

## ПІДВИЩЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ АВТОМОБІЛЬНОГО ТРАНСПОРТУ ЗА РАХУНОК ВИКОРИСТАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДУ

*М.О. Ніколенко, Є.О. Воробйов, І.В. Сотнікова, Т.В. Куковська*

*Автомобільно-дорожній інститут ДВНЗ "ДонНТУ", м. Горлівка*

**АНОТАЦІЯ:** Виконаний аналіз викидів забруднюючих речовин карбюраторного двигуном легкового автомобіля і електромобіля, розробленні пропозиції використання в якості живлення електропривода сірчано - натрієвого акумулятора, та алюмінієво-повітряного хімічного елементу, що забезпечує спроможність створення екологічно чистого автомобіля.

**АННОТАЦИЯ:** Выполнен анализ выбросов загрязняющих веществ карбюраторного двигателя легкового автомобиля и электромобиля, разработаны предложения использования в качестве питания электропривода серно - натриевого аккумулятора и алюминиево-воздушного химического элемента, что обеспечивает возможность создания экологически чистого автомобиля.

**ABSTRACT:** The analysis of the refuse of pollution substance of car's internal – combustion engine and electric car executed, is elaborated suggestions of the use as electric drive of sulphuric - sodium accumulator and aluminium - air chemical element which provides by possibility of creation of ecological car are developed.

**Постановка проблеми:** Однією з причин погіршення екологічної обстановки в світі є викиди в атмосферу забруднюючих речовин автомобільним транспортом кількість якого постійно зростає.

Відпрацьовані гази вміщують з'єднання свинцю, оксиду сірки, вуглеводнів, азоту, частки сажі, ароматичні та олефірові вуглеводні. В атмосфері ці речовини сприяють утворенню смогу, ведуть до збільшення захворювань. В цивілізованих країнах світу збільшується перелік вимог до якості палив двигунів внутрішнього згорання. Так Європейським парламентом у 2003 р. прийнята директива «По підтримці використання альтернативних видів палив у тому числі поновлювальних видів палив для

транспорту», в якій передбачується заміна до 20% звичайного палива на альтернативне до 2020 р. Підписані президентом України закони по виробництву і використанню альтернативних палив з відповідними нормами ЄС ратифіковані Верховною Радою 23.02.2006 р.

Роботи по створенню автомобілів, які відповідають сучасним вимогам екологічної безпеки здійснюються в трьох напрямках: удосконалення моторних систем, утилізація продуктів спалювання, використання альтернативних енергій приводу.

З екологічної точки зору найбільш привабливим є третій напрямок. Основними перевагами автомобілів з електроприводом електромобілів є відсутність викидів відпрацьованих газів та безшумність роботи. Відносно екологічності електромобілів існують протилежні дані. Деякі дослідники вважають, що електромобіль не є екологічно безпечним - він лише виносить джерело забруднення за межі міст, тому що електростанції є самі по собі забруднювачами довкілля. По даним інших дослідників порівняльні викиди забруднюючих речовин електромобіля на порядок нижче аналогічних показників звичайного автомобіля.

**Формування мети:** Метою поведеної роботи є визначення екологічної безпеки електромобіля шляхом порівняння величин викидів забруднюючих речовин ДВЗ з урахуванням всіх етапів виготовлення та експлуатації.

**Викладання основного матеріалу досліджень:** Екологічні характеристики легкового автомобіля з карбюраторним ДВЗ масою  $Q = 1200$  кг., потужністю двигуна  $N = 51$  кВт (70 к.с.) оцінюються з характеристиками аналогічного електромобіля порівнянням величин викидів забруднюючих речовин на 1 км пробігу.

