{KША_j}{KША_n}, \quad (3)$$

де $KША_j$ - категорія шкідливості досліджуваного автомобіля, що працює на j-му альтернативному виді палива, м³/с;

$KША_n$ - категорія шкідливості досліджуваного автомобіля, що працює на базовому паливі, м³/с.

Досліджуваний автомобіль на j-му альтернативному й базовому видах палива випробовується в рамках одного дослідного циклу (ЄВРО). З рівняння (3) бачимо, що якщо $\Pi < 1$, то при переведенні ДВЗ на j-ий альтернативний вид палива екологічна небезпека автомобіля знижується (ДВЗ екологічно пристосований до j-го

альтернативного виду палива) у порівнянні з базовим паливом. Якщо $T > 1$, то j -ий альтернативний вид палива, навпаки, збільшує екологічну небезпеку автомобіля (ДВЗ екологічно не пристосований до j -го альтернативного виду палива).

Критерій екологічної пристосованості ДВЗ до альтернативних видів палива (Π) може виступати в якості уточнюючого коефіцієнту при розрахунку рівня екологічної небезпеки автомобіля, переобладнаного для роботи на альтернативному виді палива:

$$K_{e.n.a}^j = \Pi \cdot K_{e.n.a}^o, \quad (4)$$

де $K_{e.n.a}^j$ - рівень екологічної небезпеки автомобіля, що працює на j -му альтернативному виді палива;

Π - рівень екологічної пристосованості ДВЗ до j -го альтернативного виду палива;

$K_{e.n.a}^o$ - рівень екологічної небезпеки автомобіля, що працює на базовому паливі.

На основі нормативів ЄВРО за рівняннями (1-4) нами визначені можливі рівні екологічної небезпеки автомобілів і екологічної пристосованості ДВЗ до альтернативних видів палива (таблиця 1).

Таблиця 1 - Значення рівня екологічної небезпеки автомобілів і пристосування ДВЗ до альтернативного палива

ЄВРО	Значення $K_{e.n.a}$	Рівень небезпеки транспортного засобу	Значення Π	Рівень пристосування ДВЗ
0	>30	надзвичайно шкідливий	>1,0	не придатний
I	10...30	високо шкідливий	0,35...1,0	мало придатний
II	3...10	помірно шкідливий	0,10...0,35	помірно придатний
III	1...3	мало шкідливий	0,03...0,10	високо придатний
IV	<1	не шкідливий	<0,03	досконало придатний

Проведемо оцінку екологічної небезпеки мікроавтобуса БАЗ-2215, що працює на бензині А-92 (базове паливо), ЗНГ і СПГ, за описаними вище критеріями. Значення розглянутих параметрів представлені в таблицях 2, 3.

Таблиця 2 - Комплексні характеристики екологічної небезпеки відпрацьованих газів мікроавтобуса БАЗ-2215 на бензині А-92, ЗНГ і СПГ

Вид палива	Категорія шкідливості речовин						Категорія шкідливості автомобіля КША	
	СО		СН		NO _x			
	м ³ /с	%	м ³ /с	%	м ³ /с	%	м ³ /с	%
А-92	13,0	1,73	5,5	0,73	733,1	97,54	751,6	100
ЗНГ	8,5	1,24	3,3	0,48	673,2	98,28	685,0	100
СПГ	5,3	1,21	4,7	1,07	427,7	97,72	437,7	100

Таблиця 3 – Оцінка мікроавтобуса БАЗ-2215 який працює на бензині А-92, ЗНГ і СПГ по критеріям екологічної небезпеки

Вид палива	Значення $K_{e.n.a}^j$	Рівень екологічної небезпеки АТЗ	Значення Π	Рівень екологічного пристосування ДВЗ до альтернативних видів палива	Значення $K_{e.n.a}^o$
А-92	25	високо небезпечні	1,0	-	25
ЗНГ	22	високо небезпечні	0,9	мало пристосований	25
СПГ	15	високо небезпечні	0,55	мало пристосований	25

Проаналізувавши комплексні характеристики екологічної небезпеки ВГ мікроавтобуса БАЗ-2215, що працює на бензині і ГМП (таблиця 2), можна із впевненістю стверджувати, що найнебезпечнішою домішкою є оксиди азоту (97,54...98,28% КША), масовий вміст яких у ВГ не настільки великий (18,2...24,3% M_2). Внески інших домішок у формування екологічної небезпеки автомобіля, що працює на різних видах палива, можна визнати малозначимими (менше 10% КША).

Таким чином, мікроавтобус БАЗ-2215 при роботі на одному з розглянутих видів палива відноситься до високо небезпечних джерел викидів ($K_{e.n.a}^j = 15...25$). Але переведення ДВЗ автомобіля БАЗ-2215 на стислий природний газ, до якого двигун екологічно мало пристосований ($T=0,55$), дозволяє знизити екологічну небезпеку розглянутого автомобіля в 1,8 рази; на зріджений нафтовий газ, до якого двигун також екологічно мало пристосований ($T=0,9$), - в 1,1 рази в порівнянні з базовим паливом - бензином А-92.

