

О. О. Осетров, С.С. Кравченко, Б.С. Чучуменко

ОБГРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ПОСЛІДОВНОЇ ГІБРИДНОЇ СИЛОВОЇ УСТАНОВКИ ЛЕГКОВОГО АВТОМОБІЛЯ

Використання гібридних силових установок на автомобільному транспорті дозволяє суттєво покращити динаміку руху і комфортність керування автомобілем, знизити його експлуатаційну витрату палива і викиди шкідливих речовин з відпрацьованими газами. У зв'язку з великою кількістю вживаних автомобілів з двигунами внутрішнього згоряння (ДВЗ) в Україні інтерес представляє їх конвертація на гібридний силовий привід. Проте аналіз літератури виявив вкрай обмежену інформацію щодо робіт в цьому напрямку. В роботі запропоновано методику вибору параметрів елементів послідовного гібридного силового приводу на базі вживаного автомобіля Chevrolet Lacetti. Методика заснована на використанні математичних моделей робочого процесу двигуна внутрішнього згоряння, динаміки розгону автомобіля, визначення параметрів послідовної гібридної силової установки на режимах європейського випробувального циклу NEDC. З використанням розроблених математичних моделей визначено номінальну потужність тягового електричного двигуна 86 кВт, номінальну та максимальну частоти обертання його вала, відповідно 1860 і 7000 хв⁻¹. Показано, що автомобіль розганятиметься до 100 км/год за 11,4 с, що цілком задовольняє умовам комфортного руху в міських умовах. У складі гібридної енергоустановки двигун внутрішнього згоряння працює на одному режимі. В роботі обгрунтовано вибір режиму роботи двигуна внутрішнього згоряння, де він має найкращу паливну економічність. При цьому його потужність складає 34 кВт, а частота обертання колінчастого вала - 2200 хв⁻¹. Відповідно потужність генератора струму складатиме 30 кВт при частоті обертання вала 2200 хв⁻¹. В роботі проаналізовано вплив ємності акумуляторної батареї, наявності рекуперації енергії гальмування, робочого діапазону зміни ємності акумуляторної на середню експлуатаційну витрату палива ДВЗ. Показано, що збільшення ємності акумуляторної батареї, наявність рекуперації, розширення робочого діапазону зміни ємності акумуляторної батареї призводять до покращення експлуатаційної паливної економічності двигуна внутрішнього згоряння. За результатами розрахункових досліджень обрано максимальну ємність акумуляторної батареї 1,3 кВт·год, робочий діапазон зміни ємності – 0,8 кВт·год. Використання елементів з такими параметрами дозволить забезпечити середню експлуатаційну витрату палива ДВЗ 6,5 л/100км, а за наявності рекуперації енергії гальмування – 6 л/100 км.

Ключові слова: двигун внутрішнього згоряння; автомобіль; математична модель; робочий процес; динаміка розгону; експлуатаційна паливна економічність; гібридна силова установка; конвертація.

Вступ

Забруднення навколишнього середовища шкідливими викидами двигунів внутрішнього згоряння, дефіцит нафтових палив, глобальне потепління, пов'язане з викидами відпрацьованих газів, є основними чинниками пошуку методів і технологій покращення паливно-екологічних показників ДВЗ. В цьому зв'язку розглядається переведення автомобільного транспорту на електричні або гібридні (ДВЗ + електричний двигун) силові установки. Відомо, що гібридна енергетична установка споживає на 30-50% менше палива, ніж ДВЗ, подібний за потужністю. Крім того, зменшення витрати палива призводить до зменшення діоксиду вуглецю, що є одним з основних парникових газів.

На сьогодні запропоновано низку схем гібридних силових установок, які впроваджені на серійних автомобілях. Проте технології їх створення є комерційною таємницею фірм-виробників і у широкому доступі не висвітлюються. Крім того, інтерес представляє розробка методології переобладнання існуючого автопарку з ДВЗ на гібридний силовий привід.

Аналіз публікацій

Широке впровадження електричних енергоустановок і технологій на транспорті є однією з

основних тенденцій сучасного автомобілебудування. Використання електричних двигунів дозволяє зменшити теплове забруднення атмосфери порівняно з експлуатацією ДВЗ. Широко використовується рекуперація енергії гальмування замість перетворення її в теплоту, як в традиційних автомобілях з ДВЗ. Майже відсутні викиди шкідливих речовин в атмосферу. За умови виробництва електроенергії сонячними електростанціями відсутнє також локальне забруднення атмосфери, порівняно з виробництвом електроенергії в ТЕС. Навіть у випадку виробництва електроенергії в теплових електростанціях існує можливість впровадження технологій нейтралізації шкідливих речовин, які є набагато більш ефективними ніж при застосуванні в ДВЗ.

Електрика приваблює тим, що її можливо отримувати з різноманітних джерел: як традиційних - теплових, атомних, гідро- електростанцій, так і «зелених» - вітрових, сонячних, геотермальних електростанцій. Це призводить до того, що ціни на електрику у світі є більш стабільними і прогнозованими. Так, наприклад, в США у 2003 році 1 МВт·год коштував приблизно 50 \$, у 2010 - 70\$, у 2021 р - 153\$. Графік цін є більш пологим і містить менше локальних максимумів ніж графік цін на нафту і газ.

