

Переобладнання автомобіля з ДВЗ в електромобіль

Гнатов А. В.¹, Аргун Щ. В.¹, Гнатова Г. А.¹, Сохін П. А.¹

¹Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Україна

Анотація. Проведено аналіз та запропоновано послідовність дій щодо визначення потужності електродвигуна для електромобіля. Проведено розрахунок потужності тягового електродвигуна для переобладнання автомобіля з ДВЗ в електромобіль. Побудовано графічну залежність потужності тягового електродвигуна від швидкості електромобіля. Виконано розрахунок економічних показників переобладнання автомобіля.

Ключові слова: переобладнання автомобіля, тягова акумуляторна батарея, потужність електродвигуна, електромобіль, зарядна станція, енергоефективні технології.

Вступ

Сучасні реалії підштовхують все більшу кількість автомобілістів пересісти на екологічні та зручні в експлуатації електромобілі. На жаль, незважаючи на безліч переваг цієї альтернативи транспортним засобам (ТЗ) з двигуном внутрішнього згорання (ДВЗ), придбати електромобіль поки що можуть не всі через його високу ціну. Саме тому багато фірм та ентузіастів вже розпочали переобладнання автомобілів в електромобілі своїми власними силами. В багатьох випадках, такий підхід є більш дешевшим, ніж придбання готового електромобіля, однак має ряд недоліків. Тому, перш ніж приступити до переобладнання автомобіля з ДВЗ в електромобіль, варто зважити всі «за» та «проти» [1-3].

Переваги електромобіля всім відомі – це екологічність, безшумність і, найголовніше, суттєве зниження витрат на експлуатацію в порівнянні зі звичайним автомобілем з ДВЗ.

Економія на витратах відбувається за рахунок того, що «заправка» електромобіля може відбуватися від звичайної розетки. Не потрібно періодично міняти моторне мастило, фільтри, ремені та інші витратні матеріали.

Наприклад, тільки на зарядку від електромережі витрачається приблизно від 5 до 10 разів менше грошей, ніж на бензин/дизель, необхідний для подолання аналогічної відстані. Також менше часу і грошей витрачається на техобслуговування (ТО), так як обладнання

електромобіля не вимагає регулярного обслуговування і може працювати роками без ТО (враховуючи наявний досвід компаній Nissan, Tesla, Renault та BMW).

Про екологічність електромобіля всім добре відомо. Переробку авто з ДВЗ в електромобіль можна вважати посилюючим та реальним внеском у покращення екологічного простору навколо себе [4, 5].

Тож щодо переобладнання автомобіля з ДВЗ на електромобіль варто відзначити декілька додаткових позитивних аспектів:

- незважаючи на те, що на території України досить мало (станом на початок 2022 р.) станції швидкої зарядки тягових акумуляторних батарей (ТАБ), які обладнані спеціальними пристроями для їх заряджання постійним струмом, здійснити цю операцію можна навіть у домашніх умовах. Підзарядка ТАБ електромобіля від звичайної розетки є набагато вигіднішою, ніж використання комерційних станцій їх швидкого заряджання. Тим паче, що такий процес за умови регулярного використання є причиною пришвидшеної деградації ТАБ;
- при встановленні двозонного лічильника зарядки ТАБ у нічний час стає ще більше економічно вигідною;
- при переобладнанні автомобіля демонтуються всі системи, які забезпечують роботу ДВЗ, що спрощує експлуатацію та обслуговування автомобіля;

- системи пуску електромобіля набагато простіші, надійніші і дешевші, а в холодну пору року відпадає необхідність прогрівання двигуна (на відміну від автомобіля з ДВЗ).

До недоліків переобладнаного автомобіля з ДВЗ в електромобіль можна віднести наступне:

- процес переобладнання займає час і є достатньо дорогим;
- вага автомобіля зазвичай збільшується, а вільний простір в кузові автомобіля зменшується через встановлення ТАБ, від габаритів якої залежить пробіг автомобіля без підзарядки;
- є необхідність у постійному місці заряду електромобіля (бажано за нічним тарифом);
- термін служби ТАБ є обмеженим (від 2 до 12 років);
- після переобладнання виникає необхідність у офіційній реєстрації переробленого автомобіля;
- обмежений пробіг електромобіля на одній зарядці і доволі довгий час зарядки, що напряму залежить від ємності ТАБ.

Всі зазначені переваги та недоліки, необхідний середньодобовий пробіг автомобіля та його основне призначення (наприклад, експлуатація в міських умовах як особистого транспорту або потреба в пересуванні на великі відстані тощо) дозволяють кожному автовласнику особисто зробити висновок чи є сенс у переобладнанні автомобіля з ДВЗ в електромобіль [6, 7].

