

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПЕРЕОБЛАДНАНОГО КОЛІСНОГО ТРАНСПОРТНОГО ЗАСОБУ КАТЕГОРІЇ М1 В ЕЛЕКТРОМОБІЛЬ

Анотація. В роботі розглядається автомобіль ЗАЗ 965 «Запорожець» категорії М1, який був переобладнаний в батарейний електромобіль. Автомобіль оснащено тяговим електродвигуном Балканкар ДС 3,6/7,5/14, силовою акумуляторною батареєю на літієвих елементах максимальною напругою 100,8 В та ємністю 6,45 кВт·год. Система керування тяговим електродвигуном імпульсна з електронними силовими перемикачами. Проведено дорожні експериментальні дослідження, отримана витрата електричної енергії автомобілем при різних швидкостях, визначено коефіцієнт, що характеризує співвідношення спожитої електричної енергії до кінетичної енергії автомобіля. Порівняння результатів теоретичних та експериментальних досліджень свідчить про адекватність розробленої математичної моделі і вихідних положень, покладених в основу розрахунку показників ефективності витрати енергії переобладнаних автомобілів категорії М1 в електромобілі.

Ключові слова: автомобіль, електромобіль, переобладнання, експеримент, дослідження, дорожні випробовування, математична модель, ефективність

Постановка проблеми. За статистичними даними міністерства інфраструктури України [1] від 2019 року, автомобільна транспортна система України налічує більше 9,2 млн. КТЗ, у тому числі: 6,9 млн. легкових автомобілів; \approx 250 тис. автобусів; \approx 1,3 млн. вантажних автомобілів; понад 840 тис. од. мототранспорту. Частка ЕКТЗ – електричних та гібридних колісних транспортних засобів складає близько 5%. При подорожчанні нафтопродуктів всі ці КТЗ з ДВЗ треба бути переобладнувати на інші види енергоносіїв з метою подальшого використання ресурсу кузова та трансмісії, щоб надати їм можливість виробити свій ресурс. Одним з напрямків є переобладнання силової установки (СУ) КТЗ на електричну або гібридну.

Покращення енергетичних та екологічних властивостей, забезпечення необхідних тягово-швидкісних властивостей переобладнаних ЕКТЗ може бути

досягнуто удосконаленням як конструктивних, так і експлуатаційних факторів, зокрема, раціональним вибором типу та характеристик елементів системи «САКБ – ТЕД – Трансмiсія», (САКБ – силова акумуляторна батарея, ТЕД – тяговий електродвигун) шляхом підбору передаточних відношень трансмісії, вибором режимів роботи СУ та алгоритму блока керування, типу АЕ – акумуляторний елемент, потужності САКБ, типа та потужності ТЕД.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Зміна СУ КТЗ впливає на зміну показників тягово-швидкісних властивостей та показників витрати енергії переобладнаних ЕКТЗ. Мінімальні тягово-швидкісні показники ЕКТЗ обумовлені необхідністю виконувати ними їздовий цикл при сертифікаційних випробовуваннях. Необхідні показники СУ можна отримати шляхом оптимізації системи «САКБ – ТЕД – Трансмiсія», цей напрямок досить детально розглянутий в роботах [2–6]. Питання доцільності створення автомобілів з ГСУ розглянуто в роботах А.В. Дубинена, А.А. Бикова, М.Г. Колобова, Н.О. Грищенко, П.М. Киркіна, В.Х. Далека, В.Ф. Харченко, М.І. Шпіка, Н.О. Грищенко, О.М. Тiмкова, О. С. Іванова, С.А. Серікова [7–11] та багатьох інших.

Забезпечення необхідних показників тягово-швидкісних властивостей ЕКТЗ є складним завданням та потребує більш детальної оцінки внаслідок великих труднощів при знаходженні вихідних даних та внутрішніх параметрів системи.

Мета дослідження. Перевірка адекватності розробленої математичної моделі і вихідних положень, покладених в основу розрахунку параметрів тягово-швидкісних показників та показників ефективності витрати енергії переобладнаних КТЗ категорії М1 в ЕКТЗ.

