

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АВТОМОБІЛЬНО-ДОРОЖНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ

МАУШ ХАКІМ



УДК 629.113

**ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ АВТОМОБІЛІВ В УМОВАХ
ЕКСПЛУАТАЦІЇ ЗА РАХУНОК ГІБРИДНИХ ТЕХНОЛОГІЙ**

Спеціальність 05.22.20 – Експлуатація та ремонт засобів транспорту

Автореферат

дисертації на здобуття наукового ступеня

кандидата технічних наук

Харків – 2017

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана у Харківському національному автомобільно-дорожньому університеті Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор
Бажинов Олексій Васильович
Харківський національний автомобільно-дорожній університет, завідувач кафедри автомобільної електроніки.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Кравченко Олександр Петрович
Житомирський державний технологічний університет, м. Житомир, професор кафедри автомобілів та автомобільного господарства;

кандидат технічних наук, доцент
Сергієнко Микола Єгорович,
Національний технічний університет НТУ “ХП”, м. Харків, професор кафедри автомобіле- та тракторобудування.

Захист відбудеться “22” листопада 2017 р. о 14 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д64.059.02 при Харківському національному автомобільно-дорожньому університеті за адресою: 61002, Україна, м. Харків, вул. Ярослава Мудрого, 25.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Харківського національного автомобільно-дорожнього університету за адресою: 61002, Україна, м. Харків, вул. Ярослава Мудрого, 25.

Автореферат розісланий “__” _____ 2017 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради

О.П. Смирнов

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Обґрунтування вибору теми дослідження. На збереження зовнішнього середовища направлені такі проекти, які зменшують шкідливі викиди від автомобілів, знижують витрату нафтових та газових палив, стимулюють розвиток гібридних автомобілів та електромобілів, використовують альтернативні екологічно чисті види палива, мають національне значення.

Але єдиної концепції по переобладнанню базового автомобіля в гібридний з метою підвищення його енергоефективності в умовах експлуатації поки що немає. Кожен виробник сучасних автомобілів має свою думку на процес виробництва гібридних силових установок для автомобілів.

Таким чином актуальність роботи пов'язана з економічними та соціальними проблемами сучасності, що обумовлено впровадженням екологічно чистих транспортних засобів і дозволяє підвищити паливну економічність автомобілів й зменшити викиди шкідливих речовин в атмосферу. Основними перевагами транспортних машин, які обладнані інтелектуальними системами керування та екологічно чистими силовими установками, є зниження витрати вуглеводневого пального та викидів шкідливих речовин в атмосферу. Впровадження енергозберігаючих технологій на автомобільному транспорті забезпечує вирішення економічних та екологічних проблем сучасності.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота виконана на кафедрі автомобільної електроніки Харківського національного автомобільно-дорожнього університету. Результати, отримані в процесі виконання дисертації, є складовою частиною комплексу досліджень, проведених в рамках держбюджетних науково-дослідних робіт Міністерства освіти і науки: «Створення синергетичних систем електромобіля» (ДР0109U001352, 2010р.), «Розробка гібридної силової установки дорожнього транспортного засобу» (ДР0112U001241, 2012-2013рр.), де здобувач був виконавцем окремих етапів.

Мета і задачі дослідження. Метою дисертаційної роботи є підвищення енергоефективності легкових автомобілів в умовах експлуатації за рахунок удосконалення гібридної силової установки.

Для досягнення мети поставлені наступні задачі:

- проаналізувати конструктивні особливості гібридних силових установок легкових автомобілів;
- визначити перспективну схему гібридної силової установки базового автомобіля;
- обґрунтувати режими роботи гібридної силової установки;
- розробити експериментальний зразок гібридної силової установки для базового автомобіля;
- провести експериментальні дослідження гібридної силової установки базового автомобіля в реальних умовах експлуатації.

Об'єкт дослідження – процес управління гібридною силовою установкою автомобіля, яка використовує в якості джерела енергії електричну енергію акумуляторної батареї.

Предмет дослідження – методи управління тягово-швидкісним режимом гібридної силової установки в залежності від умов експлуатації.

Методи дослідження. Теоретичні дослідження дисертації базуються на методах системного аналізу, математичному моделюванні і основних принципах системотехніки. Експериментальні дослідження виконані з використанням електричних вимірювань механічних величин і оцінки впливу на роботу силової гібридної установки від зовнішніх умов.

Наукова новизна отриманих результатів полягає у розвитку методів оцінювання гібридних технологій та переобладнання базового автомобіля в гібридний, що дозволило вирішити актуальну наукову задачу підвищення енергоефективності легкових автомобілів в умовах експлуатації.

При цьому вперше:

- розроблена концепція забезпечення енергоефективності базового автомобіля переобладнаного в гібридний, що відрізняється від існуючих застосуванням комплексного та системного підходу на етапах проектування, виробництва та експлуатації;

- обґрунтовано режими роботи гібридної силової базового автомобіля, що відрізняється від існуючих методом управління тяговим електроприводом на основі генераторної асинхронної електричної машини.

Удосконалено:

- схемотехнічне рішення переобладнання базового автомобіля в гібридний з метою підвищення його енергоефективності.

Дістали подальший розвиток:

- принципи переобладнання базових автомобілів в гібридні по критерію мінімальної витрати палива в залежності від умов експлуатації.

Практична значимість отриманих результатів полягає в тому, що запроваджено системний підхід до вибору режимів роботи гібридної силової установки по критерію мінімальної витрати палива в залежності від умов роботи.

Результати наукових досліджень викладено у методичних і практичних рекомендаціях, що застосовуються у виробничій діяльності Товариства обмеженої відповідальності «ТЕХНО-АРТ» офіційного дилера Mitsubishi Motors, АФ «Криворізький Автоцентр» ПАТ «Дніпропетровськ-Авто», а також у навчальному процесі підготовки бакалаврів і магістрів за напрямком «Електромеханіка, енергетика, електротехніка».

Особистий внесок здобувача. Результати теоретичних і експериментальних досліджень, що виносяться на захист, отримані особисто автором.

У працях, виконаних у співавторстві, здобувачу належать наступні результати [1 - 10]:

- запропонована методика вибору параметрів електроприводу і технічне рішення для досягнення ефективної роботи електродвигуна як в тяговому режимі так і в режимі рекуперації [1];

- розроблені методи контролю заряду окремих літій-іонних акумуляторних батарей [2];

- вибір раціональної схеми електродвигуна в приводі силової установки гібридного автомобіля [3,4];

- визначені параметри живлення та струму при рекуперативному гальмуванні [5,7];

- дано економічне обґрунтування доцільності типу гібридної силової установки [6];

- обґрунтовано принципи конверсії базового автомобіля в гібридний [10].