Аналіз публікацій

Сучасний світ не стоїть на місці, адже впровадження новітніх технологій дозволяє втілити в життя те, що ще вчора здавалося неможливим. Звісно, це не може обійти стороною і транспортну галузь. З'являються не лише новітні види транспорту, які здатні виконувати свої функції вже зовсім на іншому (фантастичному, як здавалося ще 15-20 років тому) рівні, а й зовсім нові технології у сфері їх обслуговування та ремонту [8 - 11].

Зростання цін на нафтопродукти та посилення екологічних норм дало поштовх розвитку автомобільного електротранспорту, а використання нових розробок у сфері електроніки та виробництві акумуляторів знімає багато обмежень щодо використання електромобілів [10, 12]. Нині вони впевнено входять у наше життя. Корпоративний автотранспорт, електронавантажувачі, автомобілі

служби доставки та міської поштової служби, особисті автомобілі, мінівантажівки та автобуси з електроприводом, оснащені потужними, більш ефективними і надійними електродвигунами та тяговими акумуляторами поступово замінюють транспорт з ДВЗ [13, 14].

В роботі [15] представлено процес переобладнання традиційного ТЗ з ДВЗ в електромобіль. У розробленій силовій установці використовується трифазний інвертор з польовим керуванням та просторово-векторною модуляцією. Розроблена бортова система заряду акумуляторів, що може працювати в режимах "Grid to Vehicle" та "Vehicle to Grid".

В статті [16] вченими представлені дослідження щодо перетворення існуючого автомобіля з ДВЗ в електромобіль та реалізація деяких функцій, притаманним автономним транспортним засобам (у відповідності до рівнів автономності).

В роботах [17-19] описано процес переробки міського автомобіля з ДВЗ в електромобіль. Приведено основні етапи вибору систем та агрегатів і того, як вони функціонують. Зроблено узагальнення щодо експлуатаційних параметрів електромобіля.

В роботі [20] представлено результати дослідження можливостей перетворення моторкиши Tuk Tuk в електромобіль. Науковцями сформовано рекомендації щодо розробки продукції та нової бізнес-моделі електричних "Tuk Tuk" та інших транспортних засобів місцевого виробництва.

Використовуючи послідовне дослідження змішаних методів, в статті [21] досліджується модернізація автомобілів з ДВЗ в електромобілі на прикладі Німеччини. Проведено аналіз того, як може виглядати життєздатна бізнес-модель. При цьому приділяється особлива увага потребам клієнтів і суспільному сприйняттю. За результатами проведених досліджень та модулювання зроблено висновки щодо того, як компанія може налаштувати та інтегрувати перетворення автомобілів з ДВЗ в електромобілі з урахуванням існуючої ринкової структури.

В роботі [22] представлено огляд різних електродвигунів для електромобілів з точки зору простоти конструкції, вартості, надійності та ефективності. Автори статті зробили висновок, що двигун постійного струму без щітково-колекторного вузла виявився ефективним і найбільше підходить для силового

приводу електромобіля та гібридного автомобіля. Опираючись на ці висновки науковці розробили концептуальний метод покращення контролю даного типу електродвигунів.

Як видно з проведеного аналізу публікацій, тематика даного дослідження є нагальною та актуальною. Її розвиток знаходить своє відображення у всіх частинах світу. Це не дивно, бо перехід на нові, екологічно чисті та енергоефективні технології на транспорті є одним з найважливіших питань сьогодення.

Мета та постановка задачі

Метою роботи є дослідження доцільності і можливості переобладнання автомобіля з ДВЗ в електромобіль з розрахунком терміну його окупності.

Для досягнення зазначеної мети в роботі необхідно розв'язати наступні задачі:

- дослідити основні компоненти для переобладнання автомобіля з ДВЗ в електромобіль та визначити вартість такого переобладнання;
- запропонувати послідовність розрахунку потужності тягового електродвигуна для електромобіля;
- провести техніко-економічний розрахунок щодо переобладнання автомобіля з ДВЗ в електромобіль і визначити термін його окупності.

Переобладнання автомобіля з ДВЗ в електромобіль

Основні витрати при переобладнанні автомобіля з ДВЗ на електромобіль складаються з витрат на придбання наступних компонентів:

- тягового електродвигуна, який зазвичай

розташовується на місці традиційного ДВЗ;

- контролера та блоків управління, що керують усіма функціями машини та розподілом енергії;
- обігрівача салону, який призначений для нагрівання повітря в салоні автомобіля в холодну пору року;
- тягової акумуляторної батареї – основного накопичувача електроенергії, що є найдорожчою складовою частиною переобладнаного автомобіля;
- інших комплектувальних виробів відповідно до обраної компоновальної схеми, зокрема, різноманітні дроти, перехідники, системи кріплення тощо.