Експлуатація електромобіля і автомобіля з гібридною силовою установкою обходиться набагато дешевше, ніж автомобіля з ДВЗ. Так, якщо експлуатація електромобіля в США в середньому коштує близько 500 \$ на рік, для автомобілів з ДВЗ цей показник дорівнює 1100 \$ [1]. Якщо раніше поширення електричних силових установок на транспорті стримувалося малим запасом ходу, то на сьогодні сучасні електромобілі мають запас ходу 800 км і більше (деякі моделі – до 1200 км).

Для стимулювання заміни автомобілів з ДВЗ гібридними та електричними силовими установками розвинені країни виплачують дотації на виготовлення і продаж електромобілів, зменшують податки та використовують інші стимули. Паралельно запроваджують жорсткі обмеження на викиди шкідливих речовин з відпрацьованими газами ДВЗ. Так, заплановані для введення у 2025 році стандарти Євро 7 за висловлюванням голови Німецької асоціації автомобільної промисловості Хільдегарда Мюллера де-факто означають заборону виробництва ДВЗ.

На Всесвітньому саміті з клімату в Глазго у 2021 році 33 країни і шість автовиробників оголосили про повну відмову від автомобілів з ДВЗ до 2040 року. Країни Євросоюзу планують відмовитися від використання ДВЗ вже до 2035 року. Наприклад, Норвегія відмовилася від ДВЗ вже в квітні 2022 року.

Якщо розглянути структуру продажів автомобілів в європейських країнах, то можна побачити, що частка автомобілів є повністю електричною силовою установкою складає 7,5%, пагін-гібридною - 8,4%, гібридною – 19,3%, а сумарна частка силових установок з використанням тягових електричних двигунів перевищує 35% [2].

Структура імпорту в Україні дещо відрізняється від зазначеної вище тенденції. На відміну від європейських країн частка автомобілів з гібридною силовою установкою склала 1,9% а чисто електричною – 1,6 % від загальної кількості завезених автомобілів [3]. Це пояснюється більшою ціною автомобілів з електричною силовою установкою і низькою покупною здатністю населення.

Проте динаміка імпорту за останні три роки в Україні показує суттєве збільшення кількості автомобілів з гібридними та електричними силовими установками, що свідчить про їх популярність. Статистика показує, що за січень-вересень 2021 року в Україні було зареєстровано майже 6,1 тис. електромобілів, що на 7% більше, ніж за аналогічний період 2020 року. Частка уживаної техніки в цій кількості становила 88% [3].

Одним з можливих варіантів переводу транс-

порту на електричну тягу в Україні є конвертація вживаних автомобілів. Стартапи, як правило, займаються переобладнанням автомобілів заміною ДВЗ на тяговий електричний двигун із встановленням акумулятора, інвертора і системи керування. В Україні відомі роботи Харківського національного автомобільно-дорожнього університету з розробки гібридної силової установки автомобіля за паралельною схемою [4].

Переобладнання на гібридний силовий привід доцільно здійснювати для автомобіля в кузові «універсал». Саме такий автомобіль має достатньо місця для розташування охолоджуваної тягової акумуляторної батареї з елементами системи керування і інвертором. Вважаємо що економічно доцільною може бути конвертація вживаного автомобіля віком більше 10 років.

На цей час відомі системи гібридних силових установок, що реалізовані за послідовною, паралельною та паралельно-послідовною схемами. При конвертації існуючої конструкції силової установки автомобіля доцільно застосувати схему, яка передбачає мінімальну зміну конструкції базового автомобіля. В цьому зв'язку найбільші перспективи відкриває реалізація послідовної схеми. Така схема має найпростіше керування серед розглянутих, передбачає можливість використання без застосування коробки передач, тяговий електричний двигун можна розташувати як для приводу передньої осі коліс автомобіля, так і для приводу задньої осі.

Метою дослідження є обґрунтування параметрів конструкції і режимів роботи елементів послідовної гібридної силової установки на базі автомобіля Chevrolet Lacetti, який є найбільш поширеним в Україні.

Математичні моделі, що використані в роботі

Математична модель робочого процесу бензинового двигуна

В основу розрахунку робочого процесу покладено квазістаціонарну термодинамічну модель робочого процесу двигуна з іскровим запалюванням. Математична модель розроблена на кафедрі двигунів та гібридних енергетичних установок Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут» і верифікована за результатами експериментальних досліджень двигуна ВАЗ-2108 [5]. Математична модель використовується для розрахунку параметрів двигуна внутрішнього згорання при роботі у складі гібридної силової установки.

Математична модель робочого процесу двигуна основана на рівнянні першого принципу тер-

модинаміки, закону збереження маси та рівняння стану. Кількість переданої в стінку теплоти розраховується за формулою Ньютона-Ріхмана, в якій коефіцієнт тепловіддачі стінці від газу визначається за формулою Вошні. Математичне моделювання згоряння в циліндрі двигуна здійснюється за формулою І.І. Вібе. Механічні втрати на тертя визначаються за емпіричними залежностями від частоти обертання колінчастого валу, уточненими за результатами експериментальних досліджень на кафедрі двигунів внутрішнього згоряння НТУ «ХП» [6].

Математична модель динаміки розгону автомобіля

В якості базової схеми для конвертації обрано схему послідовної гібридної силової установки. В такій схемі ведучі колеса приводяться в обертання тяговим електричним двигуном. Максимальна потужність і частота обертання тягового електричного двигуна обираються виходячи із необхідності забезпечення заданої динаміки розгону автомобіля.