Викладення основного матеріалу дослідження. При переобладнанні серійного КТЗ в ЕКТЗ постає ряд питань, що треба вирішити (рис. 1). Враховуючи вимоги нормативних документів не можна збільшувати повну масу ЕКТЗ, треба зберегти розподіл маси по осях автомобіля для збереження показників стійкості та керованості. Для автомобіля категорії М1 середнього класу приблизна вага елементів КТЗ що демонтуються складає близько 300 кг, відповідно, додаткове електричне обладнання має мати приблизно таку ж вагу.

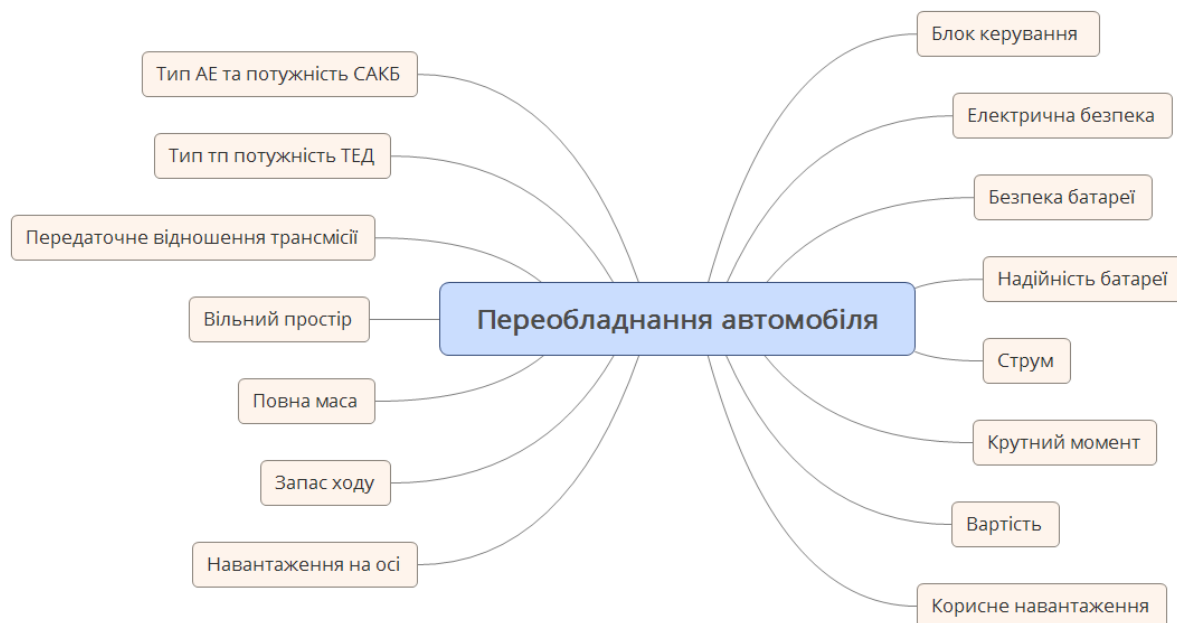


Рисунок 1 – Задачі, що виникають при переобладнанні в ЕКТЗ

Аналітичні дослідження тягово-швидкісних властивостей та показників ефективності витрати енергії переобладнаних КТЗ за різних типів елементів системи «САКБ – ТЕД – Трансмісія» проведені при деяких допущеннях, зокрема, про характер протікання тягової характеристики ЕМ, характеристик ТЕД, САКБ, величину коефіцієнта опору кочення й ін.

Визначення показників витрати електричної енергії на 100 км пробігу, проводилося за методикою Правила ООН №101-00 [12].

Дорожні випробування передбачали перевірку аналітичних і емпіричних залежностей, отриманих у результаті проведених досліджень, а також уточнення їх з урахуванням факторів, що мають місце в реальних дорожніх умовах [13]. Випробування проводяться згідно європейських стандартів ЕН 1986-2:2001 [14] і ЕН 1986-1 [15].

Під час випробувань визначались такі параметри, як витрата електричної енергії, ефективний крутний момент, частота обертання валу ТЕД, величина струму та напруга САКБ.

Об'єктом експериментального дослідження був обраний автомобіль ЗАЗ 965 «Запорожець» категорії М1. КТЗ було переобладнано в ЕМ для експериментальної перевірки основних положень роботи (рис. 2). В результаті це забезпечило реальну оцінку й кількісне порівняння переваг і недоліків кожного з запропонованих рішень. Штатний бензиновий двигун був демонтований, замість нього через виготовлену перехідну плиту був встановлений ТЕД.