Переобладнання автомобіля за вартістю переробки, станом на початок 2022 р. (Таблиця 1), умовно можна розділити на 3 категорії [23]:

- ЕКОНОМ (ціна від 135 тис. грн. до 245 тис. грн.) – пробіг на одному заряді до 80 км при максимальній швидкості 90 км/год. Час зарядки ТАБ триватиме від 1,5 год до 2 год;
- БАЗОВИЙ (ціна від 24,5 тис. грн.) – пробіг на одному заряді від 150 км до 200 км, максимальна швидкість понад 150 км/год, передбачене встановлення системи рекуперації, пристроїв швидкої зарядки, спеціальних контролерів на "Android" та GPS. Швидка зарядка триває близько 1 год;
- ПРЕМІУМ (ціна від 595 тис. грн.) – пробіг на одному заряді від 350 км і вище, максимальна швидкість понад 200 км/год, встановлення системи рекуперації, пристроїв швидкої зарядки, спеціальних контролерів на "Android", швидка зарядка – 1 год, інші функції.

Таблиця 1 – Варіанти переобладнання автомобіля з ДВЗ на електромобіль

	ЕКОНОМ від 135 тис. грн.	БАЗОВИЙ від 245 тис. грн.	ПРЕМІУМ від 595 тис. грн.
Пробіг на одному заряді	до 80 км	від 150 км до 200 км	від 350 км і вище
Максим. швидкість	90 км/год.	до 200 км/год.	понад 200 км/год.
Термін служби ТАБ	10 років або 3000 циклів		
Система рекуперації	-	+	+
Швидкий заряд	від 1,5 год. до 2 год.	1 год.	1 год.
Додаткові функції		спеціальні контролери на "Android" та GPS	спеціальні контролери на "Android" та GPS, інші функції (визначає клієнт)

Визначення потужності тягового електродвигуна

Після прийняття рішення щодо переобладнання автомобіля з ДВЗ в електромобіль пе-

ршим треба вирішити питання щодо потужності електричної тягової установки [24].

Для цього потрібно врахувати сили, які діють на автомобіль під час руху, рис. 1.

На рис. 3 позначені основні три сили: F_T –

сила тяги; F_{TP} – сила тертя; $F_{ОП}$ – сила опору повітря.

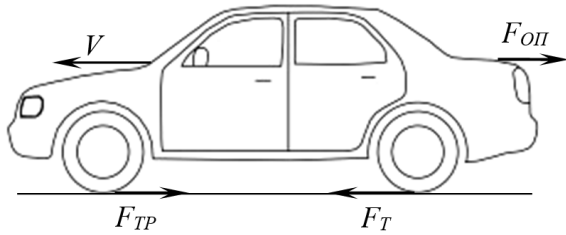


Рис. 1. Основні сили, що діють на автомобіль під час його руху

Для руху автомобіля необхідно виконання наступного співвідношення:

$$F_T \geq F_{TP} + F_{ОП}. \quad (1)$$

Величини зазначених в (1) сил визначаються з виразів:

$$F_{TP} = \mu \cdot m \cdot g, \quad (2)$$

$$F_{ОП} = \frac{C_x \cdot S \cdot \rho \cdot V^2}{2}, \quad (3)$$

де μ – коефіцієнт тертя кочення гума/асфальт (середнє значення $\mu = 0,02$); m – повна вага транспортного засобу, кг; g – прискорення вільного падіння – $9,8 \text{ м/с}^2$; C_x – коефіцієнт аеродинамічного опору повітря; S – лобова площа автомобіля (площа поперечного перерізу транспортного засобу у напрямку руху), м^2 ; ρ – щільність повітря – $1,29 \text{ кг/м}^3$ (за нормальних умов); V – швидкість автомобіля, м/с .

Підставляємо значення виразів (2) та (3) у вираз (1), отримуємо:

$$F_T \geq (\mu \cdot m \cdot g) + \left(\frac{C_x \cdot S \cdot \rho \cdot V^2}{2} \right). \quad (4)$$

Вираз (4) дозволяє розрахувати величину сили, яка потрібна для урухомлення автомобіля.

При визначенні потужності електродвигуна для тягової установки електромобіля, перш за все, слід зазначити, що вона розраховується у відповідності до швидкості автомобіля. Тобто, спочатку потрібно задатися швидкістю електромобіля, а потім на цю

швидкість розраховується потужність електродвигуна. Отже, потужність електродвигуна електромобіля (P) визначається з виразу:

$$P = F_T \cdot V. \quad (5)$$

З виразів (5) та (4), отримуємо:

$$P = \left((\mu \cdot m \cdot g) + \left(\frac{C_x \cdot S \cdot \rho \cdot V^2}{2} \right) \right) \cdot V. \quad (6)$$

Вираз (6) дає змогу підібрати тяговий електродвигун для електромобіля за необхідною його потужністю.

