

Шифр «Метод оцінювання»

**МЕТОДИ ОЦІНЮВАННЯ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ГІБРИДНОЇ СИЛОВОЇ
УСТАНОВКИ АВТОМОБІЛЯ**

ЗМІСТ

ВСТУП.....	3
1 Передумови використання гібридних транспортних засобів.....	4
2 Аналіз відмов і несправностей гібридної силової установки автомобіля Toyota Prius.....	10
3 Об'єкти діагностування силової гібридної установки.....	12
4 Основні несправності гібридної силової установки і існуючі методи їх виявлення.....	17
5 Вибір параметрів оцінки технічного стану гібридної силової установки.....	19
6 Розробка методів визначення параметрів оцінки технічного стану гібридної силової установки на автомобілі.....	23
Висновки.....	27
Література.....	28

ВСТУП

В даний час електричні та гібридні силові агрегати розглядаються як перспективні новітні технології для приведення в рух транспортних засобів, які можуть зменшити викиди парникових та інших вихлопних газів від автомобільного транспорту [1]. Аргументи полягають у тому, що електричні силові агрегати є більш енергоефективними для руху транспортних засобів, ніж звичайні двигуни внутрішнього згоряння, що працюють на бензині або дизелі, і що повний електричний привід не викидає шкідливі гази [1]. Крім того, електричні трансмісії можуть допомогти відокремити транспортний сектор від значної залежності від викопного палива. З іншого боку, електромобілі можуть вимагати додаткового виробництва електроенергії, і це можна зробити за допомогою декількох різних джерел енергії з різним впливом на навколишнє середовище. Крім того, електричні силові агрегати потребують нових вдосконалених компонентів, що спричиняє додаткові або, принаймні, інші впливи на навколишнє середовище в порівнянні зі звичайними автомобілями.

Розвиток транспорту забезпечує мобільність населення, підвищує комфортність подорожей та економить час. Однак використання транспортних засобів має негативні екологічні та соціально-економічні побічні ефекти. Згідно зі статистичними даними Міжнародного енергетичного агентства, автомобільний, повітряний, залізничний та водний транспорт разом виробляють близько 28% викидів CO_2 . У той же час викиди від автомобільного транспорту перевищують викиди від інших транспортних засобів, і станом на 2005 рік становили 73% викидів CO_2 .

Згідно з Національним кадастром антропогенних викидів України у 2012 році в категорії "Енергія", викиди CO_2 від спалювання палива транспортом становили 13,2% усіх викидів вуглекислого газу.

1 Передумови використання гібридних транспортних засобів

У Європі члени Асоціації європейських автомобільних виробників (АСЕА) добровільно погодились, відповідно до першого етапу зобов'язань, зменшити середні викиди CO₂ у 2008 році до 140 г/км (проміжна ціль) до 2012 року до 120 г/км, а до 2020 року – до 95 г/км. Іншим прикладом міжнародних програм зменшення викидів CO₂ є Глобальна ініціатива економії палива (GFEL), розроблена чотирма міжнародними організаціями: Міжнародна ініціатива економії палива (GFEL), Федерація (FIA), Міжнародне енергетичне агентство (IEA), Міжнародний транспортний форум (ITF) та Програма ООН з навколишнього середовища (UNEP). Ця ініціатива спрямована на зменшення споживання автомобільного палива на 50% до 2050 року. Але слід мати на увазі, що з очікуваним подвоєнням світового парку транспортних засобів, споживання вуглеводневого палива (а отже, і викидів CO₂) залишиться на сучасному рівні.

В існуючих гібридних автомобілях передача енергії від первинного двигуна на вал коліс реалізована через одну з таких схем: послідовна, паралельна або змішана. Деякими компаніями прийнято розділяти гібриди на «м'які» (mild hybrids), де допоміжне джерело енергії виступає лише в ролі асистента; «Повні» (full hybrids), здатні певний час рухатися тільки на допоміжному джерелі енергії; і «підзаряджатися» (plug-in hybrids).