Апробація результатів дисертації. Основні результати дисертаційної роботи виголошено і ухвалено на конференціях і нарадах: I Міжнародній науково – технічній конференції «Автомобіль і електроніка. Сучасні технології» – (м. Харків, 2011 р.); XV Міжнародні науково-технічній конференції «Автомобільний транспорт: проблеми і перспективи» – (м. Севастопіль, 2012 р.); II Міжнародній науково – технічній конференції «Автомобіль і електроніка. Сучасні технології» – (м. Харків, 2012 р.); Всеукраїнській науково-практичній конференції «Інформаційні технології і мехатроніка» – (м. Харків, 2014 р.)

Публікації. Основні положення та наукові результати дисертаційної роботи одержані автором самостійно і повністю опубліковані в 10 наукових роботах. Серед них 1 монографія, 6 статей, що входять до фахових видань України (зокрема в електронних виданнях – 1 стаття), 1 стаття опублікована у закордонному виданні, 4 публікації у виданнях, що входять до міжнародних наукометричних баз. За матеріалами досліджень опубліковано 3 тези доповідей міжнародних наукових конференцій.

Структура та обсяг дисертації. Дисертаційна робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел і додатку. Дисертація складає 185 сторінок, у тому числі додаток на 3 сторінках. Обсяг основного тексту дисертації становить 154 сторінки, 81 рисунок, 14 таблиць. Список використаних джерел складає 115 найменувань на 14 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** подано загальну характеристику роботи; обґрунтовано актуальність теми; сформульовано мету, завдання, об'єкт та предмет дослідження; описано застосовані методи дослідження та зв'язок роботи з

науковими програмами, темами, планами; визначено наукову новизну і практичне значення отриманих результатів; надано інформацію про апробацію та публікацію результатів дисертаційних досліджень.

У **першому** розділі. Проведено аналіз підходів до підвищення енергоефективності автомобілів, особливості і тенденцій розвитку екологічно-чистих транспортних засобів, серед яких використання альтернативних технологій акумуляції енергії, застосування гібридних силових установок. Світовий досвід створення екологічно чистих транспортних засобів свідчить про те, що найбільш вдалим та конкурентоспроможним рішенням є використання в автомобілі гібридної силової установки.

Розв'язання проблем, пов'язаних із використанням гібридних технологій для транспортних машин займалися С.А Серіков, В.Я Двандненко (ХНАДУ), І. Кулікова (МДТУ, МАМІ, Москва), Ф. Еспозіто (Francesco Esposito, Universiti degli Studi di Napoli Federico II, Naples, Italy), Д. Шроуера (D. Schoreder), Institut of Electric Drive Systeme, Technische Universität München, Germany) та ін. Ними було встановлено, що найбільш ефективною гібридною силовою установкою є паралельна схема включення електродвигуна в трансмісію базового автомобіля. Завдяки синергетичному використанню позитивних якостей ДВЗ і електричного двигуна, автомобілі мають підвищену потужність, енергетичний та динамічний потенціал і відповідають екологічним нормам.

Другий розділ роботи присвячено теоретичним дослідженням тягового – швидкісних характеристик гібридного автомобіля.

В розділі було розглянуто синергетичний підхід щодо створення гібридних силових установок, проведений аналіз схемних рішень побудови синергетичних установок автомобілів, розглянуті та проаналізовані альтернативні варіанти побудови електротрансмісій в гібридних силових установках автомобілів: послідовна, паралельна і послідовно-паралельна схеми та визначена концепція переобладнання базового автомобіля в гібридний.

При побудові екологічно чистого автомобіля ХНАДУ найефективнішою схемою трансмісії гібридних силових установок є послідовно-паралельна схема. Початок руху і рух на невисоких швидкостях здійснюється в двох випадках: тільки на електричній тязі, або комбіновано ДВЗ та електродвигун, що істотно підвищує екологічну чистоту автомобіля, особливо в міському циклі руху.

Для моделювання тягового швидкісних характеристик автомобіля вибрано вантажно-пасажирський варіант автомобіля ЗАЗ-Сенс, який успішно пройшов всі стендові та дорожні випробування. Тому результати комп'ютерного моделювання можна порівняти з реальними дорожніми випробуваннями.

Для створення математичної моделі гібридної силової установки автомобіля необхідно побудувати підсистеми усіх її основних блоків. Для цього моделюємо в блоці “автомобіль” підсистеми “engine” (двигун внутрішнього згоряння), “gearbox” (коробка перемикавання передач), “U₀” (головна передача), “R_k” (ведучі колеса). Побудова моделі систем зводиться до того, щоб за

допомогою програми “Simulink” зібрано схему, що відображає формулу, яка описує заданий вузол. Крім того в модель підставлено потужність двигуна, передаточні числа коробки передач, головної передачі та інші дані, які вибрані з технічних характеристик автомобіля.

Основними вузлами гібридної електромеханічної трансмісії автомобіля є: електричний генератор, тяговий електричний двигун, акумуляторна батарея, система управління (рис. 1).

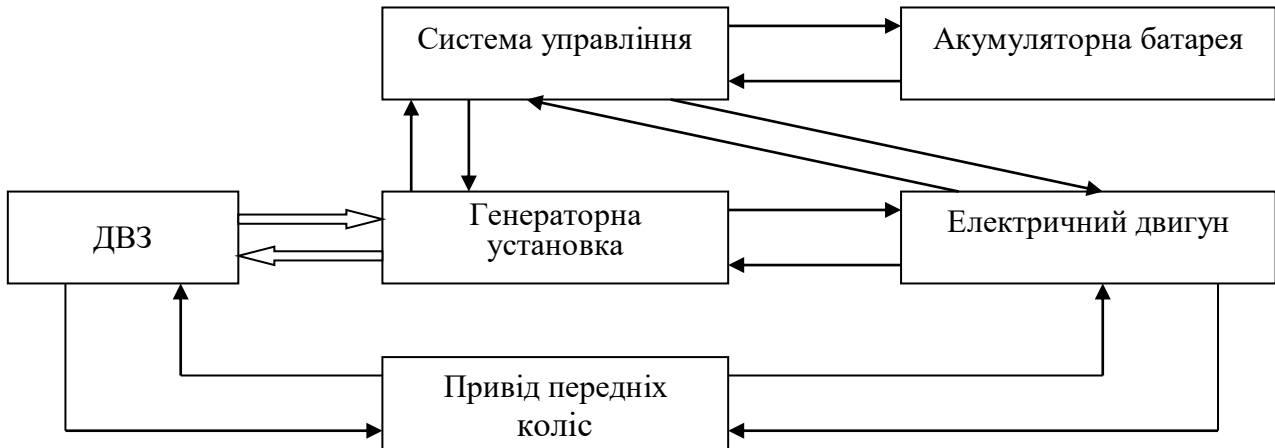


Рисунок 1 – Схема структурна електромеханічної трансмісії гібридної силової уставки синергетичного автомобіля ХНАДУ