В якості прикладу, для переобладнання візьмемо автомобіль ЗАЗ "Sens" (або "Lanos"). На вторинному ринку, з кузовом у нормальному стані, його можна придбати від 52 тис. грн. (станом на початок 2022 р.). Для цього автомобіля проведемо розрахунки потужності електродвигуна, яка потрібна для розгону електромобіля до визначеної швидкості.

Проведення розрахунків за вирази (3), (4) та (6) виконані за наступних умов:

- повна вага транспортного засобу – це його вага з урахуванням ваги пасажирів та ТАБ;

- коефіцієнт аеродинамічного опору повітря (C_x) для легкових автомобілів $0,2-0,7$ ($0,35$ у середньому);

- площа поперечного перерізу транспортного засобу у напрямку руху (S) для легкових автомобілів від $1,5 \text{ м}^2$;

- коефіцієнт тертя кочення для легкових автомобілів (μ) на рівному асфальтному покритті дороги – $0,015$.

Переходимо до безпосереднього розрахунку потужності електродвигуна для електромобіля. У відповідності до міських умов експлуатації автомобіля ЗАЗ "Sens" маємо наступні дані: $C_x = 0,35$; $S = 2,2 \text{ м}^2$; $m = 1595 \text{ кг}$; $\mu = 0,02$; $g = 9,8 \text{ м/с}^2$; $\rho = 1,29 \text{ кг/м}^3$.

Результати розрахунку потужності електродвигуна електромобіля для різної швидкості наведені у Таблиці 2.

У першій колонці (Таблиця 2) приведені значення електроенергії, яка необхідна для переміщення електромобіля. Але слід врахувати і втрати енергії на шляху від акумуляторної батареї до тягового електродвигуна. Тому, поділимо отриманий результат (перша колонка, Таблиця 2) на загальний ККД тягового приводу (трансмисії $\sim 0,76$, електродви-

гуна $\sim 0,90$ і контролера $\sim 0,95$).

Таблиця 2 – Розрахунки потужності тягового електродвигуна для електромобіля

P , Вт	V , км/год.	ККД	$P_{\text{реал.}}$, Вт
879,03	10	0,65	1352,36
1821,94	20	0,65	2802,98
2892,58	30	0,65	4450,12
4154,83	40	0,65	6392,05
5672,56	50	0,65	8727,02
7509,64	60	0,65	11553,29
9729,93	70	0,65	14969,13
12397,32	80	0,65	19072,80
15575,66	90	0,65	23962,55
19328,82	100	0,65	29736,65
23720,68	110	0,65	36493,36
28815,11	120	0,65	44330,94
34675,97	130	0,65	53347,65

Загальний ККД, приблизно, дорівнює 0,65. Фактично, акумуляторна батарея повинна віддавати більше електроенергії для здійснення руху автомобіля, бо її частина витрачається на опір тертя у вузлах, тепловіддачу, втрати в контактах тощо).

Отже, для розгону електромобіля, наприклад, до швидкості 40 км/год. витрачається енергопотужність акумуляторної батареї рівна $4154,83/0,65=6392,05$ Вт.

У 4-й колонці (Таблиця 2) приведені остаточні значення потужності потрібної для розгону електромобіля до визначеної швидкості.

За результатами розрахунків побудовано криву залежності потужності електродвигуна, необхідну для руху електромобіля, від швидкості руху, рис. 2.

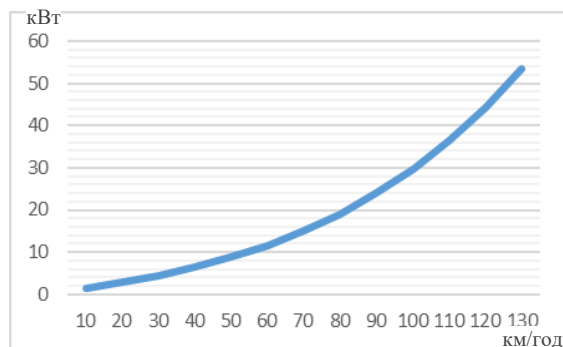


Рис. 2. Залежність потужності електродвигуна від швидкості електромобіля

Бажано вибрати двигун на ту потужність, яка наведена (в залежності від швидко-

сті) в Таблиці 2, 4-а колонка. Адже при постійній роботі на номінальній потужності з виходом на перенавантаження (наприклад, при русі електромобіля по нерівній дорозі), двигун буде перегріватися. Тому потрібно мати запас потужності електродвигуна, що забезпечить його довгу і ефективну роботу у різноманітних дорожніх умовах.