Автомобіль обладнаний необхідним електронним та електричним обладнанням.

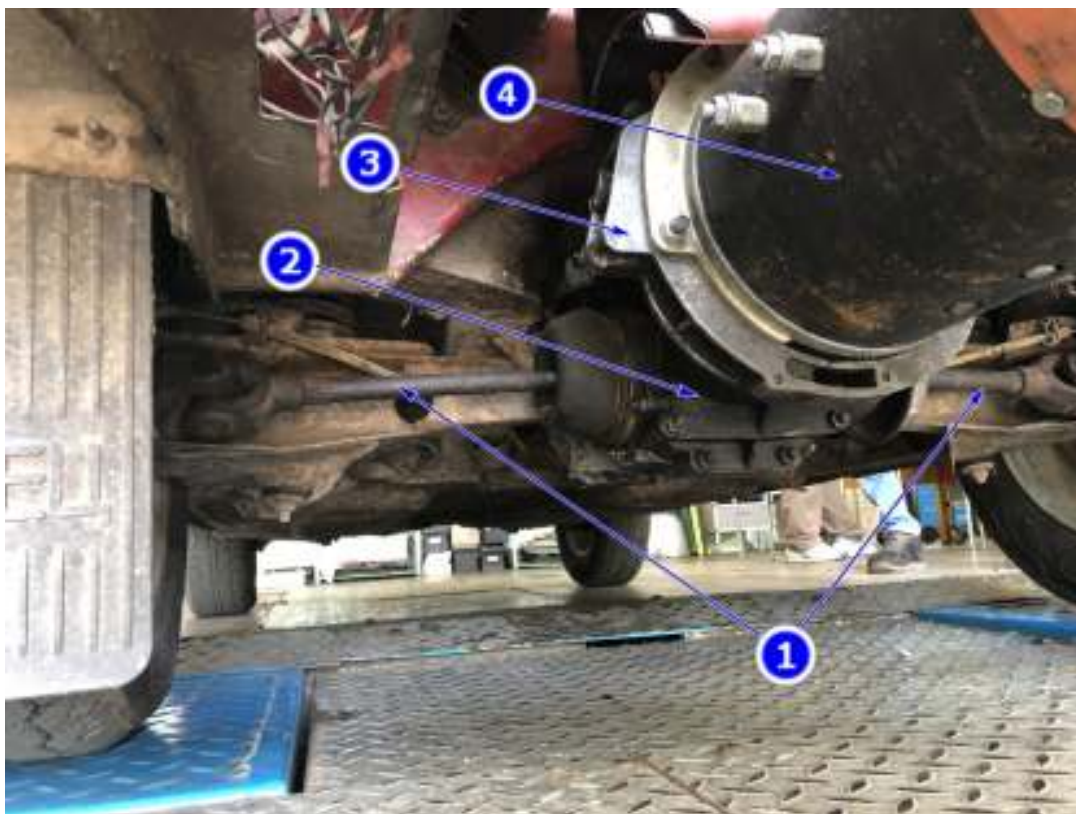


Рисунок 2 – Електрична силова установка переобладнаного ЕКТЗ
1 – піввосі; 2 – коробка передач; 3 – перехідна плита; 4 – ТЕД

Джерелом механічної енергії є ТЕД постійного струму марки Балканкар ДС 3,6/7,5/14, технічна характеристика якого наведена в табл. 1.

ТЕД через перехідну плиту з'єднаний з стандартною механічною коробкою передач, яка встановлена на задньої осі автомобіля, інші агрегати – серійні. Випробування проводилися на третій та четвертій передачах в коробці передач.

Таблиця 1

Технічна характеристика ТЕД

Параметр	Величина
Марка	Балканкар ДС 3,6/7,5/14
Номінальна напруга	75 В
Тип збудження	послідовне
Режим роботи	3,6 S1
Номінальний струм	60 А
Номінальна частота обертання	1400 хв ⁻¹
Маса	80 кг

На рис. 3 показано розміщення ТЕД та електронного обладнання в моторному відсіку переобладнаного ЕКТЗ. Система керування тяговим двигуном імпульсна з електронним силовим перемикачем, марки «Романтик-1».