Будь-гібридний автомобіль містить первинне джерело енергії, найчастіше це ДВЗ, і вторинний джерело енергії, наприклад акумуляторну батарею - в цьому випадку автомобіль називають «електричним» (hybrid electric vehicle). Існують і інші типи гібридних автомобілів: «пневматичний» (pneumatic hybrid vehicle), «маховикові» (flywheel hybrid vehicle), «гідравлічний» (hydraulic hybrid vehicle), однак масової популярності серед класу легкових автомобілів вони не отримали.

До теперішнього часу найбільшу кількість гібридних автомобілів реалізовано в США: понад 2 млн штук. Причому даний сегмент ринку представлений чималою кількістю різноманітних марок, значну частину яких займають моделі Toyota Prius (понад 1 млн машин) [2] і позашляховики SUV

(Crossover Utility \ vehicle). Основна мета гібридної схеми в таких машинах - поліпшення динамічних характеристик. Темпи зростання продажів при цьому досягають 50% в рік.

Компанія Ford починаючи з 2005 року продала приблизно 170 тис. гібридних автомобілів. А найекономічнішим кросовером на ринку позашляховиків став Ford Escape Hybrid з силовою установкою змішаного типу, виробленої за ліцензією компанії Toyota. Згідно з офіційними даними американської податкової служби, передньопривідний Escape Hybrid має витрата палива в місті (по шосе) – 6,9 (7,5) л/100 км, витрата повнопривідної версії – 8,1 (8,7) л/100 км.

Найбільш економічним повнорозмірним седаном в США є сьогодні Ford Fusion Hybrid, витрата палива у якого в середньому становить 5,7 (6,5) л / 100 км в місті (по шосе).

В Європі автопарк гібридних автомобілів менше, ніж в США, оскільки інтерес до них з'явився тільки з 2007 року. З початку продажів і за підсумками травня 2012 року було продано близько 800 тис. Гібридних моделей [2], з них: 423 тис. – легкові автомобілі Toyota і Lexus, ще близько 250 тис. – Honda всіх різновидів.

Щорічний обсяг продажів гібридних автомобілів в Європі становить нині приблизно 100 тис. шт. (0,7% всього авторинку), причому динаміка зростання - близько 25% в рік.

Деякі приклади, що стосуються європейських моделей: Audi – гібридні позашляховики Q5, Q7; Opel – дизельний Astra; Renault – гібридна Kangoo; Peugeot – дизельний 3008 Hybrid 4; В МВ - Active Hybrid 7, X6; Mercedes – S400, M L450; Porsche Hybrid RS і ін.

За популярністю в Європі домінує модель Toyota Prius, на частку якої припадає понад 80% продажів гібридних автомобілів [2].

Хоча у Японії кількість гібридних автомобілів менше, ніж у США, їм не відмовиш в популярності. За минулі 15 років вони неодноразово перекривали (за підсумками місячних звітів) продажу традиційних автомобілів з ДВЗ. Зараз їх

частка в сукупному обсязі ринку легкових машин складає в середньому 17...20% [3].

Що стосується поточної статистики, то за підсумками 2011 року в Японії було продано близько 250 тис. гібридних автомобілів.

Таким чином, згідно з наявними даними, за 15 років існування гібридних технологій в світі було продано більше 4 млн автомобілів з гібридною силовою установкою (ГСУ). При цьому динаміка продажів є стійкою і має тенденцію до зростання.

Темпи зростання чисельності світового автопарку гібридних автомобілів в кількісному виразі збільшуються: кожні 5 років приблизно на 3 млн. штук [2]. З урахуванням тенденцій, що склалися до 2015 року автопарк може досягти 7 млн. штук. При цьому щорічні продажі гібридів становитимуть близько 10% від загального числа всіх реалізованих в світі автомобілів. Згідно з прогнозом, частка автомобілів з ГСУ змішаного типу досягне 80% від всіх гібридних моделей. Найпоширеніша в світі модель Prius компанії Toyota, що займає більше 50% автопарку, продається в США за 19...22 тис. дол. Найбільш доступним серійним гібридним автомобілем в світі є Honda Fit, його ціна в Японії складає 18,6 тис. дол.