Якщо виходити з екологічних позицій використання ГМП цілком очевидне, то економічна доцільність переобладнання на газове паливо при сформованих умовах (відсутністю стимулювання використання альтернативних видів палива, законів і політичних програм) залишається головним питанням. Для того щоб відповісти на нього, проведемо оцінку економічної ефективності експлуатації мікроавтобуса БАЗ-2215, що працює на бензині і ГМП, з розрахунком показників порівняльної економічної ефективності, що включає розрахунок необхідних капітальних вкладень, економію експлуатаційних (поточних) витрат, строки окупності капітальних вкладень і річного економічного ефекту. При цьому необхідно врахувати вплив наступних факторів, які виникають при переобладнанні ДВЗ на ГМП: зниження собівартості моторного палива; зниження експлуатаційних витрат за рахунок збільшення моторесурса й міжремонтних пробігів двигуна, а також зниження витрат моторного мастила; зменшення забруднення навколишнього середовища.

Суми капітальних вкладень $K_{вкл}$ у переобладнання мікроавтобуса БАЗ-2215 для роботи на ГМП приведені в таблиці 4.

Таблиця 4 – Капітальні вкладення в переобладнання мікроавтобуса БАЗ-2215 для роботи на ГМП

Найменування показників	Вид палива	
	ЗНГ	СПГ
Вартість комплексу газового обладнання	2650	6600
Вартість монтажу і налагодження	350	400
Транспортні витрати	195	415
Всього, грн.	3195	7415

Економія поточних (експлуатаційних) витрат за рік при експлуатації мікроавтобуса БАЗ-2215 на ГМП визначається економією витрат на паливо (таблиця 5), зменшеної на розмір додаткових експлуатаційних витрат, пов'язаних з амортизацією, технічним обслуговуванням і поточним ремонтом газобалонного обладнання (таблиця 6).

Плата за припустимі викиди забруднюючих речовин в атмосферу від пересувних джерел визначається за формулою:

$$P_g = K_{e.c.p} \cdot K_{e.c.m} \cdot \sum_{j=1} (Q_j \cdot \gamma_j), \quad (5)$$

де P_g - плата за припустимі викиди забруднюючих речовин в атмосферу від пересувних джерел, грн.;

$K_{e.c.p}$ - коефіцієнт екологічної ситуації району;

$K_{e.c.m}$ - корегуючий коефіцієнт екологічної ситуації міста Кіровограда;

Q_j - кількість j -го виду палива, витраченого пересувним джерелом за звітний період, т;

γ_j - питома плата за припустимі викиди забруднюючих речовин, що утворюються при використанні 1 тони (1 тис. м³) j -го виду палива, грн./т. (грн./тис. м³).

Результати розрахунку річної плати за забруднення атмосферного повітря одним мікроавтобуса БАЗ-2215 наведені в таблиці 7.

Таблиця 5 – Витрати на паливо для одного мікроавтобуса БАЗ-2215 за рік

Найменування показників	Базова модель БАЗ-2215 бензин (А-92)	Газобалонна модель БАЗ-2215	
		ЗНГ	СПГ
Середньодобовий пробіг, км	180	180	180
Витрата палива, л/100 км (м ³ /100 км)			
літня норма	16	20	16
зимова норма	17,3	21,6	17,3
Річна витрата палива, л/100 км (м ³ /100 км)	10120	12643	10120
літня норма	5760	7200	5760
зимова норма	4360	5443	4360
Витрата бензину під час пуску в зимовий період, л	-	84	42
Ціна 1 л (м ³) палива	5,68	2,2	3,5
Витрати на паливо за рік, грн.	57481,6	28291,72	36670,56
Річна економія в порівнянні до бензину, грн.	-	29190,0	20811,0

Таблиця 6 – Допоміжні експлуатаційні витрати на рік для однієї газобалонної моделі мікроавтобуса БАЗ-2215

Найменування показників	Вид палива	
	ЗНГ	СПГ
Річний пробіг, км	61200	61200
Капітальні вкладення в переобладнання мікроавтобуса, грн.	3195,0	7415,0
Норма амортизації, % на 1000 км.	0,21	0,21
Річна сума амортизаційних відрахувань, грн.	671,0	1557,0
Витрати на ТО і ремонт газобалонного автомобіля, грн.	180,0	390,0
Додаткові експлуатаційні витрати за рік, грн.	851,0	1947,0

Річна сума економії поточних (експлуатаційних) витрат E складається з економії на паливі, економії на платі за забруднення атмосферного повітря за винятком додаткової суми експлуатаційних витрат, пов'язаних з амортизацією, технічним обслуговуванням і поточним ремонтом газобалонного встаткування (таблиця 8).