Рисунок 3 – Розміщення елементів: 1) ТЕД , 2) бортового зарядного пристрою, 3) перетворювача постійного струму, 4) блоку силових електроніки (контролера) та 5) головного запобіжника/вимикача в моторному відсіку переобладнаного автомобіля

Контролер для керування ТЕД розроблено на потужних польових транзисторах, який має високий ККД – 95% та можливість програмного налаштування. Контролер має робочий діапазон живлення від 24 В до 150 В. Максимальний струм 700 А. Керування потужністю на виході ТЕД відбувається за допомогою контролера, який змінює скважність ШИМ сигналу в залежності від сигналу з блоку керування та логіки роботи системи керування. Зміна скважності ШИМ сигналу відбувається при спрацюванні захисту, в разі падіння напруги на батареї або перегріві силових електроніки чи ТЕД. Також, скважність ШИМ сигналу примусово обмежується, якщо струм батареї перевищує максимально допустимий.

Тягова батарея складається з 12-ти літійових модулів, технічна характеристика модуля наведена в табл. 2. Максимальна напруга САКБ, що відповідає рівню заряду 100% складає 100,8 В, середня – 91,2 В, мінімальна напруга після

якої різко падає потужність батареї 78 В це значення вважається 0 % рівень заряду.

Таблиця 2

Технічна характеристика літійового модуля

Параметр	Величина
Конструктивні номери	295B9-3NA9A, 295B93NA9A, 295B9-3NA0A, 295B93NA0A
Ємність	64 А*год
Кількість елементів в модулі	4
Середня напруга	7,6 В
Максимальна напруга	8,4 В
Довжина	303 мм
Ширина	223 мм
Товщина	35 мм
Маса	3,8 кг

Експериментальні дослідження витрат електричної енергії ЕКТЗ, виконується з метою визначення значення коефіцієнта η_{eA} , що характеризує долю спожитою електричної енергії, яка використовується для створення кінетичної енергії КТЗ.

Витрати електроенергії в режимі розгону ЕКТЗ до заданої швидкості дорівнює:

$$A = \int_0^{t_{v=v}} U \cdot I dt, \quad (1)$$

де $t_{v=v}$ – момент досягнення заданої швидкості, с;

U – напруга на ТЕД, В;

I – струм, що споживається ЕКТЗ з САКБ, А.

Витрати електроенергії в режимі розгону КТЗ, Вт·с, за дискретній формі запису визначаються за допомогою програмних засобів за формулою:

$$A = \Delta t_n \sum_{n=1}^n U_n \cdot I_n \quad (2)$$

де n – кількість вимірювань від моменту початку розгону до досягнення заданої швидкості;

Δt_n – проміжок часу, через який вимірюється напруга, U_n , та струм, I_n .

Коефіцієнт використання електроенергії, η_{eA} визначається за формулою:

$$\eta_{eA} = \frac{W_k}{A} = \frac{mV^2}{2A}, \quad (3)$$

де W_k – кінетична енергія, яку накопичив ЕКТЗ, Вт·с;

m – маса спорядженого ЕКТЗ, кг;

V – задана швидкість ЕКТЗ, м/с;

Таким чином, для виконання експериментального визначення коефіцієнта η_{eA} треба виконати вимірювання швидкості, стуму та напруги живлення ТЕД ЕКТЗ під час його розгону до заданої швидкості. Під час проведення експериментальних досліджень було виконано вимірювання зазначених величин при русі у двох протилежних напрямках на контрольній ділянці, реєстрація показників здійснювалася за допомогою комп'ютера із застосуванням перетворювача аналогової інформації в цифрову USB Oscilloscope. За отриманими значеннями струму та напруги були розраховані відповідно до формули (1) витрати електроенергії (Вт·с) коли швидкість КТЗ дорівнює (10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55 км/год). Результати вимірювань наведені у таблиці 3.