1. Сумарні викиди забруднюючих речовин карбюраторного двигуна при виготовленні і експлуатації визначаємо із виразу :

$$V_6 = m_1 \cdot q_1 + m_2 \cdot q_2 + m_3 \cdot q_3 + m_4 \cdot q_4 + m_5 \cdot q_5 + m_6 \cdot q_6, \quad (1)$$

Витрата сталі для виготовлення ДВЗ визначається за формулою :

$$m_1 = \frac{G}{K}, \quad (2)$$

де  $G$  - маса двигуна внутрішнього згорання  $G = 150$  кг.;

$K$  – середній ресурс роботи двигуна до капремонту  $K = 250\,000$  км;

$q_1$  - питомі викиди забруднюючих речовин при виготовленні сталі [1]:

$$q_1^{CO} = 680,6 \text{ г/км}, q_1^{SO_2} = 22,2 \text{ г/км}, q_1^{NO_x} = 3,53 \text{ г/км},$$

$$q_1^{CO_2} = 1898 \text{ г/км},$$

$$m_1 = \frac{150000}{250000} = 0,6 \text{ л/км},$$

Витрата бензину на 1 км пробігу становить  $m_2 = 0,092 \text{ ґ/ґі}$ ,  
 $q_2$  – питомі викиди забруднюючих речовин при виготовлені бензину:

$$q_2^{CO} = 15,4 \text{ ґ/км}, q_2^{SO_2} = 22 \text{ ґ/км}, q_2^{NO_x} = 1,9 \text{ ґ/км},$$

$$q_2^{C_nH_m} = 9 \text{ ґ/км}, q_2^{CO_2} = 695,5 \text{ ґ/км},$$

$$m_3 = m_2,$$

$q_3$  - питома викиди забруднюючих речовин при руху автомобіля по місту – перегін 1 км і перехрестя:

$$q_3^{CO} = 39,7 \text{ ґ/км}, q_3^{CO_2} = 306 \text{ ґ/км}, q_3^{SO_2} = 0,31 \text{ ґ/км},$$

$$q_3^{NO_x} = 2,15 \text{ ґ/км}, q_3^{C_nH_m} = 3,7 \text{ ґ/км}$$

Витрата олії визначається за формулою (2) :

$G_4 = 5,2$  кг – маса олії ДВЗ,

$K_4 = 10000$  км – середній ресурс використання олії ДВЗ,

$$m_4 = \frac{5200}{10000} = 0,52 \text{ ґ/км},$$

$q_4$  - питомий викид забруднених речовин при виготовлені олії:

$$q_4^{CO} = 154,3 \text{ ґ/км}, q_4^{SO_2} = 218,1 \text{ ґ/км}, q_4^{NO_x} = 19 \text{ ґ/км},$$

$$q_4^{C_nH_m} = 89,2 \text{ ґ/км}, q_4^{CO_2} = 6955 \text{ ґ/км}$$

$q_5$ - питомий викид картерних газів  $q_5^{C_nH_m} = 22,1 \text{ ґ/км}$

Витрати свинцю г/км визначається за формулою (2).

$G_6 = 45$  кг – маса свинцю, що витрачається до капремонту ДЗВ;

$K_6 = 200000$  км – середній ресурс роботи акумулятора до капремонту

ДЗВ

$$m_6 = \frac{45000}{200000} = 0,225 \text{ ґ/км}$$

$q_6$ - питомий викид забруднюючих речовин при виготовлені свинцю

$$q_6^{CO} = 69,5 \text{ ґ/км}, q_6^{SO_2} = 194 \text{ ґ/км}, q_6^{NO_x} = 9,04 \text{ ґ/км},$$

$$q_6^{C_nH_m} = 0,07 \text{ ґ/км}, q_6^{CO_2} = 676 \text{ ґ/км}$$

Сумарні викиди забруднюючих речовин визначаються із (1):

$$\hat{A}^{NI} = 0,6 \cdot 680,6 + 0,092 \cdot 15,4 + 0,092 \cdot 39,7 + 0,52 \cdot 154,3 +$$

$$+ 0,225 \cdot 69,5 = 508,51 \text{ ґ/ґі}$$

$$\hat{A}^{CO_2} = 0,6 \cdot 1898 + 0,092 \cdot 695,5 + 0,092 \cdot 306 + 0,52 \cdot 6955 +$$

$$+ 0,225 \cdot 676 = 4999,638 \text{ ґ/ґі}$$

$$\hat{A}^{NO_x} = 0,6 \cdot 3,53 + 0,092 \cdot 1,9 + 0,092 \cdot 2,15 + 0,52 \cdot 19 + \\ + 0,225 \cdot 9,04 = 14,4046 \tilde{a} / \hat{e}i$$

$$B^{SO_2} = 0,6 \cdot 22,2 + 0,092 \cdot 22 + 0,092 \cdot 0,31 + 0,52 \cdot 218,1 + \\ + 0,225 \cdot 194 = 172,42452 \tilde{a} / \hat{e}i$$

$$\hat{A}^{C_nH_m} = 0,092 \cdot 9 + 0,092 \cdot 3,7 + 0,52 \cdot 39,2 + 0,52 \cdot 22,1 + \\ + 0,225 \cdot 0,67 = 33,19515 \tilde{a} / \hat{e}i$$

