

УДК 629.113.066

В. Г. Мазанов, О. С. Мазін, А. П. Горбунов, В. М. Франков

НОВА КОНСТРУКЦІЯ ВІЙСЬКОВОГО ЕЛЕКТРОМОБІЛЯ І МЕТОДИКА ВИЗНАЧЕННЯ ЙОГО ОСНОВНИХ ПАРАМЕТРІВ

Одним з напрямків зменшення потреб армії у паливно-мастильних матеріалах є використання електромобілів. Визначено, що найбільш перспективним є використання електромобілів у транспортній мережі МВС України. Їх доцільно використовувати як патрульні авто, для перевезення варт, для маршрутних перевезень людей та вантажів.

Запропоновано методику розрахунку параметрів електромобіля, що логічно поєднує електричні і механічні параметри.

К л ю ч о в і с л о в а: електромобіль, транспорт, акумуляторна батарея.

Постановка проблеми. Сьогодні електромобілі, порівняно з автомобілями, у яких встановлено двигун внутрішнього згоряння, мають певні переваги завдяки позитивним властивостям, основними з яких є:

- екологічна чистота приводу (нульові викиди в місці використання);
- можливість стояти в пробках, не витрачаючи енергію на роботу двигуна на холостому ходу;
- вартість використання може бути порівняна з витратами на громадський транспорт;
- високий рівень надійності та довговічності електромобіля;
- у разі застосування сучасних емних акумуляторних батарей можливо використовувати енергію, накопичену в електромобілі вночі, для згладжування піків енергоспоживання вдень.

Виходячи з наведених переваг сучасних електромобілів, можна передбачити їх цільове використання у транспортній мережі МВС України та як масового засобу внутрішньоміської комунікації в осяжному майбутньому.

Наявність високорозвиненої наукової та виробничої бази дає впевненість у можливості реалізації ідеї створення і налагодження виготовлення в Україні вітчизняного електромобіля. Водночас слід відмітити відсутність достатньо послідовного науково-методичного обґрунтування конструктивних параметрів електромобілів.

Огляд останніх досліджень і публікацій. Питанням розроблення і використання електромобілів сьогодні приділяється значна увага [1; 2; 3; 4; 5]. Так, у Китаї компанія “Anhui Automobile Co” на виставці автобусів представила туристичний автобус моделі HFF 6127 [3], котрий має запас ходу 150 км і використовується під час міських екскурсій та для перевезення пасажирів у аеропортах.

Армія США отримала перші шість електромобілів NEV (Neighborhood Electric Vehicle) (рис. 1), повідомляє Defense News [4], що є початком масштабних поставок чотирьох тисяч електромобілів, які американські військові планують використовувати на території США. За їхніми підрахунками, у найближчі шість років шляхом використання альтернативної автомобільної техніки можливо досягти економії пального понад 40 млн л.



Рис. 1. Електромобіль NEV (Neighborhood Electric Vehicle)

В Інституті електродинаміки АН України розроблено і виготовлено легковий експериментальний електромобіль (рис. 2) [5].



Рис. 2. Експериментальний електромобіль Інституту електродинаміки АН України

Підвищена увага автомобільних фірм до розробок, пов'язаних з електромобілями, свідчить про актуальність цих наукових робіт.

Аналіз джерел [1; 2; 6; 7] показав відсутність методик з чіткою послідовністю виконання розрахунку конструктивних параметрів електромобілів. Існуючі методики мають певні недоліки: за одними визначають електричні параметри, за іншими – механічні. Методика, що пропонується, дає чітку послідовність визначення основних параметрів електромобіля, логічно об'єднуючи як електричні, так і механічні параметри.

Метою статті є висвітлення матеріалів стосовно нової конструкції військового автомобіля для перевезення особового складу та вантажів, а також методики визначення основних розрахункових параметрів електромобіля.

Виклад основного матеріалу. Особливості конструювання електромобілів обумовлені низкою специфічних проблем:

- забезпечення балансу маси автомобіля при відносно великій масі джерела енергії у вигляді тягової акумуляторної батареї;
- умови розташування у просторі автомобіля тягової акумуляторної батареї значного об'єму;
- розташування акумуляторної батареї повинне забезпечити певні показники;
- опалювання салону (досвід показує, що необхідна для цього потужність взимку складає 3...6 кВт).