Таблиця 3

Витрати електроенергії під час рівномірного прямолінійного руху

Швидкість ЕКТЗ, км/год	Номери вимірювань				Середнє значення, Вт·с	Розраху- нок, Вт·с	Відхи- лення, %
	1	2	3	4			
10	441,5	554,7	544,3	577,9	529,62	486,69	8,82
15	816,8	953,8	981,5	941,9	923,49	861,16	7,24
20	1335	1497	1572	1363	1442,50	1392,96	3,56
25	2090	2341	2432	2201	2266,48	2134,57	6,18
30	2976	3273	3543	3105	3224,74	3138,37	2,75
35	4319	4888	4936	4364	4626,97	4457,00	3,81
40	5952	6472	6670	6590	6421,26	6142,14	4,54
45	7824	9225,	8959	8421	8607,44	8249,44	4,34
50	9591	12214	11981	12734	11630,3	10818,35	7,51
55	12370	16353	16053	16132	15227,4	13952,80	9,14

Середнє значення показників витрат енергії для кожного діапазону швидкості визначено згідно з ДСТУ ISO 2602 [16] за формулою:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (5)$$

Статистична обробка результатів розрахунків коефіцієнту використання електроенергії, η_{eA} , за методикою ДСТУ ISO 3301, визначається за формулою (3), результати наведено у табл. 4.

Таблиця 4

Результати статистичних розрахунків

Показник	Значення
Середнє	8,89670799
Стандартна помилка	0,38268973
Медіана	9,031107039
Стандартне відхилення	1,210171185
Дисперсія вибірки	1,464514297
Ексцес	-1,138726143
Асиметричність	-0,494338047
Інтервал	3,308787183
Сума	88,9670799
Рівень надійності (95,0%)	0,865704314

Порівнюючи результати, отримані експериментальним та розрахунковим методами, можна відзначити, що спостерігається якісний та кількісний збіг значень.

Висновки. Визначені показники мають однакові тенденції зміни величин і незначні величини розглянутих відхилень. Розбіжність теоретичних і експериментальних результатів витрати енергії становить 3,56...14,87 %. Розбіжність пояснюється тим, що теоретичні значення витрати енергії є меншими ніж експериментальні і отримані при мінімальній розрядній напрузі. Однак їх можна використовувати для аналізу. Тому розбіжність результатів можна вважати задовільною.

ЛІТЕРАТУРА / ЛИТЕРАТУРА

1. Статистичні дані по галузі автомобільного транспорту [Electronic resource] // Міністерство інфраструктури України. URL: <http://mtu.gov.ua/content/statistichni-dani-po-galuzi-avtomobilnogo-transportu.html> (accessed: 03.02.2020).
2. Філіпова Г.А. Експериментальні дослідження тягово-швидкісних властиво-

стей і паливної економічності газобалонних автомобілів // УТУ, м.Київ. 1997. № 3. Р. 64–66.

3. Сахно В.П., Філіпова Г.Ф. Розвиток конструкцій газобалонних авто-мобілів та їх сучасний стан // Львів – Трускавець, 1997. Vol. 4. Р. 149–151.

4. Горбаха М.М. Покращання показників техніко-експлуатаційних властивостей автомобілів при їх переобладнанні: дис. на здобуття ступеня к.т.н.: 05.22.02 — Автомобілі та трактори. Київ: Національний транспортний університет, 2006. 156 р.

5. Бумага О.Д. Покращання показників техніко-експлуатаційних властивостей міських газобалонних автобусів: дис... канд. техн. наук: 05.22.02. Київ: Національний транспортний ун-т., 2005. 158 р.

6. Горбаха М.М. Визначення показників тягово-швидкісних властивостей автомобіля „ГАЗель” з різними силовими агрегатами // Київ, 2003. № 8. Р. 307–310.

7. Далека В.Х. Тяговий привід транспортних засобів з гібридною силовою установкою. 2010. № 97. Р. 226–331.

8. Дубинен А.В., Быков А.А., Колобов М.Г. Гибридный транспорт. 2009. № 88. Р. 275–280.

9. Грищенко Н.О., Киркин П.М. Транспортні засоби для міських пасажирських перевезень з гібридною силовою установкою. 2011. № 122.

10. Тімков О.М., Іванов О.С. Визначення потужності агрегату для рекуперації кінетичної енергії та мінімальної швидкості з якої доцільно починати рекупераційне гальмування для гібридного автомобіля в залежності від їздового циклу // Управління Проектами Системний Аналіз І Логістика Технічна Серія. Національний транспортний університет, 2012. № 9. Р. 197–201.