Отримані дані (Таблиця 2 та рис. 2) розраховано у припущенні, що дорога не має ухилу. Якщо місцевість по якій передбачається експлуатація електромобіля має ухил, то потрібно при розрахунку потужності електродвигуна врахувати його величину. В такому випадку, формулу (6) перепишемо з урахуванням кута (α) дорожнього ухилу:

$$P = \left((\mu \cdot m \cdot g) \cdot \cos \alpha + \left(\frac{C_x S \rho V^2}{2} \right) \right) \cdot V. \quad (7)$$

На рис. 3 приведено залежність потужності електродвигуна від дорожнього ухилу при русі електромобіля зі швидкістю 40 км/год.

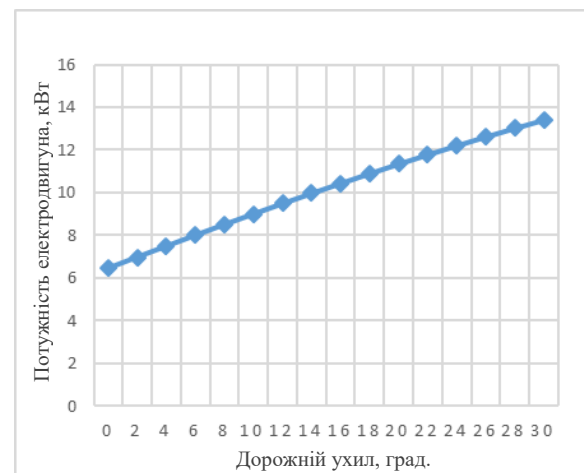


Рис. 3. Залежність потужності електродвигуна від дорожнього ухилу при русі електромобіля зі швидкістю 40 км/год.

Економічні розрахунки

Для проведення економічного розрахунку припустимо, що автомобіль в день долає відстань в 100 км. Середня ціна палива станом на початок 2022 р. наведена у Таблиці 3.

Вважаємо, що автомобіль споживає 10 л на 100 км. Тариф на електроенергію на 1 кВт/год. в середньому складає 2,1361 грн.

Таблиця 3 – Середня ціна палива станом на початок 2022 р.

Пальне	Ціна, грн/л
А-95	34,21
А-92	33,83
ДП (дизельне паливо)	37,86
Газ	28,50

В середньому, електромобіль витрачає 15 кВт на 100 км. Варто зазначити, що у рік на автомобіль з ДВЗ на обслуговування та

ремонт потрібно додатково витратити близько 10-15 тис. грн. (без урахування витрат, аналогічних і для електромобілів, наприклад, заміни щіток склоочисників, сезонної заміни шин тощо). Для підрахунку візьмемо середнє значення – 12,5 тис. грн.

Розрахунок експлуатаційних витрат на рік при заявленому пробігу наведено в Таблиці 4. При розрахунках прийнято, що автомобіль споживає пального марки: А-95 – 8 л на 100 км; А-92 – 10 л на 100 км; ДП – 8 л на 100 км; газу – 12 л на 100 км.

Таблиця 4 – Розрахунок експлуатаційних витрат

Пальне	Ціна, грн.	Витрати пального на місяць, грн.	Витрати пального на рік, грн.	Обслуговування на 1 рік, грн.	Загальні витрати за 10 років, грн.
А-95, грн./л	34,21	8210,4	98524,8	12500	1110248
А-92, грн./л	33,83	10149	121788	12500	1342880
ДП, грн./л	37,86	9086,4	109036,8	12500	1215368
Газ, грн./л	28,50	10260	123120	12500	1356200
Ел. енергія, грн./(кВт/год.)	2,136 1	961,2225	11534,67	-	115346,7

Для повноти картини щодо фінансових показників потрібно зазначити початкову вартість автомобіля, який вибрано для переобладнання. Як вже вказувалось вище, для прикладу вибрано ЗАЗ "Sens/Lanos" за ціною від 52 тис. грн. (станом на початок 2022 р.).

Для переобладнання ЗАЗ "Sens/Lanos" використаємо БАЗОВИЙ варіант за ціною (з урахуванням можливого подорожчання) 280 тис. грн. Підсумкові результати розрахунків фінансових показників зведено до Таблиці 5.