Строк окупності капітальних вкладень $T_{ок}$ в переустаткування автомобіля визначається за формулою:

$$T_{ок} = \frac{K_{вк}}{E} \quad (4)$$

Річний економічний ефект E_p від експлуатації одного мікроавтобуса БАЗ-2215 на газовому моторному паливі визначається за формулою:

$$E_p = E - E_n \cdot K_{вк} \quad (4)$$

де E_n - нормативний коефіцієнт економічної ефективності капітальних вкладень ($E_n=0,15$).

Таблиця 7 – Річна плата за забруднення навколишнього середовища одним мікроавтобусом БАЗ-2215 в місті Кіровограді

Найменування показників	Базова модель БАЗ-2215 бензин (А-92)	Газобалонна модель БАЗ-2215	
		ЗНГ	СПГ
Коефіцієнт екологічної ситуації району		1,25	
Корегуючий коефіцієнт екологічної ситуації в умовах міста Кіровограда		1,35	
Проіндексований коефіцієнт збору у поточному році за допустимі викиди забруднюючих речовин, які утворюються при використанні 1 тони (1 тис. м ³) j-го виду палива, грн./т. (грн./тис.м ³)	22,66	22,66	11,33
Річна витрата палива, л/100 км (м ³ /100 км)	10120	12643	10120
Витрата бензину під час пуску в зимовий період, л	-	84	42
Плата за забруднення навколишнього середовища одним мікроавтобусом за рік, грн.	387	486	194
Річна економія на платі за забруднення навколишнього середовища одним мікроавтобусом за рік, грн.	-	-99	193

Таблиця 8 – Економічна ефективність експлуатації одного мікроавтобуса БАЗ-2215 на ГМП в міських умовах

Найменування показників	Базова модель БАЗ-2215 бензин (А-92)	Газобалонна модель БАЗ-2215	
		ЗНГ	СПГ
1. Середньодобовий пробіг, км	180	180	180
2. Витрати на паливо за рік, грн.	57481,6	28291,72	36670,56
3. Допоміжні експлуатаційні витрати для газобалонної моделі за рік, грн.	-	851,0	1941,0
4. Плата за забруднення навколишнього середовища одним мікроавтобусом за рік, грн.	387	486	194
5. Економія експлуатаційних витрат за рік, грн.	-	28240,0	19063,0
6. Капітальні вкладення в переобладнання мікроавтобуса, грн.	-	3195	7415
7. Строк окупності затрат на переобладнання мікроавтобуса, міс.	-	1,35	4,7
8. Допоміжний річний економічний ефект від експлуатації мікроавтобуса на газовому моторному паливі, грн.	-	27760,0	17950,0

Результати розрахунку показників економічної ефективності наведені в таблиці 8.

Таким чином, експлуатація одного мікроавтобуса БАЗ-2215 на ГМП у порівнянні з бензином А-92 забезпечує додатковий річний економічний ефект у розмірі 27760,0 грн. при використанні ЗНГ і 17950,0 грн. при використанні СПГ. Строк окупності витрат на оснащення мікроавтобуса газобалонним устаткуванням становить від 1,35 до 4,7 місяців.

Отже, переведення ДВЗ автомобіля БАЗ-2215 з бензину А-92 на СПГ дозволяє знизити його екологічну небезпеку в 2 рази. Додатковий економічний ефект від використання ЗНГ в 1,5 рази вище, ніж від використання СПГ. Отже, заміщення нафтових моторних палив газовими є екологічно й економічно виправданою. Причому найбільш перспективним напрямком варто вважати використання нафтового газу як палива, так як воно виготовляється в Україні, а природний газ, хоч і є екологічно небезпечним, але постачається з Росії і тому неможливо спрогнозувати його вартість і об'єми поставок для задоволення потреб автомобільного транспорту.

Список літератури

1. Лудченко О.А. Технічне обслуговування і ремонт автомобілів. – К.: Знання-Прес, 2007. – 610 с.
2. А.Н. Тетиор. Городская экология. Издательство "Академия" 2006 – 336с.
3. Луканин В.Н., Трофименко Д.В. Промышленно-транспортная экология.: Учебник для вузов. Высшая школа, 2001 – 273 с.
4. Павлова Е.М. Экология транспорта. Учебник для вузов. Высшая школа, 2005 – 344 с.

В статье представлена сравнительная оценка использования микроавтобусов семейства БАЗ по критериям экологической безопасности в городских условиях при работе на бензине и газовом топливе.

In the article the comparative estimation of the use of petrol and gas fuel is presented on the example of minibuses of family of BAZ on the criteria of ecological safety in city terms.