Розрахунок динаміки розгону автомобіля проводився за методикою Чудакова Є.А. і Яковлева Н.А. [5]. В основу методики покладено визначення динамічного фактору D , який залежить від сили тяги, сили опору повітря і ваги автомобіля. Цей фактор обумовлює прискорення автомобіля в заданому швидкісному інтервалі та функцію швидкості транспортного засобу від часу при розгоні. Побудована за методикою Чудакова Є.А. і Яковлева Н.А. математична модель апробована при розрахунках динаміки розгону автомобілів ВАЗ-2108 [5], Daewoo-Ланос [8] і ЗАЗ-Сенс [9].

Математична модель визначення параметрів силової установки на режимах випробувального циклу NEDC.

Ефективність гібридної силової установки доцільно оцінювати у всьому діапазоні режимів експлуатації. При розрахунках експлуатаційних параметрів автомобіля можливо використовувати випробувальні цикли, які задають швидкість руху автомобіля залежно від часу. В роботі використано європейський їздовий цикл NEDC. В математичній моделі швидкість руху автомобіля на окремих ділянках їздового циклу описується лінійними емпіричними залежностями від часу [9].

Тяговий електричний двигун живиться від батареї та/або від генератора струму, який приводиться в рух від двигуна внутрішнього згоряння.

Його частота обертання залежить від швидкості руху автомобіля і визначається за формулою

$$n_{e0} = \frac{v \cdot u_0}{0,377 \cdot r_{st}},$$

де v – швидкість транспортного засобу;

u_0 – передавальне число головної передачі;

r_{st} – статичний радіус колеса.

Потужність, що витрачається від батареї для роботи електричного двигуна,

$$N_{eb} = \frac{N_{\Sigma}}{\eta_{e0}},$$

де N_{Σ} – сумарна потужність, що необхідна для руху автомобіля із заданими параметрами циклу;

η_{e0} – ККД тягового електричного двигуна.

Потужність N_{Σ} розраховується за рівнянням:

$$N_{\Sigma} = \frac{v}{3600 \cdot \eta_{TP}}$$

$$\left[\frac{k_w \cdot F \cdot v^2}{12,96} + m \cdot 9,81 \cdot \Psi_{\delta} + m \cdot a \cdot (1,05 + 0,05 \cdot u_0^2) \right],$$

де v – швидкість руху автомобіля; η_{TP} – ККД трансмісії; k_w – коефіцієнт обтікання; F – площа лобового опору; m – маса автомобіля; Ψ_{δ} – коефіцієнт сумарного дорожнього опору; a – прискорення автомобіля; u_0 – передавальне число головної передачі.

Поточна ємність акумуляторної батареї (кВт·год) змінюється за залежністю:

$$C_{bi} = C_{bi-1} - N_{eb} \cdot \frac{1}{3600},$$

де C_{bi-1} – ємність акумулятора на попередньому розрахунковому кроці.

Режими роботи ДВЗ визначаються параметрами акумуляторної батареї. При зарядженій акумуляторній батареї ДВЗ відключений [10]. При розрядженні батареї нижче за мінімально допустимий рівень ємності C_{bmin} ДВЗ виходить на режим зовнішньої швидкісної характеристики з мінімальною витратою палива g_{emin} . Потужність двигуна на зазначеному режимі можна визначити за результатами моделювання робочого процесу двигуна.

При роботі двигуна його витрата палива за 1 с:

$$B_{\Pi} = g_e \cdot \frac{N_e}{3600 \cdot 1},$$

де g_e – питома витрата палива на робочій частоті обертання ДВЗ;

Витрата палива двигуном за результатами руху автомобіля за циклом NEDC визначається за формулою:

$$B_{\Pi/100км} = \frac{100}{S \cdot \rho_{\Pi}} \int_0^{t_y} B_{\Pi} \cdot \Delta t,$$

де S – шлях, що долає автомобіль за час випробування за циклом NEDC; ρ_{Π} – густина палива; Δt – крок розрахунку по часі; t_y – тривалість випробувального циклу.

У випадку, коли потужність тягового електричного двигуна менше за потужність ДВЗ, частка

потужності ДВЗ, що використовується для зарядки акумуляторної батареї:

$$N_{eb} = \frac{N_e}{\eta_e} - \frac{N_{\Sigma}}{\eta_{ed}}$$

де η_e - ККД генератора струму.

Поточне значення ємності акумулятора змінюється за залежністю:

$$C_{bi} = C_{bi-1} + N_{eb} \cdot \frac{1}{3600}$$

В процесі гальмування відбувається рекуперація енергії. В цьому випадку тяговий електричний двигун працює в режимі генератора. Потужність, що використовується для зарядки батареї:

$$N_{eb} = \frac{N_e}{\eta_e} - \frac{N_{\Sigma}}{\eta_{edz}}$$

де η_{edz} – ККД тягового електричного двигуна при його роботі в режимі генератора.

Представлені вище математичні моделі реалізовані у програмному середовищі MATLAB.

Обґрунтування параметрів гібридної силової установки

Вихідні дані до розрахунку наведені в таблиці 1. Результати розрахунку динаміки руху автомобіля при розгоні наведені на рис. 1.

З рис. 1 видно, що при заданих параметрах автомобіля і дорожнього покриття автомобіль на горизонтальній поверхні розганяється до швидкості

100 км/год за 11,4 с. При цьому до швидкості 52 км/год тяговий електричний двигун забезпечує постійний крутний момент 441 Н·м і потужність, що зростає лінійно до максимального значення 86 кВт. При подальшому прискоренні потужність залишається постійною, а крутний момент зменшується.

При русі автомобіля по горизонтальній дорозі максимальна швидкість складатиме 180 км/год. При цьому частота обертання тягового електричного двигуна досягає 7000 хв⁻¹.