Перевагами конструювання електромобілів є:

- зручність експлуатації;
- високі регульовальні характеристики електродвигунів, котрі в принципі дають змогу отримати необхідні діапазони зміни швидкості руху без перемикання передач;
- малі габарити і маси вузлів електроприводу значно розширюють можливості компоновки приводу ведучих коліс;
- покращені гальмові властивості електричних тягових систем дають змогу певною мірою спростити механічні гальмові системи.

Виключно міське використання сучасних електромобілів з обмеженою максимальною швидкістю на дорогах з відносно високим рівнем якості обумовлює зниження вимог до конструктивних характеристик вузлів та агрегатів трансмісії і ходової частини порівняно зі звичайними автомобілями.

Електромобіль можна конструювати двома способами:

– шляхом використання базової моделі серійного автомобіля – таке переобладнання називається конвертуванням;

– розроблення принципово нової конструкції.

На рис. 3 наведено конвертований вантажний електромобіль фірми “Фольксваген”, у якому відносно корисне навантаження складає 0,26, а відносна маса батареї – 0,23.

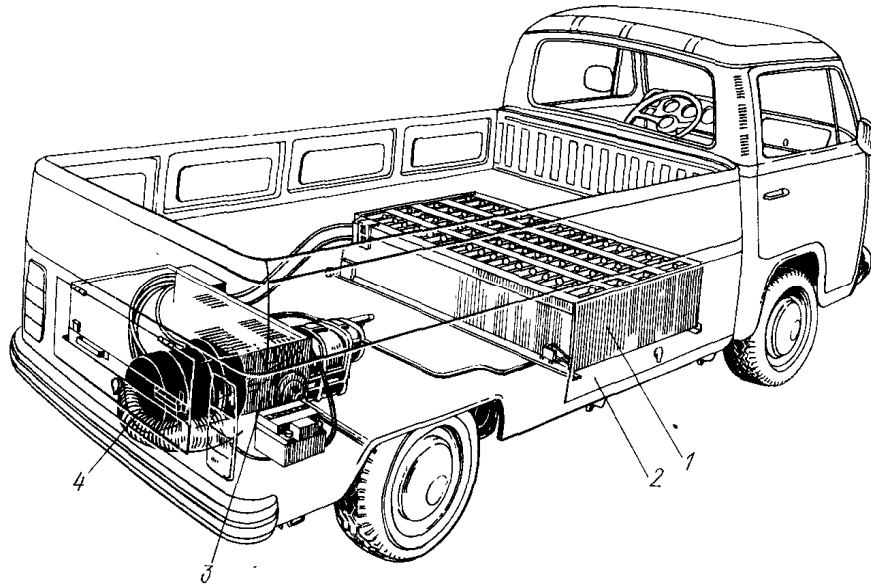


Рис. 3. Вантажний електромобіль фірми “Фольксваген”:

1 – акумуляторна батарея; 2 – установочна платформа батареї; 3 – трансмісія; 4 – електродвигун

У японського електромобіля принципово нової конструкції корисне навантаження складає 0,297, а відносна маса батареї – 0,297, що свідчить на користь оригінальних конструкцій.

Раніше проведені дослідження показали, що оригінальні конструкції електромобілів дають змогу підвищити в середньому на 22 % корисне навантаження при збільшенні запасу ходу на 7 %.

На рис. 4 зображено електромобіль “Ендура” фірми “Глоб Уніон” з тунельним розташуванням тягової батареї. Його повна маса 1450 кг. Маса його свинцево-кислотної батареї 590 кг. Тунельна компоновка дозволяє швидко замінювати батарею, висуваючи її з тунелю вперед. Електродвигун і задньоприводна трансмісія розташовані за тунелем акумуляторної батареї.