Рівняння тяги для паралельної схеми гібридного автомобіля при наступних умовах:

– ДВЗ, акселератор натиснут (тяговий режим)

$$\frac{\eta_{\text{тр}} u_{\text{гп}}}{r} [M_{\text{ДВЗ}} u_{\text{кп}} - M_{\text{Е}} u_{\text{егп}}] - F_{\text{с.коч}} - F_{\text{с.повт}} - F_{\text{с.ух}} - a_{\text{р}} m \sigma = 0 \quad (1)$$

– ДВЗ, акселератор відпущен (ПХХ)

$$\frac{\eta_{\text{тр}} u_{\text{гп}}}{r} [M_{\text{ДВЗ}} u_{\text{кп}} + M_{\text{Е}} u_{\text{егп}}] F_{\text{с.коч}} - F_{\text{с.повт}} - F_{\text{с.ух}} + a_{\text{у}} m \sigma = 0 \quad (2)$$

– електродвигун, акселератор натиснуто (тяговий режим)

$$\frac{\eta_{\text{тр}} u_{\text{гп}}}{r} [M_{\text{Е}} u_{\text{егп}}] - F_{\text{с.коч}} - F_{\text{с.повт}} - F_{\text{с.ух}} - a_{\text{р}} m \sigma = 0 \quad (3)$$

– електродвигун, акселератор відпущено (накат)

$$\frac{\eta_{\text{тр}} u_{\text{ГП}}}{r} [M_{-E} u_{\text{ЕГП}}] - F_{\text{с.коч}} - F_{\text{с.повт}} - F_{\text{с.ух}} + a_y m \sigma = 0 \quad (4)$$

де $\eta_{\text{тр}}$ – ККД трансмісії;

$u_{\text{ГП}}$ – передавальне число головної передачі;

$u_{\text{ЕГП}}$ – передавальне число електротрансмісії;

$M_{\text{ДВЗ}}$ – крутний момент ДВЗ в робочому режимі;

$M_{-\text{ДВЗ}}$ – крутний момент ДВЗ в режимі примусового холостого ходу;

r – радіус кочення колеса;

m – маса автомобіля;

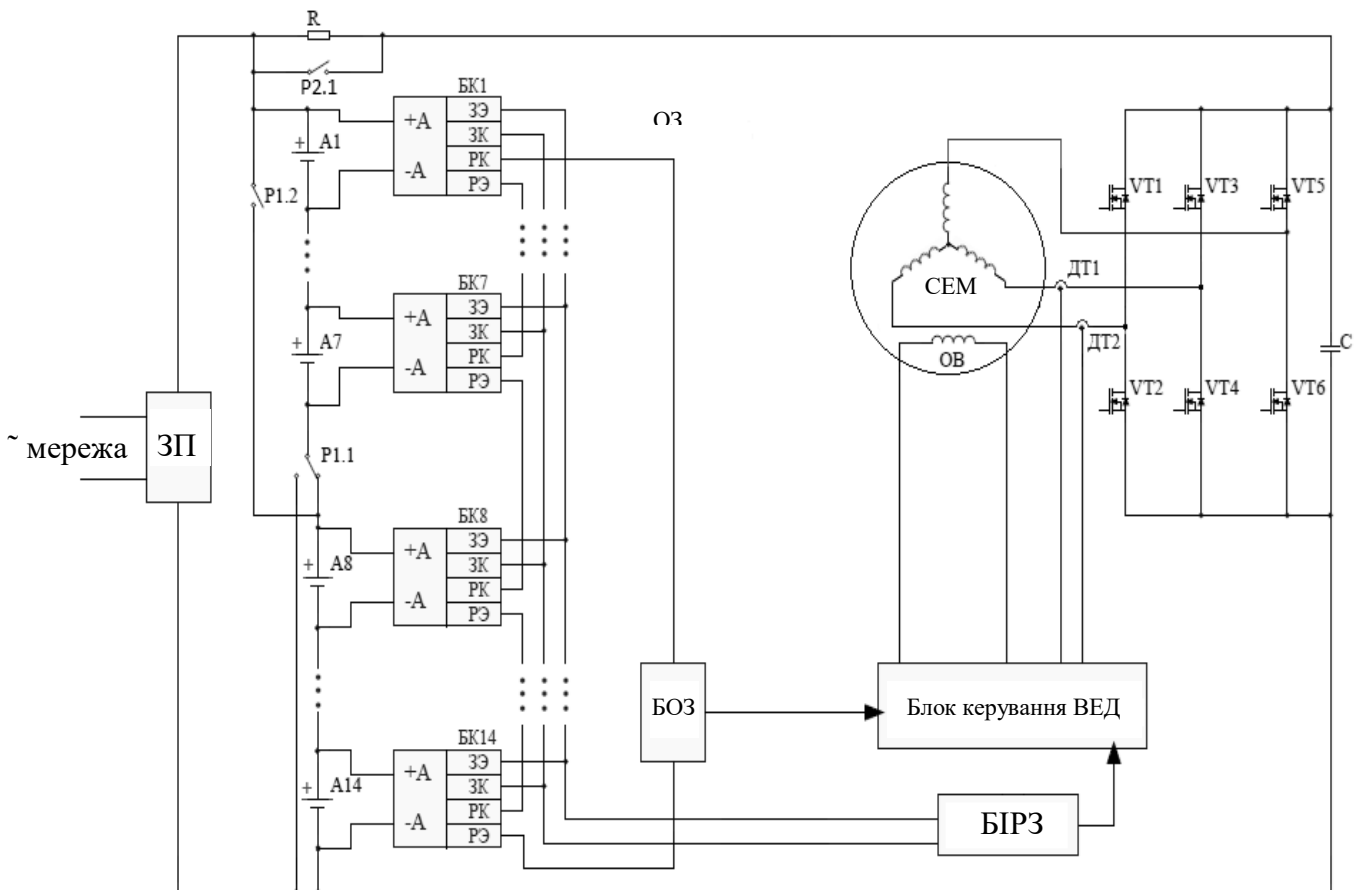
a_p, a_y – прискорення відповідно p – розгону та y – уповільнення;

σ – коефіцієнт обертальних мас;

$F_{\text{с.кач}}, F_{\text{с.возд}}, F_{\text{с.під}}$ – сила опору відповідно кочення, повітря та ухилу;

M_E – крутний момент електродвигуна в режимі тяги;

M_{-E} – крутний момент електродвигуна в режимі накату.