Таблиця 1. Параметри послідовної гібридної силової установки

| | |
|--|--------|
| Маса автомобіля m , кг | 1300 |
| Статичний радіус коліс r_{st} , м | 0,2794 |
| Висота автомобіля Br , м | 1,445 |
| Ширина автомобіля Hr , м | 1,725 |
| Коефіцієнт заповнення лобової площі автомобіля α | 0,78 |
| Номінальна ефективна потужність електродвигуна N_{edn} , кВт | 86 |
| Номінальна частота обертання тягового електричного двигуна n_{edn} , хв ⁻¹ | 1860 |
| Максимальна частота обертання тягового електричного двигуна n_{edmax} , хв ⁻¹ | 7000 |
| ККД трансмісії η_m | 0,9 |
| Повне передаточне відношення від електродвигуна до коліс автомобіля u_0 | 4,13 |

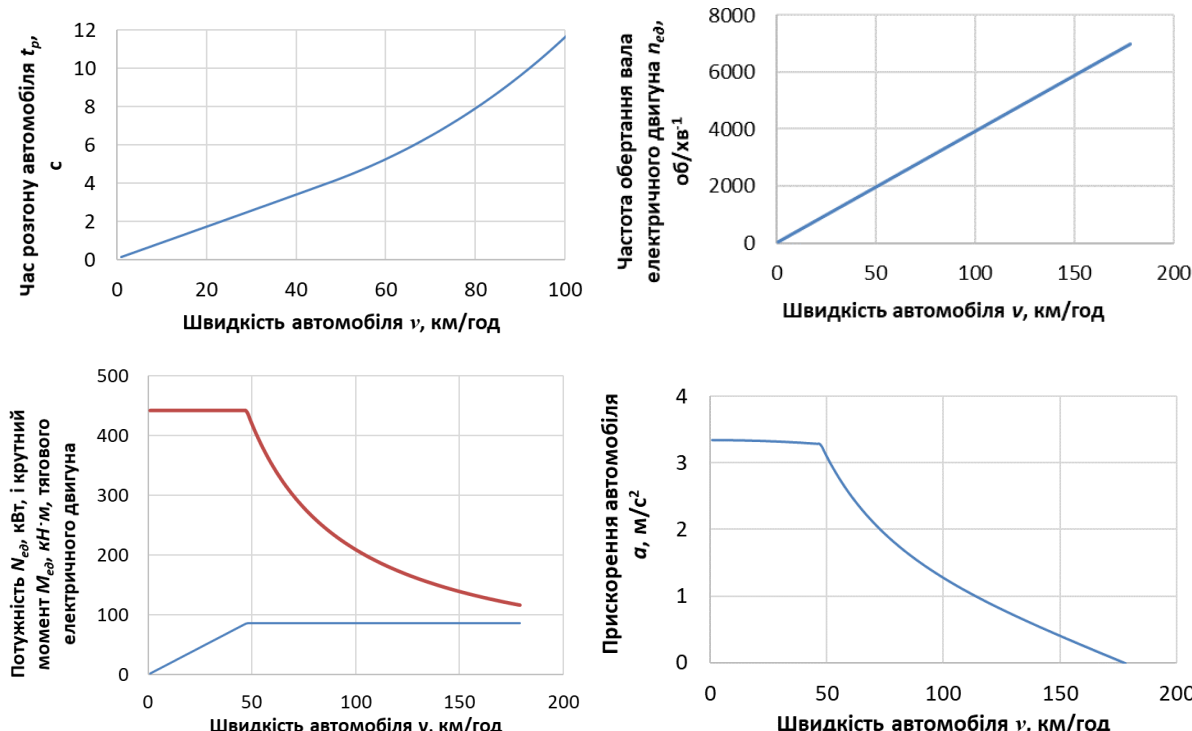


Рис. 1. Параметри розгону автомобіля на дорозі з кутом нахилу 0°

Таким чином, задані параметри тягового електричного двигуна забезпечують достатньо високі показники динаміки руху автомобіля, які визначають комфортність керування в міських умовах.

Визначення параметрів елементів гібридної силової установки за результатами моделювання робочого процесу ДВЗ і параметрів автомобіля на режимах випробувального циклу NEDC

Оскільки ДВЗ у складі гібридної силової установки працює на одному режимі зовнішньої швидкісної характеристики, то доцільно обрати режим, на якому забезпечується найкраща паливна економічність двигуна.

Для визначення цього режиму було проведено моделювання робочого процесу двигуна F18D3 на режимах ЗШХ. Результати наведені на рис. 2.

Видно, що найкраща паливна економічність забезпечується на режимах з частотою обертання від 2000 до 2400 хв⁻¹. При цьому питома ефективна витрата палива складає близько 242-242,5 г/(кВт·год).

Найменша витрата палива досягається на режимі зовнішньої швидкісної характеристики з частотою обертання 2200 хв⁻¹. При цьому потужність ДВЗ - 34 кВт.

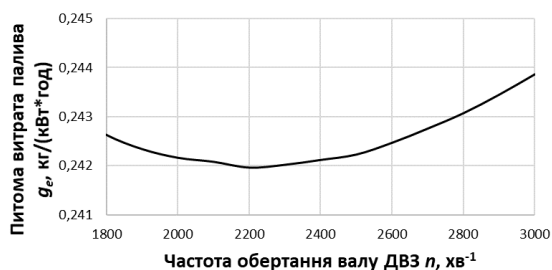


Рис. 2. Витрата палива двигуна F18D3 на режимах ЗШХ

Параметри ДВЗ при роботі на режимі найкращої паливної економічності визначають параметри генератора струму, який слід обрати для гібридної силової установки. Обираємо генератор, що спроектований для роботи з частотою обертання 2200 хв⁻¹. Вважаємо, що його ККД $\eta_g = 0,9$. При цьому він видає потужність 30 кВт.