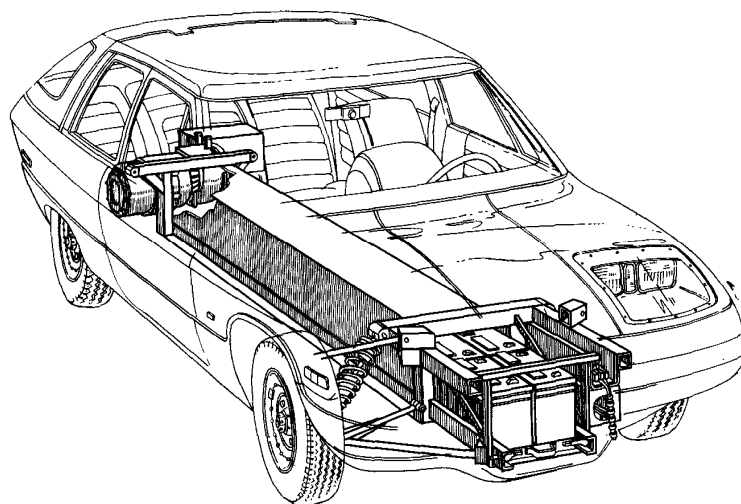


Рис. 4. Електромобіль “Ендура” фірми “Глоб Уніон” з тунельним розташуванням тягової батареї

На передньоприводних електромобілях тунель може бути розташований у зоні задніх коліс, при цьому компоновка матиме всі переваги передньоприводних автомобілів (покращену керованість, вищий ККД трансмісії).

Нижче у таблиці наведено основні показники вантажних електромобілів.

Т а б л и ц я

Основні показники вантажних електромобілів

Електромобіль, фірма-виробник, країна	Вантажо-підйомність, т	Маса електромобіля, т	Запас ходу, км	Максимальна швидкість, км/год
Р-500, "Отис Електровейер", США	0,36	1,8	80	71
ЕМА-2, колишня Чехословаччина	1,05	2,05	80	40
ЕрАЗ-3732, Єрванський автозавод, Вірменія	0,9	1,925	80	60
"Фольксваген", Німеччина	0,8	2,6	75	75

Надамо основні відомості про конструкцію військового електромобіля, що пропонується. На рис. 5 зображено силову установку, котра складається з корпусу 13, до якого болтовим з'єднанням 8 приєднано електричний двигун 9. У підшипниках 6 та 7 розташовано фланець 5, до якого приєднано кожух зчеплення 4. До корпусу 13 болтовим з'єднанням 2 прикріплено кришку 1, у котрій розташовано підшипник 15. У підшипниках 15 та 11 розташовано ведений вал 17 з фланцем 16 карданної передачі.

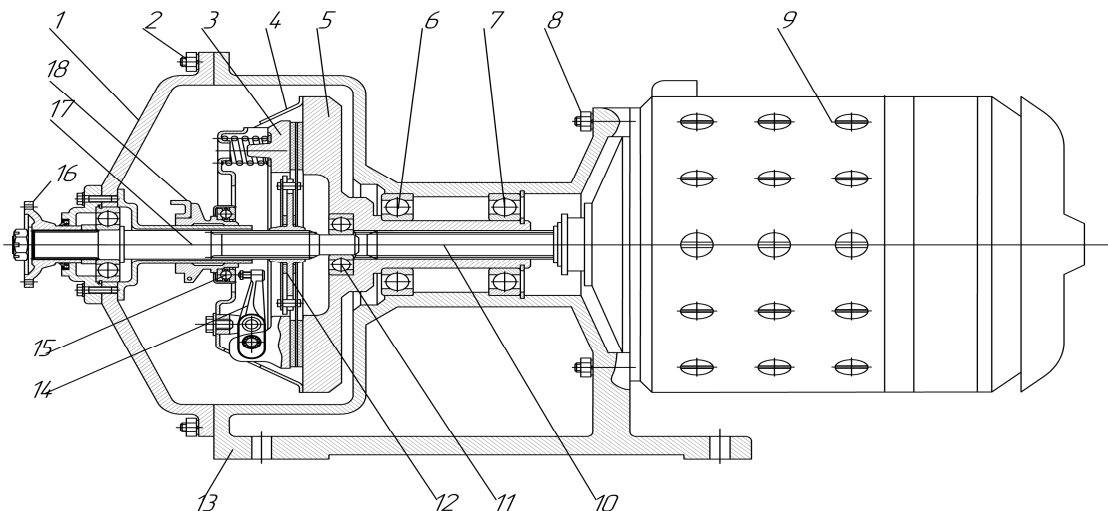


Рис. 5. Силова установка електромобіля:

1 – кришка; 2 – гайка; 3 – натискний диск; 4 – кожух зчеплення; 5 – фланець; 6, 7 – підшипники; 8 – гайка; 9 – електромотор; 10 – вал; 11 – підшипник; 12 – ведений диск; 13 – корпус; 14 – відтяжний важель; 15 – підшипник; 16 – фланець карданного вала; 17 – ведений вал; 18 – муфта вимкнення

Силова установка працює таким чином. Від електричного двигуна 9 обертовий момент зі шліцьового вала 10 передається на фланець 5 і далі на кожух зчеплення 4. Від кожуха зчеплення 4 обертовий момент через натискний диск 3 і ведений диск 12 передається на ведений вал 17 і далі на фланець 16 карданної передачі. Від'єднання електричного двигуна від трансмісії відбувається після натискання муфти 18 вимкнення зчеплення на відтяжні важелі 14.

Необхідно звернути увагу на те, що зчеплення вимикається тільки у момент перемикання коробки передач. В усіх інших випадках зчеплення не використовується, тобто у випадку руху з місця воно завжди включено.

На рис. 6 наведено конструктивну схему електромобіля. Він складається з рами 9, до якої на гумових подушках прикріплено силову установку 3. Ведений вал силової установки з'єднаний

карданним валом 4 з первинним валом коробки передач 5. Вторинний вал коробки передач з'єднаний карданним валом 6 з ведучим валом редуктора ведучого моста 7. Передній та задній мости електромобіля приєднані до рами 9 ресорними підвісками 8 та 2. До рами 9 також приєднано механізми кермового керування 1.

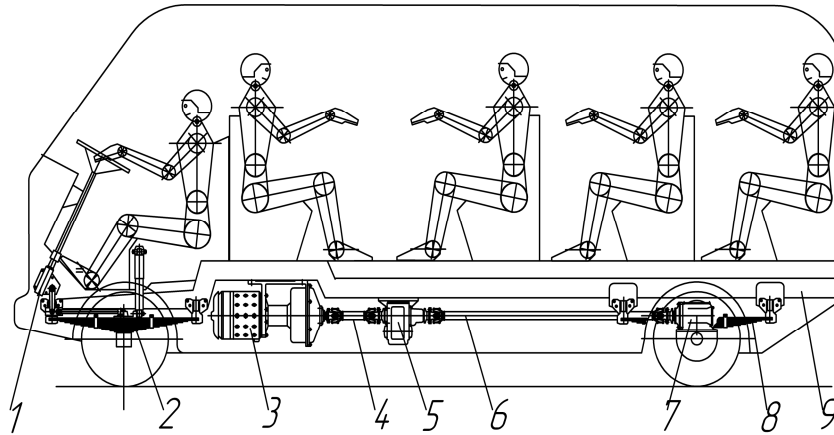


Рис. 6. Конструктивна схема електромобіля:

1 – кермове керування; 2 – передня ресора; 3 – силова установка; 4 – карданний вал; 5 – коробка передач; 6 – карданний вал; 7 – редуктор ведучого моста; 8 – ресора задня; 9 – рама автомобіля

Керування електромобілем суттєво простіше, ніж автомобілем з ДВЗ. Водій включає спеціальним ключем (такий, як ключ звичайного автомобіля) систему керування електроприладами, натискає на педаль регулювання швидкості (аналог педалі газу у звичайному автомобілі) і рушає з місця, при цьому швидкість регулюється від нуля до максимуму тільки педаллю швидкості. Електромобіль може рухатись на першій або другій передачах, залежно від дорожніх умов (в основному, від кутів нахилу дороги) та інтенсивності транспортного потоку. На панелі керування передбачена сигналізація про найбільш вигідну передачу у кожен момент руху. Всі інші операції керування електромобілем виконуються аналогічно до автомобіля з ДВЗ.

Основні положення методики розрахунку електромобіля наведено нижче.

Запас ходу електромобіля можна визначити за формулою:

$$L_x = \frac{e \cdot G_b}{\omega \cdot G}$$

де L_x – запас ходу, км; e – питома енергетична ємність батареї, Вт · г / кг; G_b – маса батареї акумуляторів, кг; ω – питома витрата енергії на перевезення кожного кілограма маси електромобіля на кілометр шляху, Вт · г / кг · м.