БІРЗ – блок індикації рівня заряду; БОЗ – блок обмеження заряду; ЗП – зарядний пристрій; СЕМ – синхронна електрична машина; ОЗ – обмотка збудження

Рисунок 2 – Функціональна схема вузлів електроприводу, пов'язаних з балансуванням батарей

Система контролю заряду та розряду літій-залізофосфатних акумуляторних батарей гібридного автомобіля заснована на підключенні додаткового навантаження паралельно клемам акумуляторного елемента, напруга на якій під час зарядки перевищило деяку порогову величину (рис.2). Частина зарядного струму при цьому йде в обхід елемента з цього паралельного кола, знижуючи струм через акумуляторний елемент і напругу на ньому. Коли відбудеться вирівнювання напруг на всіх елементах акумуляторної батареї, контролюючий пристрій фіксує як повний заряд батареї.

Ступінь зарядженості тягової акумуляторної батареї (ТАБ) визначається відповідно виразу

$$\theta_{TAB} = \theta_{TAB.0} - \frac{1}{3600 \cdot C_{TAB.nom}} \cdot \int_{t_s}^{t_f} I_{TAB} dt \quad (5)$$

де $\theta_{TAB.0}$ - ступінь зарядженості ТАБ в момент часу $t = t_s$

$C_{TAB.nom}$ – номінальна ємність ТАБ;

I_{TAB} – струм ТАБ.

Послідовного з'єднання еквівалентної ЕРС (E_{TAB}) і еквівалентного внутрішнього опору (R_{TAB}) напруга ТАБ можна визначити з виразу:

$$U_{TAB} = E_{TAB} - I_{TAB} \cdot R_{TAB} \quad (6)$$

де E_{TAB} - з'єднання еквівалентної ЕРС;

R_{TAB} - еквівалентний внутрішній опір.

У загальному випадку E_{TAB} і R_{TAB} є функціями ступеня зарядженості ТАБ, температури електроліту (t^0_{TAB}) величини і напрямку струму (I_{TAB})

$$E_{TAB} = E_{TAB}(\theta_{TAB}, I_{TAB}, t^0_{TAB}), \quad (7)$$

$$R_{TAB} = R_{TAB}(\theta_{TAB}, I_{TAB}, t^0_{TAB}), \quad (8)$$

Потужність, що віддається або споживана акумуляторною батареєю, визначається виразом

$$R_{TAB} = U_{TAB} \cdot I_{TAB} = (E_{TAB} - I_{TAB} \cdot R_{TAB}) \cdot I_{TAB} \quad (9)$$

тоді,

$$I_{TAB} = \frac{1}{2 \cdot R_{TAB}} \cdot (E_{TAB} - \sqrt{E_{TAB}^2 - 4 \cdot R_{TAB} \cdot P_{TAB}}) \quad (10)$$

де P_{TAB} – потужність ТАБ;

U_{TAB} – напруга ТАБ;
Максимальна потужність ТАБ

$$P_{TAB.max} = \frac{E_{TAB}^2}{4 \cdot R_{TAB}}. \quad (11)$$

Третій розділ присвячено експериментальним випробуванням гібридного автомобіля, який був реалізований на основі вантажно-пасажирського автомобіля Сенс-Пікап. В дорожніх умовах за допомогою інформаційно-вимірювального комплексу: швидкість, прискорення, пройдений шлях, витрата палива ДВЗ, витрата електричної енергії, що витрачається з тягової акумуляторної батареї для руху автомобіля на електричному приводі, повернення електричної енергії в тягову акумуляторну батарею за рахунок використання системи рекуперативного гальмування, накопичення електричної енергії в тяговій акумуляторній батареї за рахунок роботи ДВЗ, керуючі дії ДВЗ та ВЕД, частота обертання КВ ДВЗ та ін. параметри (рис 3).



Рисунок 3 – Апаратура та експериментальне обладнання

Тяговий електричний двигун (вентильний електричний двигун оригінальної конструкції) – перебудована синхронна електрична машина з електромагнітним збудженням Г290, яка після доопрацювання має максимальну потужність – 15 кВт, номінальну 7 кВт, коефіцієнт корисної дії до 85 %. Даний електричний двигун, незважаючи на декілька гірше значення ККД,

в порівнянні з вентильними електричними двигунами з порушенням від постійних магнітів, у якого ККД досягає 98 %, має ряд конструктивних і техніко-експлуатаційних переваг:

- можливість управління магнітним потоком ротора на високих оборотах. Це дозволяє забезпечити розширений діапазон робочих швидкостей електроприводу з високим коефіцієнтом корисної дії без істотного збільшення напруги тягової акумуляторної батареї;

- відсутність додаткового моменту опору на холостому ходу, який характерний для традиційних вентильних електричних двигунів (ВЕД) з порушенням від розташованих на роторі постійних магнітів;

- використання електромагнітного збудження забезпечує можливість ефективного управління ВЕД в режимі генератора для застосування рекуперативного гальмування шляхом регулювання струму збудження.

Оскільки вентильний електричний двигун-генератор постійно пов'язаний з колесами автомобіля через постійне передатне число, імпульси датчиків положення ротора електричного двигуна можуть бути використані для отримання інформації про шлях, швидкість і прискоренні автомобіля. Калібрування вироблялося з використанням системи GPS. Інтегральні витрати палива ДВЗ контролювалися за допомогою хімічного мірного посуду. Поточна витрата палива під час руху контролювалась за усередненим інтегральним значенням тривалості імпульсів які подаються на паливні форсунки двигуна з електронним управлінням розподіленім уприскуванням.