Для визначення параметрів елементів силової установки виконано розрахунки впливу параметрів на середню експлуатаційну витрату палива ДВЗ. При зміні одного параметра інші параметри приймалися незмінними.

Вплив ємності АКБ на середню експлуатаційну витрату палива показаний на рис. 3. Ємність АКБ змінювали в діапазоні від 0,5 до 2 кВт·год. Такі значення є близькими до параметрів гібридних енергетичних установок сучасних автомобілів. Зменшення ємності акумулятора призводить до

зниження ціни автомобіля, зменшення його ваги і збільшення вільного простору в багажному відсіку. Проте з графіка видно, що при цьому зростає експлуатаційна витрата палива з 7 л/100 км до 9 л/100 км. Слід зазначити, що при розрахунках не враховувався вплив збільшення ваги АКБ при збільшенні її ємності. Якщо це врахувати, то економічний ефект від збільшення ємності батареї буде не таким суттєвим.

На рис. 4 наведено вплив рекуперації енергії гальмування для зарядки АКБ. Видно, що застосування рекуперації призводить до зменшення витрати палива з 8,1 л/100 км до 7,1 л/100 км. Цей спосіб покращення витрати палива при реалізації гібридного привода є одним з найбільш ефективних. Проте він вимагає суттєвої модернізації базової системи гальмування, що є проблематичним.

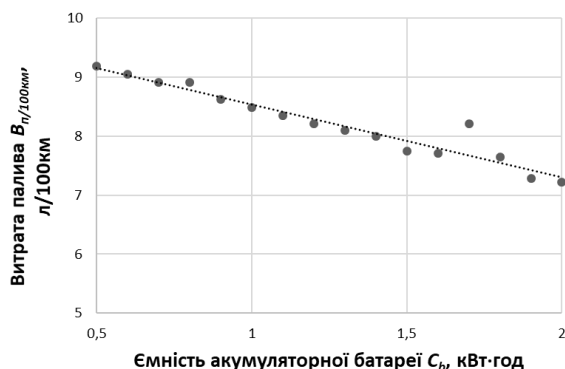


Рис. 3. Вплив ємності АКБ на середню експлуатаційну витрату палива

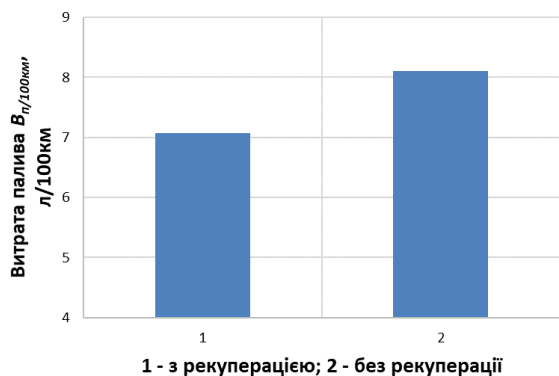


Рис. 4. Вплив рекуперації енергії гальмування для зарядки АКБ на середню експлуатаційну витрату палива

Вплив допустимого робочого діапазону зміни ємності АКБ на експлуатаційну витрату палива показаний на рис. 5

Видно, що збільшення робочого діапазону зміни ємності АКБ ΔC_b позитивно впливає на експлуатаційну витрату палива. Розрахунки показують, що при $\Delta C_b = 0,4$ кВт·год витрата палива є

найбільшою. В роботі рекомендовано обрати більш широкий діапазон $\Delta C_b = 0,8$ кВт·год.

За результатами проведених досліджень рекомендовано наступні параметри елементів гібридної силової установки:

- частота обертання колінчастого валу ДВЗ $n = 2200$ хв⁻¹;
- потужність ДВЗ $N_e = 34$ кВт;
- питома ефективна витрата палива ДВЗ $g_e = 242$ г/(кВт·год);
- максимальна ємність АКБ $C_{bmax} = 1,3$ кВт·год;
- робочий діапазон зміни ємності АКБ $\Delta C_b = 0,8$ кВт·год.

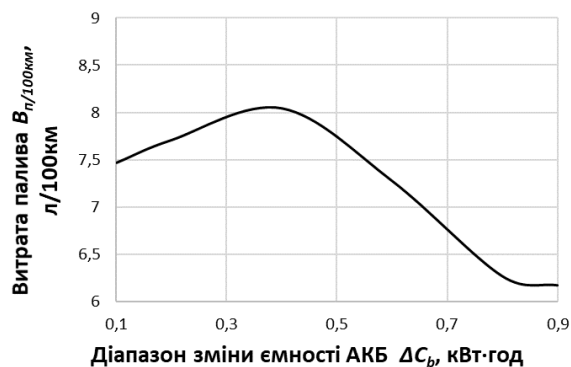


Рис. 5. Вплив робочого діапазону зміни ємності АКБ на експлуатаційну витрату палива