Маса електричної акумуляторної батареї визначається за формулою:

$$G_b = \frac{10^{-3} \cdot \omega \cdot L \cdot (G_a + G_e + G_k)}{e - 10^{-3} \cdot \omega \cdot L}$$

де G_b – маса батареї, кг; ω – питома витрата енергії при русі в режимі, для якого задано запас ходу, Вт · г/т · км (для розрахунків $\omega = 100$ Вт · г/т · км); L – запас ходу, км; G_a – маса спорядженого автомобіля, кг; G_e – маса електроприводу, кг; G_k – корисне навантаження, кг; e – питома енергоємність батареї, Вт·г/кг (для розрахунків $e = 70$ Вт · г/кг).

Повна маса вантажного електромобіля визначається за формулою:

$$m = G_a + G_e + G_k + G_b.$$

Максимальну потужність двигуна $N_{e_{\max}}$ (Вт) визначаємо за формулою:

$$N_{e\max} = \frac{V_{\max} \cdot g \cdot m_a \cdot \Psi}{\eta_{mp}} + k_B \cdot A_B \cdot V_{\max}^3,$$

де V_{\max} – максимальна швидкість, м/с; m_a – повна маса машини, т; Ψ – коефіцієнт опору дороги; g – прискорення вільного падіння, 9,8 м/с²; k_B – коефіцієнт опору повітря, Н·с²/м⁴; A_B – площа лобового опору, м²; η_{mp} – ККД трансмісії (складає 0,9).

Ємність акумуляторної батареї отримуємо з нижче наведеної формули, за якою визначається шлях руху автомобіля S_{AKB} за рахунок енергії акумуляторної батареї:

$$S_{AKB} = \frac{3,6 \cdot C_{AKB} \cdot \eta_{mp} \cdot U_{AKB}}{m_a \cdot g \cdot (f + \sin \alpha)},$$

де C_{AKB} – ємність акумуляторної батареї, А·г; f – коефіцієнт опору коченню; α – кут нахилу дороги. Виділимо значення ємності акумуляторної батареї:

$$C_{AKB} = \frac{S_{AKB} \cdot m_a \cdot g \cdot (f + \sin \alpha)}{3,6 \cdot \eta_{mp} \cdot U_{AKB}}.$$

Повна потужність, яку повинна забезпечувати батарея, визначається за формулою:

$$P_{\Sigma} = \frac{P_D}{(\eta_m \cdot \eta_z)} + P_{всп},$$

де $P_{всп}$ – допоміжна потужність.

Для випадку руху за циклом “С” маємо: $\eta_z = 0,7$; $\eta_m = 0,95$. Стосовно величини $P_{всп}$ є різні дані. Її оцінюють у 250 Вт без використання кондиціонера і 3 кВт – з кондиціонером.

Як показують розрахунки, для масової частки батареї $\alpha = 0,25$, значення пікової потужності внутрішньоміського електромобіля 70...80 Вт/кг. Стационарна потужність міського електромобіля, тобто потужність під час руху з постійною швидкістю, складає 35...40 Вт/кг і дорівнює приблизно половині пікової потужності.

Передаточне число головної передачі U_0 визначається за формулою:

$$U_0 = \frac{0,377 \cdot n_{e\max} \cdot r_0 \cdot C_V}{V_{\max} \cdot U_e},$$

де $n_{e\max}$ – максимальна частота обертання вала двигуна, хв⁻¹; r_0 – радіус кочення колеса без ковзання, м; U_B – передаточне відношення вищої передачі коробки передач ($U_B = 1$); C_V – коефіцієнт вищої передачі ($C_V = 1$).

Передаточне відношення трансмісії для першої передачі визначаємо, виходячи зі значень максимального коефіцієнта опору дороги і ККД трансмісії. Максимальний коефіцієнт опору дороги визначається з формули:

$$\Psi_{\max} = \sin \alpha + \cos \alpha \cdot f,$$

де α – граничний кут підйому дороги (для звичайних автомобілів $\alpha = 20^\circ$); f – коефіцієнт опору коченню по асфальтованій дорозі ($f = 0,01$).

$$\Psi_{\max} = 0,309 + 0,95 \cdot 0,01 = 0,3185.$$

Силу тяги на ведучих колесах, необхідну для руху електромобіля по асфальтованій дорозі з кутом нахилу 20° знаходимо з формули:

$$P_K = g \cdot \Psi_{\max} \cdot m_a.$$

Обертовий момент на ведучих колесах, необхідний для руху електромобіля по асфальтованій дорозі з кутом нахилу 20° , знаходимо з формули:

$$M_K = P_K \cdot r_0.$$

Максимальний обертовий момент на ведучих колесах на прямій передачі знаходимо з формули:

$$M_{K0} = (U_0 \cdot M_{ДВ \max}) \eta_{TP},$$

де $M_{дв}$ тах – максимальний обертовий момент, Н·м.