11. Серіков С.А. Силовая установка гибридного автомобиля как объект управления. 2009. № 3. Р. 45–50.

12. Правила ЕЭК ООН N 101 Единообразные предписания, касающиеся официального утверждения легковых автомобилей, оборудованных двигателем внутреннего сгорания, в отношении измерения объема выбросов двуокиси углерода и расхода топлива, а также транспортных средств категорий M1 и N1, оборудованных электроприводом, в отношении измерения расхода электроэнергии и запаса хода.

13. Налимов В.В. Теория эксперимента. Москва: Наука, 1971. 205 р.

14. EN 1986 – 2:2001 “Electrically propelled road vehicles – Measurement of energy performances – Part 2: Thermal electric hybrid vehicle.”

15. EN 1986 – 1:1997 “Electrically propelled road vehicles – Measurement of energy performances – Part 1: Pure electric vehicle.”
16. ДСТУ ISO 2602:2006. Подавання результатів випробування статистичне. Оцінювання середнього значення. Довірчий інтервал (ISO 2602:1980, IDT) [Electronic resource]. URL: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=50572 (accessed: 13.10.2020).

REFERENCES

1. Statystychni dani po haluzi avtomobilnoho transportu [Electronic resource] // Ministerstvo infrastruktury Ukrainy. URL: <http://mtu.gov.ua/content/statystychni-dani-po-galuzi-avtomobilnoho-transportu.html> (accessed: 03.02.2020).
2. Filipova H.A. Eksperymentalni doslidzhennia tiahovo-shvydkisnykh vlastyvostei i palyvnoi ekonomichnosti hazobalonnykh avtomobiliv // UTU, m.Kyiv. 1997. № 3. P. 64–66.
3. Sakhno V.P., Filipova H.F. Rozvytok konstruksii hazobalonnykh avto-mobiliv ta yikh suchasnyi stan // Lviv – Truskavets, 1997. Vol. 4. P. 149–151.
4. Horbakha M.M. Pokrashchannia pokaznykiv tekhniko-eksploatatsiinykh vlastyvostei avtomobiliv pry yikh pereobladnanni: dys. na zdobuttia stupenia k.t.n.: 05.22.02 — Avtomobili ta traktory. Kyiv: Natsionalnyi transportnyi universytet, 2006. 156 p.
5. Bumaha O.D. Pokrashchannia pokaznykiv tekhniko-eksploatatsiinykh vlastyvostei miskykh hazobalonnykh avtobusiv: dys... kand. tekhn. nauk: 05.22.02. Kyiv: Natsionalnyi transportnyi un-t., 2005. 158 p.
6. Horbakha M.M. Vyznachennia pokaznykiv tiahovo-shvydkisnykh vlastyvostei avtomobilia „HAZel” z riznyimi sylovymi ahrehatamy // Kyiv, 2003. № 8. P. 307–310.
7. Daleka V.Kh. Tiahovyi pryvid transportnykh zasobiv z hibrydnoiu sylovoiu ustanovkoiu. 2010. № 97. P. 226–331.
8. Dubynen A.V., Bykov A.A., Kolobov M.H. Hybrydnyi transport. 2009. № 88. P. 275–280.
9. Hryshchenko N.O., Kyrkyn P.M. Transportni zasoby dlia miskykh pasazhyrskykh perevezhen z hibrydnoiu sylovoiu ustanovkoiu. 2011. № 122.
10. Timkov O.M., Ivanov O.S. Vyznachennia potuzhnosti ahrehatu dlia rekuperatsii kinetychnoi enerhii ta minimalnoi shvydkosti z yakoi dotsilno pochynaty rekuperatsiine halmuvannia dlia hibrydnoho avtomobilia v zalezhnosti vid yizdovoho tsykladu // Upravlinnia Proektamy Systemnyi Analiz I Lohistyka Tekhnichna Seriia. Natsionalnyi transportnyi universytet, 2012. № 9. P. 197–201.
11. Serikov S.A. Sylovaia ustanovka hybrydnoho avtomobilya kak ob'ekt

upravleniya. 2009. № 3. P. 45–50.