На рис. 4 наведена зміна швидкості автомобіля на ділянці шляху, зміну керуючих впливів ГСУ, частоти обертання КВ ДВЗ, струму розряду ТАБ та годинної витрати палива на даній ділянці. З наведених залежностей видно, що при швидкостях автомобіля, менших 30...40 км/год, рух здійснюється виключно за допомогою тягового електроприводу. При цьому його потужності цілком достатньо, для підтримки тягово-швидкісного режиму при високій щільності транспортного потоку у русі та в заторах.

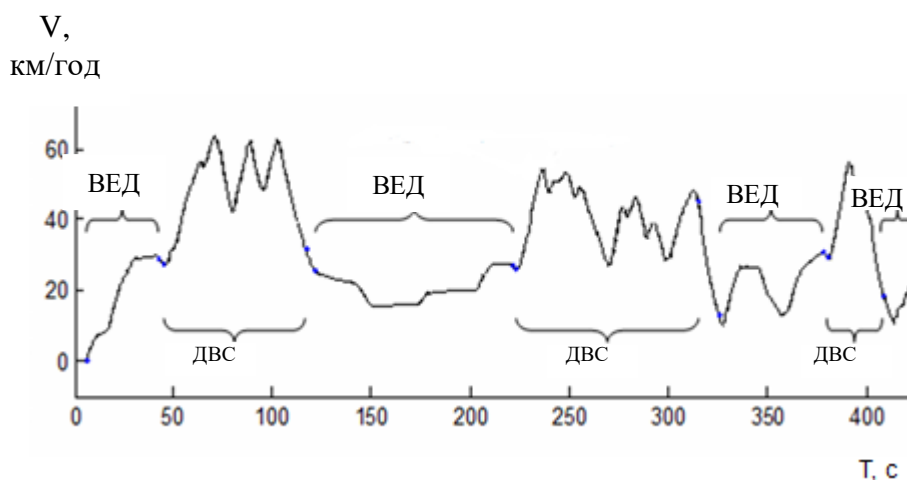


Рисунок 4 – Зміна швидкості автомобіля в процесі випробувань

Витрата електричної енергії контролювалась шляхом безперервного вимірювання та фіксації часової залежності споживаного струму і напруги тягової акумуляторної батареї з подальшим обчисленням енергії $W = \int UIdt$ з урахуванням напрямку (знаку) струму. Реєстрація основних параметрів, що характеризують функціонування ГСУ та її системи керування в процесі руху, здійснювалася за допомогою розробленого інформаційно-вимірювального комплексу дослідження робочих процесів ГСУ.

Для оцінки ефективності експериментального гібридного автомобіля були проведені його їздові випробування в міських умовах руху. Випробування в режимі «гібридного автомобіля» проводилися в міських умовах, в тому числі і в умовах, ускладнених заторами. При цьому рух автомобіля до швидкості 35...40 км/год здійснювався на електроприводі. При збільшенні швидкості автомобіля, водій віджимає педаль зчеплення, вмикає 4 передачу та відпускає педаль зчеплення, ДВЗ без ривків автоматично запускається. Подальший розгін автомобіля відбувається на ДВЗ, при цьому тяговий електродвигун переходить у режим генератора та заряджає через зарядний пристрій блок акумуляторних батарей. Таким чином досягається найбільш економічний та екологічний режим роботи ДВЗ. При швидкостях, більш ніж 40 км/год, необхідний тягово-швидкісний режим забезпечується за допомогою ДВЗ. Зіставляючи швидкість автомобіля і частоту обертання КВ ДВЗ, можна відзначити, що рух на аналізованій ділянці шляху здійснюється на четвертій передачі. При цьому перемикання з тягового електроприводу на ДВЗ і назад відбувається плавно, без ривків. Для дослідження параметрів, що характеризують функціонування ГСУ та її системи управління, які складно піддаються прямому або непрямому вимірюванню, було здійснено моделювання руху гібридного автомобіля з використанням розробленого раніше математичного забезпечення.

У процесі випробувань гібридного автомобіля в міському циклі руху витрата бензину склала близько 3,8 л/100 км, що приблизно в три рази менше, ніж у базової моделі Сенс-Пікап з бензиновим двигуном MeMz 307. При цьому повного заряду тягових акумуляторних батарей достатньо для пробігу по місту в гібридному режимі близько 82 км.

Витрата електроенергії для такого режиму приблизно дорівнює 0,05 кВт·год./км. Пробіг в режимі електромобіля складає близько 34 км. Час повної зарядки ТАБ – 4...6 год.

Четвертий розділ присвячено практичній реалізації розглянутих принципів переобладнання автомобіля «Сенс-пікап», яка показала можливість досягнення поставленої мети. У міському режимі рух електромобіля старт з місця, розгін і рух до швидкості 40 км/год. здійснюється на електроприводі, а при більшій швидкості – на ДВЗ. Слід відмітити, що саме такий режим роботи електромобіля найбільш економічний як з точки зору експлуатації, так з точки зору вартості силової установки. Вартість комплектуючих гібридної силової установки для серійного конверсійного автомобіля наведено в (табл. 1) і задовольняє поставленим вимогам, тому що складає менш 30 % від вартості

базового «бюджетного» автомобіля. Різниця вартості між базовим автомобілем та створеним на його основі гібридним автомобілем буде визначатися вартістю таких основних додаткових систем та компонентів: літій-іонні ТАБ (для прикладу та розрахунку взяли 20 штук акумуляторних елементів LFP090AHА 3,2V/90Ah), тяговий електричний двигун, інвертор, система керування силовою установкою, система заряду акумуляторних батарей.

Таблиця 1 - Вартість комплектуючих для переобладнання одного гібридного автомобіля з 20 літій-іонними елементами типу Thunder-Sky LFP 90Ah

Комплектуючі	Кількість, шт.	Дослідний зразок, тис. грн.	Серійний зразок, тис. грн.
Акумуляторні батареї (LFP090AHА 3.2V/90Ah)	20	30	24
Електродвигун (українського виробництва)	1	4	2.5
Інвертор (власного виробництва)	1	3	1.5
Система керування силовою установкою (власного виробництва)	1	3	1.5
Система заряду акумуляторних батарей (власного виробництва)	1	3	1.5
Всього, тис. грн.	-	43	31

Дана вартість комплектуючих для електромобіля не задовольняє поставленим вимогам, тому що складає більш 20 % від вартості базового бюджетного автомобіля. Тому необхідно зменшити цю вартість.