Для електромобіля передаточне число першої передачі знаходимо за формулою:

$$U_1 = \frac{M_K}{M_{KO}}$$

За наведеною методикою розраховано і розроблено конструктивну схему військового електромобіля. Початкові розрахункові показники електромобіля:

- максимальна швидкість 60 км/г;
- повна маса електромобіля 3,435 т;
- потужність двигуна номінальна 19 кВт;
- потужність двигуна максимальна 40 кВт;
- частота обертання вала двигуна номінальна 2540 об/хв;
- частота обертання вала максимальна 6200 об/хв;
- максимальний обертовий момент на валу двигуна 195 Н·м;
- передаточне число головної передачі 12,07;
- передаточне число першої передачі 1,28;
- передаточне число другої передачі 1,0.

Висновки

1. Порівняно з конструкціями автомобілів з ДВЗ, електромобілі мають суттєві переваги:
 - екологічна чистота приводу (нульові викиди в місці використання);
 - можливість стояти в пробках, не витрачаючи енергію на роботу двигуна на холостому ходу;
 - у разі використання сучасних емних акумуляторних батарей принципово можливе використання енергії, накопиченої в електромобілі за ніч, для згладжування піків енергоспоживання вдень.
2. Наведені матеріали підтверджують доцільність подальших розробок, спрямованих на створення вітчизняного військового електромобіля.
3. Виробництво у майбутньому військових електромобілів в Україні усуне необхідність закупати такі машини за кордоном.
4. Запропонована методика розрахунку конструктивних параметрів електромобіля може бути корисною слухачам, курсантам та студентам під час виконання кваліфікаційних робіт.

Список використаних джерел

1. Електромобиль: Техника и экономика [Текст] / В. А. Щетина, Ю. Я. Мордовский, Б. И. Центр, В. А. Богомазов; под общ. ред. В. А. Щетины. – Л. : Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1987. – 253 с.
2. Соснин, Д. А. Новейшие автомобильные электронные системы [Текст] : учеб. пособие для специалистов по ремонту автомобилей, студентов и преп. вузов и колледжей / Д. А. Соснин, В. Ф. Яковлев. – М. : СОЛОН – Пресс, 2005. – 240 с. – (Библиотека студента).
3. Коммерческие автомобили. – 2011. – № 5. – С. 38 – 40 [Электрон. ресурс]. – Режим доступа : <http://www.autocentre.ua/news/Komavto/39421.html>. – Загл. с экрана.
4. Lenta.ru [Электрон. ресурс]. – Режим доступа: <http://www.srariad.ru/2009/01/13/cars/http://lenta.ru/news/2009/01/13/cars/>. – Загл. с экрана.
5. Сайт електромобілістів України [Електрон. ресурс]. – Режим доступу: <http://e-m.org.ua/>. – Назва з екрану.
6. Мазін, С. П. Дослідження напрямків удосконалення силових установок і трансмісій та пропозиції щодо нової конструкції автомобіля з гібридною силовою установкою для спецпідрозділів ВВ МВС України [Текст] / С. П. Мазін, В. М. Франков, О. В. Пархомчук // Збірник наукових праць Академії внутрішніх військ МВС України. – Х. : Акад. ВВ МВС України, 2009. – Вип. 2 (14). – С. 10–15.
7. Кондратенко, О. П. Оцінювання енергетичних параметрів силової установки транспортного засобу з гібридною трансмісією на різних швидкісних режимах роботи [Текст] / О. П. Кондратенко, О. М. Дубина // Збірник наукових праць Академії внутрішніх військ МВС України. – Х. : Акад. ВВ МВС України, 2009. – Вип. 2 (14). – С. 4–9.

Стаття надійшла до редакції 13.03.2012 р.