Таблиця 5 – Розрахунок фінансових показників експлуатації ЗАЗ Sens/Lanos

	Ціна ТЗ, тис. грн	Експлуатаційні витрати за 10 років, тис. грн	Сумарні витрати, тис. грн	Витрати на переобладнання, тис. грн
ЗАЗ Sens/ Lanos з ДВЗ	52 тис.	1110,248	1162,248	-
ЗАЗ Sens електро	52 тис.	115,3467	167,3467	280,0

Нескладно підрахувати, що придбання та переобладнання ЗАЗ "Sens/Lanos" в електромобіль обійдеться у 332 тис. грн. Якщо взяти цю суму за основу при розрахунку терміну окупності, то отримаємо, що окупність електромобіля настане на 3-му році його експлуатації (рис. 4). Вона досягається завдяки меншим витратам на експлуатацію електричного ТЗ у порівнянні з експлуатацією ТЗ на ДВЗ [25].

Але, правильніше за основу брати суму витрат понесених лише на переобладнання автомобіля. В наведеному прикладі це 280 тис. грн. При придбанні ТЗ все одно сплачуються кошти в незалежності від того чи він буде у подальшому переобладнаний, чи ні.

На придбання ЗАЗ "Sens/Lanos" витрачено 52 тис. грн. Отже, при такій постановці питання, вкладення на переобладнання автомо-

біля в електромобіль окупаються вже на початку 3-го року його експлуатації.

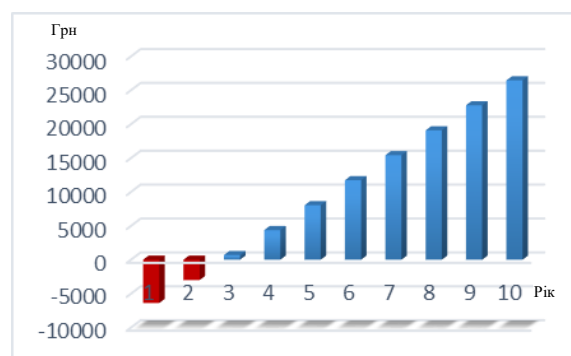


Рис. 4. Аналіз витрат на експлуатацію електричного автомобіля по відношенню до авто з ДВЗ

Проведені розрахунки показують, що при щоденній експлуатації автомобіля з пробігом біля 100 км на добу, більш вигідною є експлуатація електромобіля. Такий підхід являється досить перспективним і економічно привабливим для тих компаній та фірм, які займаються доставкою товарів в межах міста або компаніям, що здають в оренду автомобілі. Очевидно, що чим більший пробіг автомобіля на добу, тим швидше настане термін його окупності.

Висновки

Проведено дослідження доцільності і можливості переобладнання автомобіля з ДВЗ в електромобіль з розрахунком терміну окупності його переобладнання. Розглянуто основні елементи процесу переобладнання.

Проведено аналіз та запропоновано послідовність дій щодо визначення потужності електродвигуна для електромобіля. На прикладі ЗАЗ "Sens/Lanos" проведено розрахунок потужності тягового електродвигуна для переобладнаного електромобіля. Побудовано графічну залежність потужності тягового електродвигуна від швидкості електромобіля. Проведено розрахунки та побудовано залежність потужності тягового електродвигуна від дорожнього ухилу при русі електромобіля з визначеною швидкістю.

Виконано розрахунок економічних показників переобладнання автомобіля на базі ЗАЗ "Sens/Lanos" в електромобіль. Результати розрахунку показують, що термін окупності переобладнаного електромобіля настане на 3-му році його експлуатації.

Результати проведених досліджень показують, що переобладнання автомобілів з ДВЗ на електромобілі являється доцільним і економічно вигідним компаніям, що займаються доставкою товарів в межах міста. Також, це вигідно компаніям і фірмам, що займаються орендою автомобілів. Але тут слід зважати на те, чи є в межах міста розвинута зарядна інфраструктура. В іншому випадку, проблема зарядки електромобілів стає одним з головних факторів, які впливають на рішення щодо доцільності переобладнання наявного автопарку на електротягу.

Конфлікт інтересів

Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів щодо публікації цієї статті.