Основними **перевагами** гібридних автомобілів, які сприяють їх поширенню, на думку самих покупців, визнаються:

1. Низька витрата палива при експлуатації в міському режимі руху і екологічність автомобіля. Встановлено, що середня витрата палива гібридних моделей зазвичай не перевищує 6,5 (4,8) л/100 км у міському (приміському) режимі руху. Для повнопривідних машин – 10,6 (7,6) л/100 км.

2. Прагнення до передових технологій, інноваційних рішень. Більшість покупців купують гібридні автомобілі, усвідомлюючи їх причетність до новітніх технічних досягнень автомобілебудування. Конструкція ГСУ, кардинально відрізняється від традиційної силової установки, можна назвати такою.

3. Ходові характеристики і високий комфорт:

- динаміка розгону поліпшується завдяки тому, що електродвигуни розвивають максимальний крутний момент зі стану спокою;
- гібридна трансмісія завжди має безступінчасте або автоматичне перемикання передач, що зручно для руху в міському режимі;
- як правило, гібридні автомобілі мають широкий набір опцій в стандартних комплектаціях – таких, як навігаційна система, кліматична установка, передні і задні подушки безпеки, автоматичне включення фар і склоочисників, електропідсилювач керма, антипробук-совочная система, система курсової стійкості, бесключевой доступ в салон, опції для зимової експлуатації та ін.
- підвіска гібридного автомобіля більш комфортна, оскільки маса неопдресорених елементів кузова зменшена, що стало можливим завдяки застосуванню рекуперативного гальмування, що знімає до 80% навантаження на фрикційні гальмівні механізми.

4. Висока надійність. Дослідження експлуатаційних умов дозволили визначити закономірності зміни технічного стану гібридного автомобіля. Імовірність прояву будь-якої несправності гібридної трансмісії при пробігу 100 тис. км. складає всього лише 15%. Для порівняння: у силової установки типового автомобіля ця величина наближається до 100%. Термін служби дорогих елементів гібридної трансмісії – 8...10 років. Велика частина гібридних автомобілів, випущених до 2000 року, експлуатується без серйозних несправностей. Відмови високовольтної батареї ГСУ виникають в основному через неправильну експлуатацію автомобіля (наприклад: їзда без бензину), випадок же передчасного виходу батарей з ладу через старіння дуже рідкісні [4].

На рис. 1 представлена діаграма розподілу світового автопарку гібридних автомобілів по маркам і моделям [2].