Аналіз вартості компонентів для гібридного автомобіля показує, що вартість літій-іонних акумуляторних батарей є визначальною серед усіх компонентів. Але кількість акумуляторних батарей у ТАБ визначає дальність пробігу автомобіля на електричній тязі без підзарядки.

Проведемо розрахунок дальності пробігу S_e на електричній тязі гібридного автомобіля спорядженою масою 1000 кг в залежності від умов руху та кількості використаних акумуляторних батарей LFP090AHА 3.2V/90Ah у блоку ТАБ, км

$$S_e = \frac{E_n \cdot n \cdot m_{AKB}}{K_E \cdot m_{El}}, \quad (12)$$

де E_n – питома енергоємність акумулятора, Вт·год./кг;

n – кількість акумуляторних батарей, шт.;

m_{AKB} – маса акумулятора, кг;

K_E – питоме споживання енергії електромобіля, Вт·год./($\text{кг}\cdot\text{км}$);

m_{El} – споряджена маса електромобіля, кг.

Споживання енергії гібридного автомобіля залежить від режиму руху.

Приклади питомого споживання енергії K_E гібридного автомобіля, які враховують режим руху наведені у табл. 2.

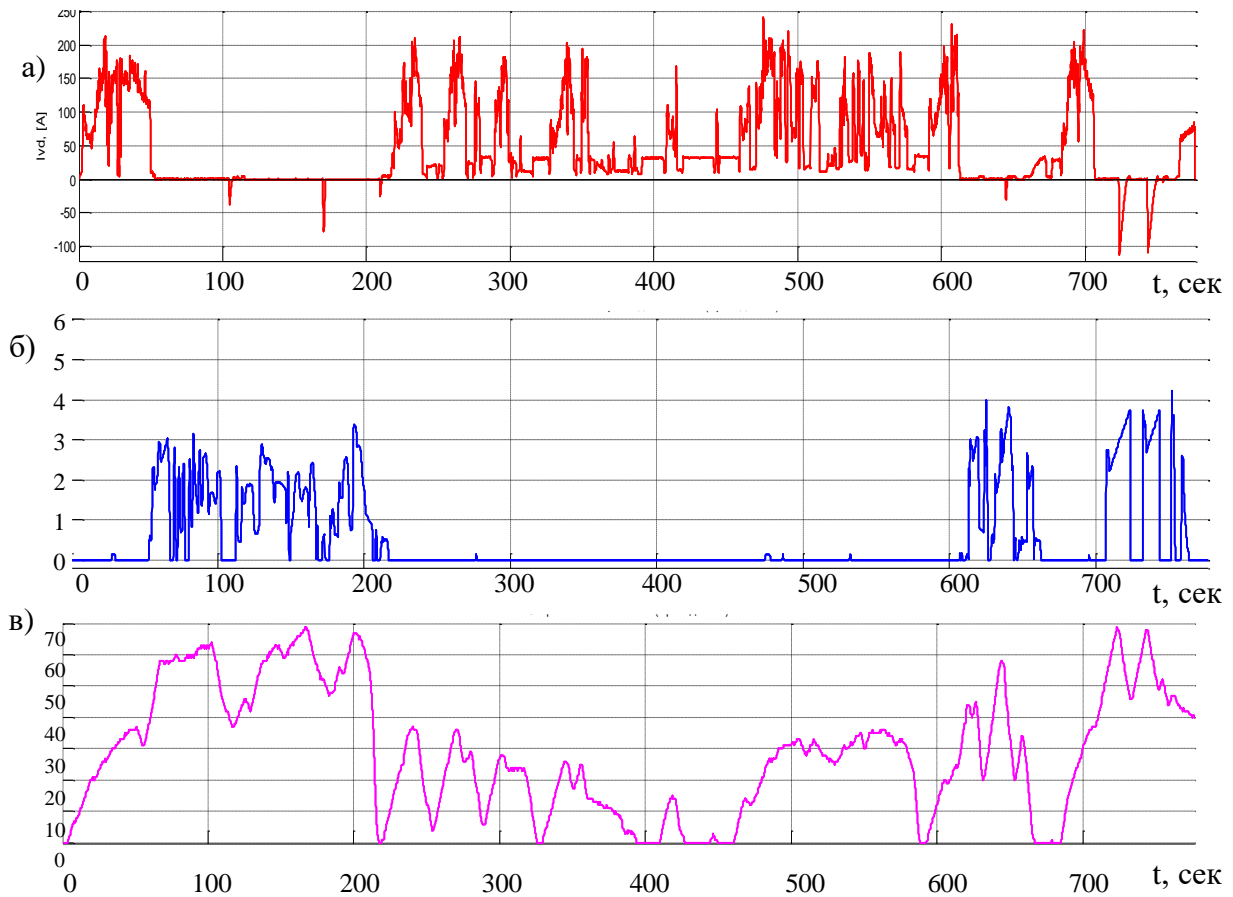
Таблиця 2 - Залежність пробігу споживання енергії від режиму руху гібридного автомобіля

Кількість батарей , шт.	Пробіг гібридного автомобіля, км		
	Легкі умови руху	Середні умови руху	Складні умови руху
10	20...30	15...20	10...15
20	40...60	30...40	25...30
30	60...90	45...60	35...45
40	80...120	60...80	50...60
50	100...145	70...100	60...75
60	120...170	90...120	70...90
80	150...230	120...150	90...120

З проведеного розрахунку можна зробити висновок, щоб забезпечити пробіг 100 км в середніх міських умовах руху гібридного автомобіля спорядженої масою 1000 кг досить використовувати 20 акумуляторних батарей типу Thunder-Sky LFP 90Ah.

Пробіг гібридного автомобіля в режимі електромобіля може відрізнятися майже у три рази в залежності від маси вантажу та пасажирів, швидкості автомобіля, дорожніх умов, стилю водіння та складності руху: інтенсивності та кількості циклів гальмування-зупинка-розгін, динамічності зрушення з міста, інтенсивності натискання на електрону педаль акселератора та педаль гальмування, стану покриття, підйомів або спусків та ін.