Аналізуючи досвід створення, випробувань, експлуатації та перспективи використання електромобілів, можливо відмітити дві стадії розвитку їх джерел живлення. Перша використання акумуляторів, друга – електромобілі з електрохімічними енергоустановками.

Електромобіль з батареями акумуляторів не потребує в конструкції коробки швидкостей, стартера, системи охолодження. Так як коефіцієнт корисної дії акумулятора збільшується зі зменшенням струму розряду, то використання електромобілів корисно в містах, де вони працюють більше на холостому ході при малій потужності. Разом з цим для їх підзарядки потребується електроенергія, генерація якої здійснюється на ТЕС, викиди якої призводять до забруднення навколишнього середовища.

Основним енергоносієм в Україні є кам'яне вугілля, запасів якого по різних оцінкам вистачить на 400 років при сьогоднішніх темпах видобутку.

Для виготовлення 1 кВт електроенергії необхідно витратити 860 ккал тепла. Кількість умовного палива ( $B_{y.n}$ ) для виготовлення 1 кВт електроенергії на ТЕС визначається із виразу :

$$\eta = \frac{860}{\hat{A}_{\hat{e}i} \cdot Q_{\hat{e}i}}, \quad (3)$$

де  $Q_{y.n}=7000$  ккал – теплота згорання умовного палива;

$\eta = 0,31 \dots 0,37$  – ККД циклу роботи ТЕС ;

$B_{y.n}$  - кількість умовного палива для виробітку 1кВт електроенергії.

$$B_{y.n} = \frac{860}{0,34 \cdot 7000} = 0,361 \text{ кг} / \text{кВт};$$

На ТЕС використовується вугілля, теплота згорання якого в середньому  $Q_{p.n}= 4500$  ккал, з урахуванням цього визначаємо витрату реального палива із виразу:

$$B_{p.n} = B_{y.n} \cdot \frac{Q_{y.n}}{Q_{p.n}}, \quad (4)$$

$$B_{p.n} = 0,361 \cdot \frac{7000}{4500} = 0,56 \text{ кг} / \text{кВт};$$

Найбільш високі питомі енергії із останніх сучасних розробок мають сірчано - натрієві акумулятори. Досвід створення легкових електромобілів з сірчано – натрієвими акумуляторами показує, що їх маса практично не перевищує маси серійних легкових автомобілів аналогічного класу, а величина питомої потужності сірчано - натрієвих акумуляторів в середньому становить  $q_E = 70 \text{ Вт/кг}$  [2]. На відміну від акумуляторів з свинцевими, цинковими і нікельовими батареями, забезпечення сировинними запасами для сірчано-натрієвих акумуляторів практично безмежна ( на тисячі років ).

Технологія виробництва таких акумуляторів в закордонних країнах достатньо підготовлена, щоб почати їх масове виробництво.

Потужність електроустановки електромобіля визначається із виразу :

$$N_E = \frac{60 \cdot q_E \cdot Q}{100}, \quad (5)$$

де 60 % - коефіцієнт корисної дії електромобіля.

$$N_E = \frac{60 \cdot 70 \cdot 1200}{100} = 42 \text{ кВт}.$$

2. Сумарні викиди забруднюючих речовин енергоустановкою електромобіля яка складається з сірчано-натрієвого акумулятора і електричного двигуна з алюмінієвим корпусом визначаємо із виразу:

$$\hat{A}_A = m'_1 \cdot g'_1 + m'_2 \cdot g'_2 + m'_3 \cdot g'_3, \quad (6)$$

Викиди забруднюючих речовин при виготовленні сталі і алюмінію електродвигуна визначаємо із виразу:

$$m'_1 = \frac{G_{\hat{a}}}{K_{\hat{a}}}, \quad (7)$$

$$G_g = M_{Fe} + M_{Al},$$

де  $M_{Fe} = 76 \text{ кг}$  – маса сталейних деталей двигуна;