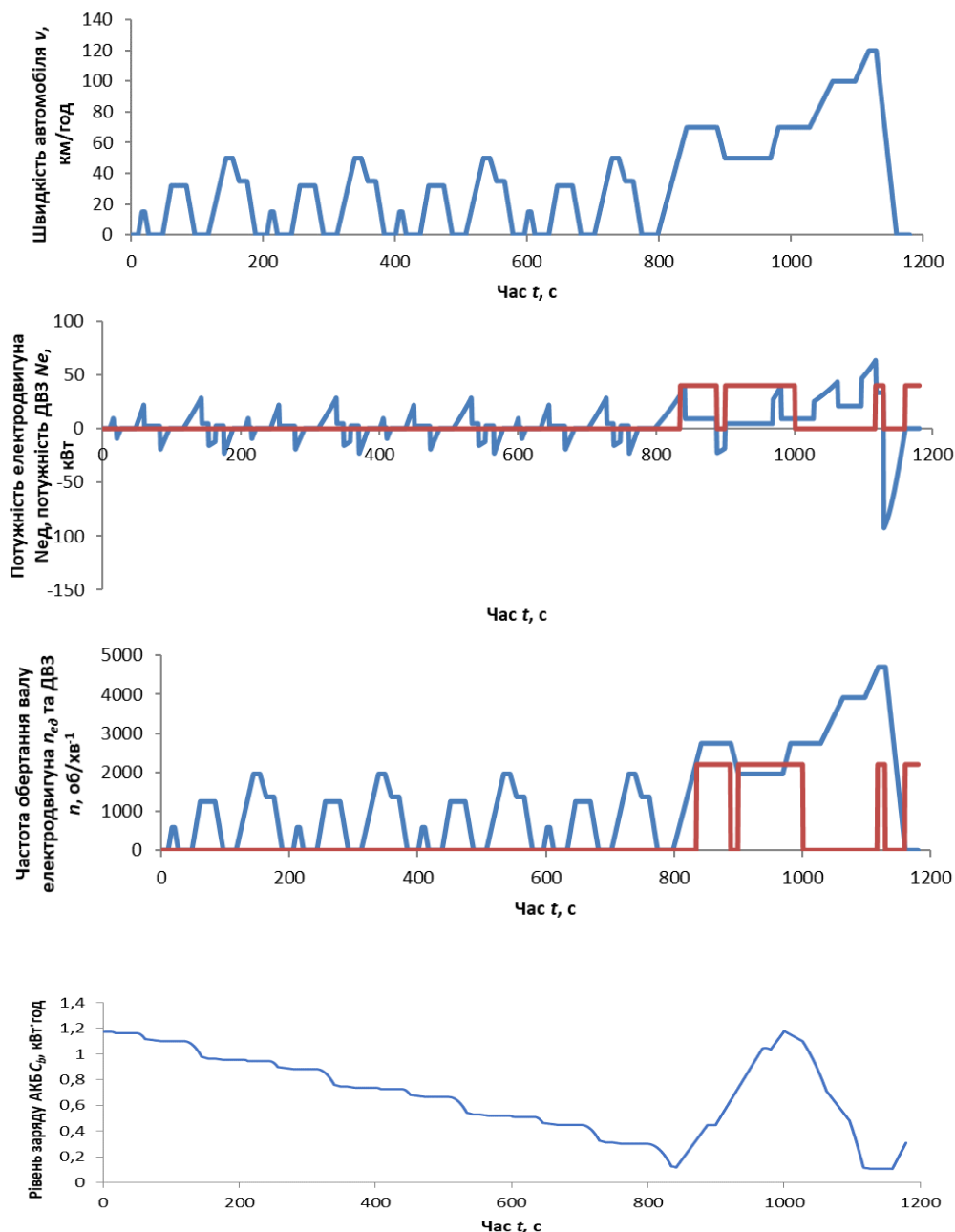


Рис. 6. Результати розрахунку параметрів двигуна і автомобіля на режимах випробувального циклу NEDC

Результати розрахунку параметрів двигуна і автомобіля на режимах випробувального циклу NEDC при рекомендованих параметрах елементів гібридної силової установки наведені на рис. 6.

З рис. 6 видно, що максимальна потужність електричного двигуна не перевищує 30 кВт при русі за міським циклом UDC і 60 кВт при русі за позаміським циклом EUDC. Видно, що обрані параметри тягового електричного двигуна цілком задовольняють умовам руху за циклом NEDC.

Максимальна потужність гальмування не перевищує 20 кВт при русі за міським циклом UDC і 95 кВт при русі за позаміським циклом EUDC. Видно, що енергія гальмування представляє собою резерв покращення паливної економічності двигуна при застосуванні рекуперації цієї енергії.

Процес зарядки АКБ триває 180 с. Протягом руху автомобіля за змішаним циклом NEDC відбуваються 4 запуски ДВЗ. Час розрядки батареї з 90% C_{bmax} до 10% C_{bmax} триває 840 с.

Експлуатаційна витрата палива ДВЗ у складі гібридної установки 6,5 л/100км. Якщо застосувати рекуперацію енергії, то ефект буде ще кращим: витрата палива зменшиться до 6 л/100км.

Таким чином, обрано параметри основних елементів гібридної силової установки, які є необхідними для їх вибору з наявних на ринку або проектування власних. Параметри режимів роботи тягового електричного двигуна, ДВЗ і генератора залежно від умов руху є необхідними для побудови алгоритму керування системою.

Продовженням роботи є вибір конкретних моделей обладнання і їх компонування на автомобілі, розробка алгоритмів керування залежно від умов руху і конструктивних особливостей системи.