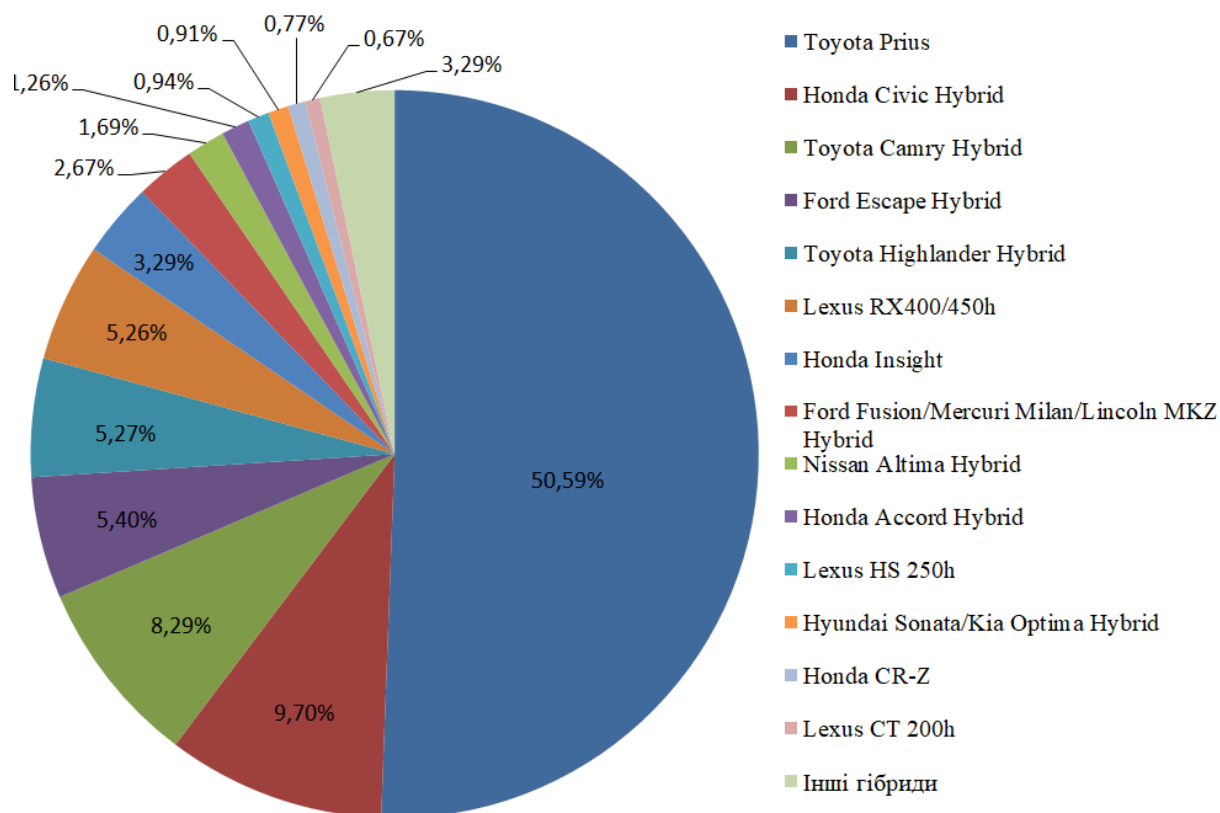


Рисунок 1 – Розподіл автопарку гібридних автомобілів по маркам і моделям

Проблеми, що перешкоджають поширенню гібридних автомобілів:

1. Їх вартість. Високовольтна батарея, інвертор і електромотори-генератори силової установки збільшують ціну машини на 30%.
2. Технічний супровід експлуатованих автомобілів з боку провідних автовиробників недостатньо поки організовано. В результаті персонал станцій технічного обслуговування не має можливості для проведення якісного сервісу та ремонту.

Як впливає з табл. 1, кожна з країн активно стимулює розвиток власного виробництва гібридів інвестиційної підтримкою, а купівлю гібридних автомобілів - податковими і законодавчими заходами.

Таблиця 1 – Основні заходи державного стимулювання та підтримки виробництва і купівлі більш економічних автомобілів

Країна	Заходи
США	• Субсидування покупки нового автомобіля при здачі старого на утилізацію. Розмір субсидії залежить від різниці між витратою палива старого і нового автомобілів і становить від 400 до 4500 дол. • Гранти на розвиток інфраструктури виробництва комплектуючих деталей і вузлів для гібридних автомобілів і електромобілів • Освітні гранти на підготовку робочого персоналу, необхідного для виробництва гібридних автомобілів.
Японія	• Субсидії на покупку нового гібридного автомобіля або електромобіля.
Франція	• Субсидії на покупку нового гібридного автомобіля або електромобіля. • Субсидії ЄС на дослідження і розробку екологічних автомобілів.
Німеччина	• Законодавчі заходи. Так, наприклад, якщо в сім'ї є другий автомобіль, то він повинен мати вищий клас екологічної безпеки, тобто бути гібридним або повністю електричним.
Великобританія	• Гранти на розвиток інфраструктури виробництва екологічних автомобілів. • Субсидії на покупку нового гібридного автомобіля або електромобіля.
Китай	• Субсидії при покупці нового гібридного автомобіля.
Росія	• Акцизное регулювання в залежності від максимальної потужності двигуна. • Гранти на наукові дослідження в області створення енергоефективних двигунів і рушіїв для транспортних засобів. • Гранти на розробку і створення гібридних силових установок і їх комплектуючих.