$M_{Al} = 69 \text{ кг}$  – алюмінієвого корпусу електродвигуна;

$\hat{E}_{\hat{a}} = 220000 \text{ км}$  - середній ресурс роботи двигуна;

$$m'_1 = \frac{76 + 69}{220000} = 0,66 \text{ г} / \text{км}$$

$g_1'$  - питомий викид забруднюючих речовин при виготовленні двигуна, г/кг.

$$g_1'^{CO} = \frac{680,6 + 15,1}{2} = 347,9 \text{ г/кг};$$

$$g_1'^{SO_2} = \frac{22,2 + 120}{2} = 70,1 \text{ г/кг}$$

$$g_1'^{NO_x} = \frac{3,53 + 22,8}{2} = 13,16 \text{ г/кг}$$

$$g_1'^{CO_2} = \frac{1898 + 1705}{2} = 1801,5 \text{ г/кг}$$

Викиди забруднюючих речовин при виготовленні сірчано - натрієвого акумулятора г/кг визначаємо із виразу:

$$m_2' = \frac{G_a}{K_a}, \quad (8)$$

де  $G_a = 300$  кг - маса акумулятора, кг;

$\hat{E}_a = 200000$  км - середній ресурс роботи акумулятора, км;

$$m_2' = \frac{300000}{200000} = 1,5 \text{ г/кг}$$

$g_2'$  - питомий викид забруднюючих речовин при виготовленні акумулятора, г/кг.

$$g_2'^{CO} = 123,5 \text{ г/кг}; g_2'^{SO_2} = 83 \text{ г/кг}; g_2'^{NO_x} = 2,3 \text{ г/кг}; g_2'^{CO_2} = 931 \text{ г/кг};$$

Витрати вугілля для виготовлення електроенергії, необхідної для перегону електромобіля на 1 км при швидкості  $V=50$  км/год:

$$m_3' = \frac{N_E \cdot B_{P.I.}}{V \cdot 1}, \quad (9)$$

де  $N_E$  - потужність електроустановки електромобіля, кВт;

$B_{P.I.}$  - кількість реального палива для виробітку 1кВт електроенергії, г/кВт;

$V$  - швидкість електромобіля, км/год.

$$m_3' = \frac{42 \cdot 0,56}{50} = 0,47 \text{ г/кг}$$

Величина викидів чадного газу при спалюванні вугілля на ТЕС розраховується за формулою [3]:

$$g_3'^{CO} = \frac{0,001 \cdot g_{xim} \cdot R \cdot Q_{P.I.}}{0,013 \cdot m_3' (1 - g_i / 100)}, \quad (10)$$

де  $Q_{D,i} = 4500$  ккал/кг = 19 МДж/кг - теплота згорання реального палива;

$g_{\delta\eta} = 1\%$  - витрати тепла від хімічного неповноти згорання палива;

$g_s = 1$  г/кг - питомі викиди забруднюючих речовин при згоранні палива;

$R = 1$  – доля загубленої теплоти.

$$g_3^{\prime\prime} = \frac{0,001 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 19}{0,013 \cdot 0,47 \cdot (1 - 4/100)} = 3,27 \tilde{a} / \hat{e}\tilde{a}$$

Величина викидів оксиду сірки при спалюванні вугілля на ТЕС розраховується за формулою:

$$g_3^{\prime SO_2} = 0,02 \cdot m_3^{\prime} \cdot S \cdot (1 - \eta_s^{\prime}) \cdot (1 - \eta_s^{\prime\prime}), \quad (11)$$

де  $S = 4,1\%$  – вміст сірки в вугіллі;

$\eta_s^{\prime} = 0,1$  - доля оксидів сірки, що пов'язана летючою золою в і-тому котлі;

$\eta_s^{\prime\prime} = 0$  - доля оксидів сірки, що уловлюються у золосхоплювачах і-того котла, з попутним уловлюванням твердих часток.