Висновки

В роботі запропоновано методику конвертації силової установки автомобіля ДВЗ на послідовний гібридний силовий привід. При цьому реалізовані такі задачі:

1. Визначено параметри тягового електричного двигуна за результатами розрахунку динаміки розгону автомобіля. Показано, що для розгону до 100 км/год за 11,4 с достатньо застосувати тяговий електричний двигун потужністю 86 кВт і номінальною частотою обертання 1860 хв⁻¹.

2. Проведено розрахункове дослідження впливу параметрів елементів гібридної силової установки на середню експлуатаційну витрату палива. За результатами проведеного дослідження рекомендовано наступні параметри елементів гібридної силової установки:

- частота обертання колінчастого валу ДВЗ

$n = 2200 \text{ хв}^{-1}$;

- потужність ДВЗ $N_e = 34 \text{ кВт}$;

- питома ефективна витрата палива ДВЗ $g_e = 242 \text{ г/(кВт·год)}$;

- ємність АКБ $C_{bmax} = 1,3 \text{ кВт·год}$;

- робочий діапазон зміни ємності АКБ $\Delta C_b = 0,8 \text{ кВт·год}$.

Показано, що при обраних параметрах елементів гібридної силової установки і режимів її роботи експлуатаційна витрати палива силової установки автомобіля Chevrolet Lacetti зменшиться на 3,0-3,5 л/100км у порівнянні з базовою та складатиме 6-6,5 л/100км.

Список літератури:

1. Карасёв, С.В. 2018, "Средняя стоимость эксплуатации электромобиля в США составляет около \$500 в год", режим доступу: <https://3dnews.ru/964114/srednyaya-stoimost-ekspluatatsii-elektromobilya-v-ssha-sostavlyayet-okolo-500-v-god/?feed>.
2. Суховський, С.С. 2021, "Продажі електромобілів і гібридів в Європі виросли на 200% за рік", режим доступу: <https://thepage.ua/ua/auto/news/prodazhi-elektromobiliv-v-yevropi-top-krayin-i-200percent-zrostannya>.
3. "Аналитика: импорт легковых авто у 1 квартале 2021 року — тенденції та індикатори", режим доступу: <https://eauto.org.ua/news/19-import-legkovih-avto-u-1-kvartali-2021-roku-tendenciji-ta-indikatoru>.
4. Сериков С. А. Гибридная силовая установка автомобиля как объект управления / С. А. Сериков, Ю. Н. Борошенко // Автомобильный транспорт. – 2009. – Вып. 24. – С. 15-19. <https://dspace.khadi.kharkov.ua/dspace/handle/123456789/7>
4. 5. Осетров О.О. Математичне моделювання впливу параметрів двигуна внутрішнього згорання на динаміку розгону автомобіля / О.О. Осетров, Б.С. Чучуменко // Двигатели внутреннего сгорания. – 2021. – № 2. – С. 3-10. <https://doi.org/10.20998/0419-8719.2021.2.01>.
6. Осетров О.О. Експериментальне дослідження і математичне моделювання механічних втрат в автомобільному двигуні / О.О. Осетров, В.А. Кокуш, Д.С. Альохін // Вісник Національного технічного університету «ХПИ». Збірник наукових праць. Серія: Транспортне машинобудування. – 2017. – № 5 (1227). – С. 59–63.
7. Стуканов В.А. Основы теории автомобильных двигателей и автомобиля. Учебное пособие. – М:ФОРУМ: ИНФРА-М, 2005. – 368 с.
8. Осетров, О.О. Моделювання впливу параметрів легкового автомобіля на процес його розгону / Осетров, О.О., Чучуменко, Б.С. // Автомобіль і електроніка. Сучасні технології, (20), – 2021. – С.45–53. <https://doi.org/10.30977/VEIT.2021.20.0.05>.
9. Osetrov, O., Chuchumenko, B., Polivyanchuk, A. and Korohodskiy, V. (2021) "Mathematical Modeling and Computational Study of a Passenger Car Dynamics During Acceleration", 25th international scientific conference TRANSPORT MEANS 2021 6-8 October, 2021.
10. Modern Electric, Hybrid Electric, and Fuel Cell Vehicles. Fundamentals, Theory, and Design / Mehrdad Ehsani, Yimin Gao, Sebastien E. Gay, Ali Emadi//2005/ 395pp.

Bibliography (transliterated):

1. Karasev, S.V. (2018), "The average cost of operating an electric vehicle in the US is about \$500 per year" [*Srednyaya stoimost' ekspluatatsii elektromobilya v SSHA sostavlyayet okolo \$500 v god*], available at: <https://3dnews.ru/964114/srednyaya-stoimost-ekspluatatsii- elektromobilya-v-ssha-sostavlyayet-okolo-500-v-god/?feed>. 2. Sukhovskiy, S.S. (2021), "Sales of electric cars and hybrids in Europe grew by 200% in a year" [*Prodazhi elektromobiliv i hibrydiv v Yevropi vyrosly na 200% za rik*], available at: <https://thepage.ua/ua/auto/news/prodazhi- elektromobiliv-v-yevropi-top-krayin-i-200percent-zrostannya>. 3. "Analytics: import of passenger cars in the 1st quarter of 2021 — trends and indicators" [*Analityka: import lehkovykh avto u 1 kvartali 2021 roku — tendentsiyi ta indykatory*], available at: <https://eauto.org.ua/news/19-import-legkovykh-avto-u-1-kvartali-2021-roku-tendentsiji-ta-indykatori>. 4. Serikov, S. A., Borodenko, Y. N. (2009), "Hybrid power plant of a car as a control object" [*Gibridnaya silovaya ustanovka avtomobilya kak ob'ekt upravleniya*], *Automobile transport*, 2009, № 24., pp. 15-19. <https://dspace.khadi.kharkov.ua/dspace/handle/123456789/74>. 5. Osetrov, O.O., Chuchumenko B.S. (2021), "Mathematical modeling of the influence of the parameters of the internal combustion engine on the acceleration dynamics of the car" [*Matematychnye modelyuvannya vplyvu parametriv dyvhuna vnutrishn'oho z-horyannya na dynamiku roz-honu avtomobilya*], *Internal combustion engines*, 2021, №2, pp. 3-10. [https://doi.org/10.20998/0419-](https://doi.org/10.20998/0419-8719.2021.2.01)