12. UNECE Regulation No. 101 Uniform provisions concerning the approval of passenger cars equipped with an internal combustion engine with regard to the measurement of the emission of carbon dioxide and fuel consumption and of categories M₁ and N₁ vehicles equipped with an electric power train with regard to the measurement of electric energy consumption and range.

13. Nalymov V.V. Teoriya eksperymenta. Moskva: Nauka, 1971. 205 p.

14. EN 1986 – 2:2001 “Electrically propelled road vehicles – Measurement of energy performances – Part 2: Thermal electric hybrid vehicle.”

15. EN 1986 – 1:1997 “Electrically propelled road vehicles – Measurement of energy performances – Part 1: Pure electric vehicle.”

16. DSTU ISO 2602:2006. Podavannia rezultativ vyprobuvannia statystychno. Otsiniuvannia serednoho znachennia. Dovirchyi interval (ISO 2602:1980, IDT) [Electronic resource]. URL: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=50572 (accessed: 13.10.2020).

Received 23.03.2021.

Accepted 26.03.2021.

Экспериментальные исследования переоборудованного колесного транспортного средства категории М1 в электромобиль

В работе рассматривается автомобиль ЗАЗ 965 «Запорожец» категории М1, который был переоборудован в батарейный электромобиль. Автомобиль оснащен тяговым электродвигателем Балканкар ДС 3,6/7,5/14, силовой аккумуляторной батареею на литиевых элементах, максимальное напряжение 100,8 В и емкость 6,45 кВт·ч. Система управления тяговым электродвигателем импульсная с электронными силовыми переключателями. Проведено дорожные экспериментальные исследования, определен расход электроэнергии автомобилем при различных скоростях движения, определен коэффициент, характеризующий соотношение потребленной электрической энергии к кинетической энергии автомобиля.

Сопоставление результатов теоретических и экспериментальных исследований свидетельствует про адекватность разработанной математической модели и исходных положений, положенных в основу расчета показателей эффективности использования электрической энергии электромобилями, переоборудованными из серийных автомобилей с ДВЗ.

Experimental research of a re-equipment wheeled vehicle category M1 into electromobile

Today, there are more than 1 billion ICE equipped vehicles worldwide. Some of them are electric vehicles, hybrid vehicles of various types, hydrogen and gas power plants. The part of environmentally friendly wheeled vehicles is very small. With an increase in the price of oil products in the foreseeable future, all these cars with ICE will have to be either disposed of or refurbished. Moreover, mainly for other types of energy, more environmentally friendly, with the aim of fur-

ther using the resource of the body and transmission, in order to provide them with the opportunity to develop their resource. One of the promising areas is the re-equipment of the power plant to an electric or hybrid one.

Ensuring the required indicators of traction and speed properties of electric vehicles is a difficult task and requires a more detailed assessment due to the great difficulties in finding the initial data and internal parameters of the system. The presented article considers the vehicle ZAZ 965 "Zaporozhets" of category M1, which was re-equipment into a battery electromobile. The vehicle is equipped with a traction electric motor Balkankar DS 3.6/7.5/14, a power storage battery with lithium cells, a maximum voltage of 100.8 V and a capacity of 6.45 kW·h. The traction motor control system is impulse with electronic power switches. Traction motor power is controlled by a controller that changes the pulse-width modulation (PWM) depending on the control signal from the control unit and the logic of the system. The change in PWM signal also occurs when the thermal protection is triggered, and in the event of a voltage drop on the power storage battery.

Experimental road studies have been carried out, electricity consumption by a vehicle at various speeds has been determined, a coefficient has been determined that characterizes the ratio of consumed electrical energy to the kinetic energy of a vehicle. Comparison of the results of theoretical and experimental studies testifies to the adequacy of the developed mathematical model and the initial provisions underlying the calculation of the indicators of the efficiency of the use of electric energy by electromobile re-equipment from common vehicle with ICE.

Гладченко Володимир Сергійович – Національний транспортний університет, аспірант кафедри туризму.

Гладченко Владимир Сергеевич - Национальный транспортный университет, аспирант кафедры туризма.

Hladchenko Volodimir – National Transport University, Postgraduate student, Department of Tourism.