$$g_3^{\prime SO_2} = 0,02 \cdot 0,47 \cdot 4,1 \cdot (1 - 0,1) \cdot (1 - 0) = 0,035 \tilde{a} / \hat{e}\tilde{a}$$

Величина викидів оксиду азоту при спалюванні вугілля на ТЕС розраховується за формулою:

$$g_3^{\prime}(NO_x) = 0,34 \cdot 10^{-4} \cdot \psi \cdot m_3^{\prime} \cdot Q_{D,i} \cdot (1 - g_s/100) \cdot \beta_1 \cdot (1 - \varepsilon_1 \cdot r_1) \cdot \beta_2 \cdot \beta_3 \cdot \varepsilon_2, \quad (12)$$

де  $\psi = 5,9$  - викиди  $NO_x$  умовного палива;

$\beta_1 = 0,9$ - вплив якості вугілля на викиди  $NO_x$ ;

$\beta_2 = \beta_3 = 1$  - вплив конструкції горілок та шлакоудалення на викиди  $NO_x$ ;

$\varepsilon_1 = \varepsilon_2 = 1$  - вплив режимів спалювання палива на викиди  $NO_x$ ;

$r_1 = 0$  - Рециркуляції димових газів.

$$g_3^{\prime}(NO_x) = 0,34 \cdot 10^{-4} \cdot 5,9 \cdot 0,47 \cdot 19 \cdot (1 - 4/100) \cdot 0,9 \cdot (1 - 1 \cdot 0) \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 = 0,012 \tilde{a} / \hat{e}\tilde{a}$$

Величина викидів золи при спалюванні вугілля на ТЕС розраховується за формулою:

$$g_3^{\prime}(\hat{c}\hat{i}\hat{e}\hat{e}) = 0,01 \cdot m_3^{\prime} \cdot [\alpha_{\delta i} \cdot A + g_{\delta i} \cdot (Q_{D,i} / w)] \cdot (1 - \eta_s), \quad (13)$$

де  $\alpha_{\delta i} = 0,85$  - доля золи в уносі;

$A = 29,2\%$  – зольність вугілля;

$w = 30,7\%$  - вологість вугілля;

$g_{oi} = 0,1\%$  - витрати тепла з уносом від механічної неповноти і-

того згорання палива;

$\eta_s = 0,85$  - доля твердих часток, що уловлюються у золоохоплювачах і-того котла.

$$g_3'(\text{çîëè}) = 0,01 \cdot 0,47 \cdot [0,85 \cdot 29,2 + 1 \cdot (19/30,7)] \cdot (1 - 0,85) = 0,18 \text{ã/êã}$$

Сумарні викиди забруднюючих речовин енергоустановкою електромобіля визначається за формулою (6):

$$B_E^{CO} = 0,66 \cdot 347,9 + 1,5 \cdot 123,5 + 0,47 \cdot 3,27 = 416,8 \text{г/км}$$

$$B_E^{SO_2} = 0,66 \cdot 70,1 + 1,5 \cdot 83 + 0,47 \cdot 0,035 = 170,8 \text{г/км}$$

$$B_E^{NO_x} = 0,66 \cdot 13,16 + 1,5 \cdot 7,3 + 0,47 \cdot 0,012 = 12,12 \text{г/км}$$

$$B_E^{CO_2} = 0,66 \cdot 1801,5 + 1,5 \cdot 931 = 2585,5 \text{г/км}$$

Таблиця 1 - Величини викидів забруднюючих речовин серійного автомобіля і електромобіля

Тип двигуна легкового автомобіля	Величини забруднюючих величин, г/км					
	CO	SO <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	зола	C <sub>n</sub> H <sub>m</sub>
Карбюраторний ДВЗ	508,51	172,425	4999,64	14,405	-	33,195
Електропривід	418,8	170,8	2585,5	12,12	0,18	-

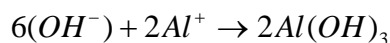
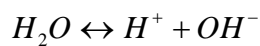
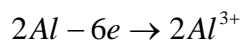
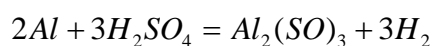
Результати досліджень, приведені в таблиці 1, показують, що сумарні викиди від ДВЗ значно більші ніж у електромобіля по всім компонентам. Окрім того ДВЗ викидає токсичні речовини в місті на рівні землі, при експлуатації електромобіля викиди відсутні, видобуток електроенергії здійснюється на ТЕС за межами міста, де забруднюючі речовини викидаються на значну висоту. З урахуванням екологічних переваг і наступного подорожування палив можливо затверджувати, що використання електромобіля з сірчано – натрієвим акумуляторами в містах сприятливо (безпечно).