Література

1. Del Pero, F., Delogu, M., & Pierini, M. (2018). Life Cycle Assessment in the automotive sector: A comparative case study of Internal Combustion Engine (ICE) and electric car. *Procedia Structural Integrity*, 12, 521-537.
2. Как сделать свое авто электромобилем. (2018, June 10). from <https://megawatt.by/forum/pereoborudovanie-v-elektromobil/44-kak-sdelat-svoe-avto-elektromobilem>
3. Гнатов, А. В., Аргун, Щ. В., & Улянец, О. А. (2017). Електромобілі–майбутнє, яке вже настало. *Автомобіль і електроніка. Сучасні технології*, (11), 24-28.
4. Тарасова, В. В., Разживин, В. П., Тельный, А. С., Гнатов, А. В., Аргун, Щ. В., & Дзюбенко, А. А. (2017). Анализ перспектив развития нетрадиционных источников энергии и оценка возможностей их использования. *Автомобіль і електроніка. Сучасні технології*, (12), 50-56.
5. Arhun, S., Hnatov, A., Mygal, V., Khodyriev, S., Popova, A., & Hnatova, H. (2020, April). An Integrated System of Alternative Sources of Electricity Generation for Charging Urban Electric BuSPP. In *2020 IEEE 40th International Conference on Electronics and Nanotechnology (ELNANO)* (pp. 619-624). IEEE.
6. Hnatov, A., Arhun, S., & Ponikarovska, S. (2017). Energy saving technologies for urban bus transport. *International journal of automotive and mechanical engineering*, 14, 4649-4664.
7. Hnatov, A., Arhun, S., Tarasov, K., Hnatova, H., Mygal, V., Patlins, A. Researching the model of electric propulsion system for bus using Matlab Simulink //2019 IEEE 60th International Scientific Conference on Power and Electrical Engineering of Riga Technical University (RTUCON). – IEEE, 2019. – С. 1-6. DOI: 10.1109 / RTUCON48111.2019.8982352
8. Gnatov, A., Trunova, I., & Sch, A. (2016). Disk matching devices for methods of exterior levelling of car body panels. *Автомобильный транспорт*, (39).
9. Eker, U., Ahmed, S. S., Fountas, G., & Anastasopoulos, P. C. (2019). An exploratory investigation of public perceptions towards safety and security from the future use of flying cars in the United States. *Analytic methods in accident research*, 23, 100103.
10. Migal, V., Arhun, S., Hnatov, A., Dvadnenko, V., & Ponikarovska, S. (2019). Substantiating the criteria for assessing the quality of

- asynchronous traction electric motors in electric vehicles and hybrid cars. *Journal of the Korean Society for Precision Engineering*, 36(10), 989-999.
11. Pei, J., Guo, F., Zhang, J., Zhou, B., Bi, Y., & Li, R. (2021). Review and analysis of energy harvesting technologies in roadway transportation. *Journal of Cleaner Production*, 288, 125338.
 12. Mauger, A., Julien, C., Paolella, A., Armand, M., & Zaghbi, K. (2019). Recent progress on organic electrodes materials for rechargeable batteries and supercapacitors. *Materials*, 12(11), 1770.
 13. Wolff, S., & Madlener, R. (2019). Driven by change: Commercial drivers' acceptance and efficiency perceptions of light-duty electric vehicle usage in Germany. *Transportation research part C: emerging technologies*, 105, 262-282.
 14. Christensen, L., Klauenberg, J., Kveiborg, O., & Rudolph, C. (2017). Suitability of commercial transport for a shift to electric mobility with Denmark and Germany as use cases. *Research in Transportation Economics*, 64, 48-60.
 15. Pedrosa, D., Monteiro, V., Gonçalves, H., Martins, J. S., & Afonso, J. L. (2014, October). A case study on the conversion of an internal combustion engine vehicle into an electric vehicle. In *2014 IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference (VPPC)* (pp. 1-5). IEEE.
 16. Francis, J., Narayamparambil, A. B., Johnson, A., Mathew, J., Sankar, V., & George, J. M. (2021, November). Conversion of internal combustion engine car to semi-autonomous electric car. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 2070, No. 1, p. 012203). IOP Publishing.
 17. Dankov, D., Madjarov, N., & Prodanov, P. (2021, September). Description of the conversion process and results on the Opel Corsa with an internal combustion engine into an electric car. In *2021 XXX International Scientific Conference Electronics (ET)* (pp. 1-5). IEEE.
 18. Vražić, M., Vuljaj, D., Pavasović, A., & Pauković, H. (2014, May). Study of a vehicle conversion from internal combustion engine to electric drive. In *2014 IEEE International Energy Conference (ENERGYCON)* (pp. 1544-1548). IEEE.
 19. Lairenlakpam, R., Thakre, G. D., Gupta, P., Singh, Y., & Kumar, P. (2018, December). Electric conversion of a polluting gasoline vehicle into an electric vehicle and its performance and drive cycle analysis. In *2018 IEEE International Conference on Power Electronics, Drives and Energy Systems (PEDES)* (pp. 1-6). IEEE.
 20. Yiangkamolsing, C., Laoonual, Y., Channarong, S., Katikawong, W., Sasawat, P., & Yaotanee, B. (2019, May). A Development of Electric Tuk Tuk Conversion in Thailand. In *2019 IEEE Transportation Electrification Conference and Expo, Asia-Pacific (ITEC Asia-Pacific)* (pp. 1-8). IEEE.
 21. Hoeft, F. (2021). Internal combustion engine to electric vehicle retrofitting: Potential customer's needs, public perception and business model implications. *Transportation Research Interdisciplinary Perspectives*, 9, 100330.
 22. Zarma, T. A., Galadima, A. A., & Aminu, M. A. (2019). Review of Motors for Electric Vehicles. *Journal of Scientific Research and Reports*, 1-6.
 23. Навсегда забыть о бензине: украинцы переделывают старые авто в современные электромобили // Матеріали сайту - 2015. – Режим доступу. <https://businessviews.com.ua/ru/tech/id/navsegda-a-zabyt-o-benzine-ukraincy-peredelyvajut-starye-avto-v-sovremennye-elektromobili-837/>
 24. Расчет мощности электродвигателя и ёмкости батареи // Матеріали сайту - 2017. – Режим доступу. <https://electrotransport.ru/ussr/index.php?topic=43434.0>
 25. Hnatov A.V., Arhun S.V., Hnatova H.A., Sokhin P.A. Technical and economic calculation of a solar-powered charging station for electric vehicles. *Автомобільний транспорт*, Вип. 49, 2021, 8 стор.
- Гнатів Андрій Вікторович**¹, д.т.н., проф. каф. автомобільної електроніки, тел. +38 06674380887, e-mail: kalifus76@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0932-8849>
- Аргун Щасяна Валіковна**¹, д.т.н., проф. каф. автомобільної електроніки, тел. +38 0993780451, e-mail: shasyana@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6098-8661>
- Гнатова Ганна Андріївна**¹, студент автомобільного факультету ХНАДУ, тел. +38 0990679809, e-mail: hannahnatova@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7263-3024>
- Сохін Павло Андрійович**¹, аспірант кафедри автомобільної електроніки, тел. +38 0633473433, e-mail: info@elektrocar.com.ua
- ¹Харківський національний автомобільно-дорожній університет, 61002, Україна, м. Харків, вул. Ярослава Мудрого, 25.