Практична реалізація розглянутих принципів переобладнання проведена на автомобілі «Сенс-пікап», яка показала можливість досягнення поставлених цілей. У міському режимі руху гібридний автомобіль здійснює старт з місця, розгін і рух до швидкості 40 км/год на електроприводі, а при більшій швидкості – на ДВЗ. Слід відмітити, що саме такий режим роботи гібридного автомобіля найбільш економічний як з точки зору експлуатації, так з точки зору вартості силової установки. Зміна основних параметрів, що характеризують функціонування ГСУ, в процесі випробувань представлена на рис. 5., а основні технічні характеристики гібридного автомобіля представлені в табл 3.



а – зміна основних параметрів тягового електроприводу; б – розрахункова годинна витрата палива ; в – швидкість автомобіля

Рисунок 5 – Зміна основних параметрів, що характеризують функціонування ГСУ, в процесі випробувань

Таблиця 3 - Основні технічні характеристики гібридного автомобіля

Режим роботи Характеристики	Електричний режим	Бензо- електричний режим	Бензиновий режим
Пробіг у міському циклі руху, км	50	700	650
Час повного заряду від 220 В, 50 Гц, год.	4..6	4..6	-
Витрата палива у міському циклі руху, л/100 км	-	3,8	9
Собівартість експлуатації, грн./км	0,22	1,48	2,3
Максимальна потужність силової установки, кВт	15	15 / 50	50

Основний синергетичний сенс переобладнаного автомобіля полягає в тому, що на малих швидкостях до 40 км/год використовується електропривод з ККД до 90 % та максимальним моментом, а на швидкостях більш 40 км/год відбувається ефективне використання ДВЗ.

Одержано показники економії палива до 28 % при русі по європейському міському циклу. При цьому за один цикл акумулятор втрачає близько 3-4 % своєї енергії, якщо припустити, що акумулятор не можна розряджати більше чим на 50 % його енергоємності заради довговічності і незмінності експлуатаційних якостей.

ВИСНОВКИ

1. Із аналізу публікацій витікає, що світовий досвід створення екологічно чистих транспортних засобів свідчить про те, що найбільш вдалим та конкурентоспроможним конструктивним рішенням на сьогоднішній час є використання в автомобілі гібридної силової установки. Завдяки синергетичному використанню позитивних якостей ДВЗ та електричного двигуна автомобілі мають підвищений потужностний, енергетичний та динамічний потенціал і відповідають найжорсткішим екологічним нормам.

2. Обґрунтована актуальність та перспективність проекту переобладнання базового автомобіля в гібридний, його економічна та соціальна значимість. Визначена науково-технічна новизна, відповідність науково-технічної продукції світовому рівню, перспективність її впровадження та просування на ринок.

3. Обґрунтовано схемотехнічне рішення створення гібридної силової установки для базового автомобіля. Аналіз структурних принципів побудови гібридних силових установок автомобіля показав, що автомобіль з будь-яким типом гібридної технології є більш ефективним, економічним та екологічним, ніж аналогічний автомобіль з традиційною силовою установкою. При створенні екологічно чистого автомобіля в ХНАДУ за базовий транспортний засіб був обраний вітчизняний автомобіль ЗАЗ-Сенс з типом кузова «пікап».

4. Розроблені схемотехнічні та програмні рішення щодо створення електронного блоку керування тяговими безколекторними електричними двигунами: вентильним та асинхронним двигуном. Система керування гібридною силовою установкою оптимальним чином поєднує тягові зусилля двигуна внутрішнього згоряння та електричної машини відповідно до умов руху автомобіля.

5. Проведено експериментальні дослідження, по вибору тягового електричного двигуна для переобладнання автомобіля. Порівнянні випробування показали що вентильний двигун на основі генератора Г290 при необхідній потужності 4,5 кВт має ККД 85 %.

6. Проведене математичне моделювання економічних та екологічних характеристик переобладнаного гібридного автомобіля в умовах Європейського

міського циклу руху, яке показало що на 28 % зніжується витрата палива. Експериментальні дослідження гібридного автомобіля в реальних умовах експлуатації показали, що витрата бензину гібридного автомобіля в порівнянні з витратою базового автомобіля в міських умовах експлуатації знизився в 2...3 рази.

7. В результаті виконаного дослідження розроблено методику переобладнання базового автомобіля в гібридний. Методика успішно використовується у виробничій діяльності ТОВ «ТЕХНО-АРТ» та корпорації Укравто.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Конверсія легкового автомобіля в гібридний / О.В. Бажинов, В.Я. Двадненко, М. Хакім; під. ред. О.В. Бажинова – Харків: ХНАДУ, 2014. – 160 с.

2. Бажинов А.В. Система контролю заряда и разряда литий-ионных аккумуляторных батарей гибридных автомобилей и электромобилей / В. Я. Двадненко, А. М. Дробинин, Х. Мауш // Вісник СевНТУ : Серія «Машиноприладобудування та транспорт». – 2012. – № 134. – С. 52 – 55.

3. Бажинов А.В. Электропривод для конверсионного гибридного автомобиля / А.В. Бажинов, В.Я. Двадненко, М. Хаким // Автомобильный транспорт: сб. науч. тр. – 2012. – Вып 30. – С. 7-12

4. Бажинов А.В. Система рекуперативного торможения гибридного автомобиля / А.В. Бажинов, В.Я. Двадненко, М. Хаким // Вісник Севастопольского національного технічного університету: зб. наук. пр. – 2013. – Вип. 143. – С. 58-61.

5. Бажинов А.В. Разработка экологически чистых автотранспортных средств / А.В. Бажинов, О.П. Смирнов, В.Я. Двадненко, М. Хаким // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка: зб. наук. пр. – 2012. – Вип. 128 – С. 138-142.

6. Мауш Хаким. Особенности конверсии автомобиля с ДВС в гибридный автомобиль [Электронный ресурс] / Мауш Хаким, В.Я. Двадненко // Автомобіль і електроніка. Сучасні технології: електронне наукове спеціалізоване видання. – 2013. №5. – С. 17-21. – ISSN: 2226 – 9266 - Режим доступу до джерела: <http://www.khadi.kharkov.ua/index.php?id=2116>.

7. Бажинов А.В. Информационно-измерительный комплекс исследования гибридной силовой установки автомобиля / А.В. Бажинов, М. Хаким // Мир транспорта и технологических машин: сб. науч. тр. – 2014. – Орел. – №2 – С. 3-8.

8. Мауш Хаким. Гібридна силова установка конверсійного автомобіля / Мауш Хакім // Матеріали науково – практичної конференції «Інформаційні технології і мехатроніки» 15 квітня 2014 р. – Харків. – С. 81 - 82.