8719.2021.2.01. 6. Osetrov, O.O., Kokush, V.A., Alokhin, D.S. (2017), *Experimental Dosage and Mathematical Model of Mechanical Inputs in Automotive Engines Bulletin of the National Technical University "KhPI". Collection of Science Works. Series: Transport and machinery. [Eksperimental'ne doslidzhennya i matematichne modelyuvannya mekhanichnih vtrat v avtomobil'nomu dviguni /Visnik Nacional'nogo tekhnichnogo universitetu «HPI». Zbirnik naukovih prac'. Seriya: Transportne mashinobuduvannya.]*, № 5 (1227), pp. 59–63. 7. Stukanov, V.A. (2005), "Fundamentals of the theory of automobile engines and automobiles. Tutorial" [*Osnovi teorii avtomobil'nykh dvigateley i avtomobilya. Uchebnoye posobiye*], M:FORUM: INFRA-M, 368p. 8. Osetrov, O.O., Chuchumenko B.S. (2021), "Modeling the influence of car parameters on the acceleration process", *Car and electronics. Modern technology* [*Modelyuvannya vplyvu parametriv lehkovooho avtomobilya na protses yoho rozhonu*], *Avtomobil' i elektronika. Suchasni tekhnolohiyi*, No 20, pp.45–53. 9. Osetrov, O., Chuchumenko, B., Polivyanchuk, A. and Korohodskiy, V. (2021) "Mathematical Modeling and Computational Study of a Passenger Car Dynamics During Acceleration", 25th international scientific conference TRANSPORT MEANS 2021 6-8 October, 202110. 10. *Modern Electric, Hybrid Electric, and Fuel Cell Vehicles. Fundamentals, Theory, and Design / Mehrdad Ehsani, Yimin Gao, Sebastien E. Gay, Ali Emadi/2005/395pp.*

Осетров Олександр Олександрович – канд. техн. наук, доц., доцент кафедри двигунів та гібридних енергетичних установок Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут», Харків, Україна, e-mail: osetrov2010@gmail.com, <http://orcid.org/0000-0002-5495-9626>.

Кравченко Сергій Сергійович - канд. техн. наук, доц., завідувач кафедри двигунів та гібридних енергетичних установок Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут», Харків, Україна, e-mail: kravc4enkoser@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-3250-8645>.

Чучуменко Богдан Сергійович – аспірант кафедри двигунів та гібридних енергетичних установок Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут», Харків, Україна, e-mail: potia1925@gmail.com

JUSTIFICATION OF THE PARAMETERS OF THE PASSENGER CAR SERIES HYBRID POWER PLANT

O. O. Osetrov, S.S. Kravchenko, B. S. Chuchumenko

The use of hybrid power plants in road transport can significantly improve driving dynamics and driving comfort, reduce its operating fuel consumption and emissions of harmful substances with exhaust gases. Due to the large number of used cars with internal combustion engines (ICE) in Ukraine, it is of interest to convert them into a hybrid power drive. However, the analysis of the literature revealed extremely limited information about the work in this direction. The paper proposes a method for selecting the parameters of elements of a series hybrid power drive based on a used Chevrolet Lacetti car. The technique is based on the use of mathematical models of the working process of the internal combustion engine, the dynamics of the acceleration of the car, the determination of the parameters of the series hybrid power plant in the modes of the European NEDC test cycle. Using the developed mathematical models, the rated power of the traction electric motor is 86 kW, the nominal and maximum rotational speed of its shaft, respectively, are 1860 and 7000 min⁻¹. It is shown that the car will accelerate to 100 km/h in 11.4 seconds, which fully satisfies the conditions of comfortable driving in urban conditions. As part of a hybrid power plant, the internal combustion engine operates in one mode. The paper substantiates the choice of the operating mode of the internal combustion engine, where it has the best fuel efficiency. At the same time, its power is 34 kW, and the crankshaft speed is 2200 min⁻¹. Accordingly, the power of the current generator will be 30 kW at a shaft speed of 2200 min⁻¹. The paper analyzes the influence of the battery capacity, the presence of braking energy recuperation, the operating range of battery capacity change on the average operating fuel consumption of internal combustion engines. It is shown that an increase in the battery capacity, the presence of recuperation, and the expansion of the operating range of changes in the battery capacity lead to an improvement in the operational fuel efficiency of an internal combustion engine. Based on the results of computational studies, the maximum battery capacity of 1.3 kWh was selected; the operating range of capacity change was 0.8 kWh. The use of elements with such parameters will ensure the average operating fuel consumption of the internal combustion engine is 6.5 l/100 km, and with the recovery of braking energy - 6 l/100 km.

Key words: internal combustion engine; car; mathematical model; working process; acceleration dynamics; operational fuel efficiency; hybrid power plant; conversion