Головним критерієм ефективності роботи кожного електричного устрою є його коефіцієнт корисної дії – ККД - це відношення корисної роботи (енергії), що одержана в устрої до енергії, що підводиться до устрою. На теплоелектростанціях вся теплова енергія одержана при спалюванні палива в процесі перетворення йде по наступній умовній схемі: «хімічна → теплова → механічна → електрична». Хімічна енергія палива практично на 100% перетворюється в механічну енергію двигунів внутрішнього згорання автомобілів з ККД < 40%. Підвищення ККД



можливо виключивши зі схеми проміжної ланки пов'язаної з перетворенням теплової енергії. В результаті утворюється електрохімічний ланцюг, в якому за рахунок протікання хімічної реакції перетворення енергії здійснюється за схемою: «хімічна енергія палива → електрична енергія».

Із перспективних систем електроживлення автомобіля необхідно відзначити алюмінієво - повітряний паливний елемент, в якому електрична енергія утворюється за рахунок хімічної реакції металевого алюмінію з киснем із атмосферного повітря в присутності електроліту. Продукт реакції – гідроксид алюмінію – випадає із розчину в вигляді осаду, із якого при наступній обробці на спеціальному підприємстві одержують чистий алюміній.



Необхідна сила струму для електролізу розраховується за формулою:

$$I = \frac{F}{t}, \quad (14)$$

де F – число Фарадея, Кул/гекв;

t - час, с.

$$I = \frac{96500}{3600} = 26,8A$$

Потужність паливного елемента при ККД = 100%:

$$N_n = I \cdot C; \quad (15)$$

де C – стаціонарний потенціал Al.

$$N_n = 26,8 \cdot 1,3 = 35 \text{ Вт}.$$

Значення реального ККД алюмінієво–повітряного елемента – 70%,

тоді:

$$N_n^p = N_n \cdot 0,7;$$

$$N_n^p = 35 \cdot 0,7 = 24,5 \text{ Вт}.$$

Кількість Al, яка необхідна для одержання заданої потужності:

$$Q = \frac{N}{N_n} \cdot 1e^{\hat{a}}, \quad (16)$$

де 1 еквівалент алюмінію  $27 : 3 = 9$  г;

$N = 51$ кВт – потужність ДВЗ легкового автомобіля.

$$Q_{Al} = \frac{5100}{24,5} \cdot 9 = 18,7 \text{т} \cdot \text{год}$$

Відновлення працездатності алюмінієвого елемента здійснюється не шляхом підзарядки від електромережі, а доливкою води в електроліт через кожні 400-600 км пробігу і заміною анодних алюмінієвих пластин через кожні 2-5 тис. км. Продукт реакції – гідроксид алюмінію випадає із розчину в вигляді осаду з якого при наступній обробці одержують чистий алюміній. Таким чином, використання алюмінієво-повітряного елемента в якості електроживлення забезпечує створення екологічно чистого електромобіля та вирішує проблему внутріміського транспорту.

## ВИСНОВКИ

1. Сумарні викиди забруднюючих речовин легкового автомобіля з карбюраторним двигуном по всім компонентам перевищують сумарні викиди легкового електромобіля.
2. Використання електроенергії для живлення приводу автомобіля, виключає викиди забруднюючих речовин при його експлуатації, що забезпечує спроможність створення екологічно чистого електромобіля в першу чергу для використання в містах.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Луканин В.Н. – Промышленно транспортная экология. – М.: «Высшая школа», 2001. – 295с.
2. Ставров О.А. – Перспектива создания эффективного электромобиля. – М.: Наука, 1984 – 146 с.
3. Инженерная защита окружающей среды: Учебное пособие под редакцией О.Г. Воробьева.