9. Мауш Хаким. Исследования конверсии автомобиля с ДВС в гибридный / Мауш Хаким // Матеріали XV Міжнародної науково-технічної конференції «Автомобільний транспорт: проблеми і перспективи», 12 вересня 2012р. – м. Севастополь. – С. 23.

10.Бажинов А.В. Электропривод для конверсионного гибридного автомобиля / Бажинов А.В., В.Я. Двадненко, М. Хаким // Матеріали II Міжнародної науково – практичної конференції «Автомобіль і електроніка. Сучасні технології», м. Харків, 10 листопада 2012 р. - Харків. – 2012.- С. 7.

АНОТАЦІЯ

Мауш Хакім. Підвищення енергоефективності автомобілів в умовах експлуатації за рахунок гібридних технологій. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового створення кандидата технічних наук за спеціальністю 05.22.20 – експлуатація та ремонт засобів транспорту. – Харківський національний автомобільно – дорожній університет МОН України, Харків, 2017.

Дисертаційна робота присвячена концепції переобладнання автомобіля з двигуном внутрішнього згорання і механічною коробкою передач в гібридний. Запропоновані методики вибору параметрів електроприводу і рішення для досягнення ефективної роботи вентильного електродвигуна як в тяговому режимі так і в режимі рекуперації. Проведено порівняльні дослідження тягового – швидкісних характеристик базового та переобладнаного автомобіля. Розроблено схемотехнічні та програмні рішення створення електронного блоку керування тяговими безколекторними електричними двигунами.

Ключові слова: конверсія, гібридна силова установка, електропривід, автомобіль, двигун внутрішнього згорання.

АННОТАЦИЯ

Мауш Хаким. Повышение энергоэффективности автомобиля в условиях эксплуатации за счет гибридных технологий.– На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.22.20 - Эксплуатация и ремонт средств транспорта. – Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет МОН Украины, Харьков, 2017.

Диссертационная работа посвящена вопросам переоборудования автомобиля с двигателем внутреннего сгорания и механически коробкой передач в гибридный.

С анализа публикаций следует, что мировой опыт создания экологически чистых транспортных средств свидетельствует о том, что наиболее удачным и конкурентоспособным конструктивным решением на сегодняшнее время является использование в автомобиле гибридной силовой установки. Благодаря

синергетическому использованию положительных качеств ДВС и электродвигателя автомобиля имеют повышенный мощностной, энергетический и динамический потенциал и соответствуют самым жестким экологическим нормам.

Обоснована актуальность и перспективность проекта переоборудования базового автомобиля в гибридный, его экономическая и социальная значимость. Определена научно-техническая новизна, соответствие научно-технической продукции мировому уровню, перспективность ее внедрения и продвижения на рынок.

Обоснован синергетический подход к созданию силовой установки автомобиля. Анализ структурных принципов построения гибридных силовых установок автомобиля показал, что автомобиль с любым типом гибридной технологии является более эффективным, экономичным и экологичным, чем аналогичный автомобиль с традиционной силовой установкой. При создании экологически чистого автомобиля в ХНАДУ базового транспортного средства был выбран отечественный автомобиль ЗАЗ-Сенс с типом кузова «пикап».

Разработаны схемотехнические и программные решения по созданию электронного блока управления тяговыми бесколлекторными электрическими двигателями: вентильным и асинхронным двигателем. Система управления гибридной силовой установкой оптимальным образом сочетает тяговые усилия двигателя внутреннего сгорания и электрической машины в соответствии с условиями движения автомобиля.

Тяговый электрический двигатель (вентильный электродвигатель оригинальной конструкции) является перестроенной синхронной электрической машиной с электромагнитным возбуждением Г290, которая после доработки имеет максимальную мощность – 15 кВт, номинальную 7кВт, коэффициент полезного действия (КПД) до 85 %. Данный электрический двигатель, не учитывая на некоторое ухудшения значения КПД, в сравнении с вентильным электродвигателем ВЭД с нарушением от постоянных магнитов, в котором КПД достигает 98 %, имеет ряд конструктивных и технико-эксплуатационных преимуществ:

- возможность управления магнитным потоком ротора на высоких оборотах. Это позволяет обеспечить расширенный диапазон рабочих скоростей электропривода с высоким КПД без существенного увеличения напряжения ТАБ.

- отсутствие дополнительного момента сопротивления на холостом ходу, который характерный для традиционных ВЭД с нарушением от расположенных на роторе постоянных магнитов;

- использование электромагнитного возбуждения обеспечивает возможность управления ВЭД в режиме генератора для использования рекуперативного торможения путем регулирования тока возбуждения.

В диссертации представлены теоретические исследования тягового - скоростных характеристик переоборудованного автомобиля на гибридный, а

также обоснована рациональная схема силовой гибридной установки. Предложена методика выбора параметров электропривода и решения по эффективной работе вентильного электродвигателя как в тяговом режиме так и в режиме рекуперации. Проведенное математическое моделирование экономических и экологических характеристик синергетического электромобиля в условиях Европейского городского цикла движения, которое показало что на 28 % снижается расход топлива, а количество вредных выбросов (CO, CH, NO_x) снижается на 48 %.

В результате выполненного исследования разработана методика переоборудования базового автомобиля в гибридный. Методика успешно используется в производственной деятельности ООО «ТЕХНО-АРТ» и АФ «Криворожский Автоцентр» ПАТ «Днепропетровск-Авто».

Ключевые слова: конверсия, гибридная силовая установка, электропривод, автомобиль, двигатель внутреннего сгорания.

ABSTRACT

Maouche Hakim Increase of the energy efficiency of vehicles by the use of hybrid technologies. – Manuscript.

Thesis to obtain the scientific of the candidate of engineering sciences, specialty 05.22.20 – Operation and Maintenance of Vehicles. – Kharkiv National Automobile and Highway University, Ministry of education and science of Ukraine, Kharkiv, 2017.

The thesis deals with the concept of conversion of the vehicle with an internal combustion engine and manual transmission into a hybrid one. There were proposed the methods of electric drive parameters choice and solution to achieve efficient operation of the valve motor both in traction mode or in recuperation one.

A comparative study of traction – speed characteristics of the baseline and conversion vehicle is carried out. There were also developed circuit and software solutions for creation of the electronic unit to control traction commutatorless electric motors.

Key words: conversion, hybrid, electric, automobile, internal combustion engine.