Conversion of a car from an ICE into an electric car

Abstract. Problem. The advantages of the electric car (EV) are well-known – it is environmentally friendly, quiet and the most important feature is a radical reduction in the cost of operating the EV compared to a conventional car with an internal combustion engine. Cost savings are due to the fact that its "refueling" comes from a conventional electrical outlet. No need to periodically change engine oil, filters, belts and other consumables. Also, you will spend less time and money on maintenance. So, by converting traditional cars from internal combustion engines to EVs, you are making your best and real contribution to improving the ecological space around you. **Goal.** The goal is conducting a study on the conversion of the car from the internal combustion engine to the EV with the calculation of the payback period of the converted car. **Methodology.** Analytical methods of research on the methods of conversion of traditional cars from internal combustion engines to EV were used as well as the physical methods of calculating the action of forces acting on the car and determining the speed of its movement. Also, the methods of experimental research and mathematical methods of processing and modulation of the obtained results and the methods of calculating technical and economic indicators were used. **Results.** The study was conducted on the conversion of the car from an internal combustion engine to an EV. The main elements of re-equipment were considered. The analysis was carried out and the sequence of actions on definition of power of the electric motor for the electric car was offered. The calculation of economic indicators of car conversion on the basis of ZAZ "Sens" in EV was performed. The results of the calculation show that in the 3rd year of operation of the converted car the cost of conversion will be reimbursed. **Originality.** On the example of ZAZ

"Sens" the power of the traction motor for its conversion into EV was calculated. The graphical dependence of the traction motor power on the EV speed was constructed. The calculations and the dependence of the power of the traction motor on the road slope when moving EV at a certain speed were performed. **Practical value.** Conversion of cars from internal combustion engines to EV is expedient and economically advantageous for companies engaged in various services for the delivery of goods within the city. Also, it is beneficial to companies and firms engaged in car rental. But here it should be borne in mind that a well-developed charging infrastructure is required within the city.

Key words: car conversion, traction battery, electric motor power, electric car operation, charging station, electric car, energy efficient technologies.

Hnatov Andrii¹, professor, Doct. of Science, Head of Vehicle Electronics Department,
tel. +38 066-7438-0887,

e-mail: kalifus76@gmail.com,

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0932-8849>

Arhun Shchasiana¹, professor, Doct. of Science, Vehicle Electronics Department,

e-mail: shasyana@gmail.com,

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6098-8661>

Hnatova Hanna¹, student of the Automobile Faculty, tel.+38 0990679809,

e-mail: hannahnatova@gmail.com,

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7263-3024>

Sokhin Pavlo¹, postgraduate, Vehicle Electronics Department, tel. +38 0633473433,

e-mail: info@elektrocar.com.ua,

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7263-3024>

¹Kharkov National Automobile and Highway University, 25, Yaroslava Mudrogo str., Kharkiv, 61002, Ukraine.