Не зважаючи на слабо розвинену інфраструктуру, розвиток автопарку гібридних автомобілів не зупиняється, а тільки посилюється. Цьому сприяють значне підвищення цін на паливо (за 1 літр бензину марки «Super», аналога нашого Аі-95, в Німеччині потрібно заплатити 1,61 євро, у Франції – 1,54 євро) і державні програми поліпшення екологічної обстановки у великих містах. Так, в

транспортній стратегії Євросоюзу робиться акцент на поступове зниження споживання нафтового палива, а до 2050 року намічено введення повної заборони на використання бензину. Для цього вже сьогодні розробляється ряд заходів на користь підтримки гібридних і електричних автомобілів, в таблиці 1 наведені основні з них, що передбачаються урядами різних країн світу.

2 Аналіз відмов і несправностей гібридної силової установки автомобіля Toyota Prius

Оцінка несправностей ГСУ автомобіля Prius вимагає проведення об'єктивного дослідження. Існують рекомендаційні документи в яких описуються методики проведення випробуванні на надійність. Один з достовірних методів випробування машин на надійність є випробування в реальних умовах експлуатації. Найбільш підходящим місцем для повноти і достовірності одержуваної інформації є підприємства, що спеціалізуються на ремонті автомобілів з ГСУ. З одного такого підприємства було взяті дані (табл. 2), які показують відмови по різних системах.

Для виявлення джерел походження відмов виконаний аналіз причини і механізми виникнення і прояви відмов, а також їх вплив на надійність і працездатність автомобіля в цілому.

Згідно з наявною інформацією щодо розподілу відмов і несправностей ГСУ найбільше їх число (71%) безпосередньо пов'язане з двигуном внутрішнього згоряння. Проблему викликає діагностування несправностей саме цього вузла. Це пояснюється тим, що перевірити роботу двигуна внутрішнього згоряння в даному випадку важко, його запуск і управління здійснює електронний блок керування (ЕБК) і тільки в режимі споживання потужності.

Таблиця 2 – Розподіл несправностей автомобіля Toyota Prius

№ п/п	Найменування агрегату і системи	Відмови по інтервалах напрацювання, тис. км*	Усього %
-------	---------------------------------	--	-------------

		0-25	25-50	50-75	75-100	100-25	125-150	150-175	
1	Двигун	0	0	6	14,5	16,5	16	18,0	71,0
	- система запалення	0	0	6	13	12	10	10	-
	- система управління двигуном, датчики	0	0	0	0	1	1,5	2,0	-
	- система живлення	0	0	0	1,5	3	4,5	6	-
2	Пристрій розподілу потужності (PSD)	0	0,5	0,5	2	4,5	5,5	8	21
	- система охолодження	0	0	0	1	2,5	3	4	-
	- зубчасті механізми трансмісії	0	0	0	0	0,5	0,5	1,5	-
	- система мастила трансмісії	0	0,5	0,5	1	1,5	2	2,5	-
3	Електроніка	0	0	0	0	0,5	2	3	5,5
	- несправність силових ключів інвертора	0	0	0	0	0,5	1	1,5	-
	- несправність обмотки статора мотор-генератора (МГ2)	0	0	0	0	0	1	1,5	-
4	високовольтна батарея (ВВБ)	0	0	0	0	0	0,5	2	2,5
	- неприпустимий розряд батареї	0	0	0	0	0	0	0,5	-
	- закипання, вихід з ладу елементів батареї	0	0	0	0	0	0	0,5	-
	- втрата ємності батареї	0	0	0	0	0	0	0,5	-
	- інше	0	0	0	0	0	0,5	0,5	-
	Усього	0	0,5	3,5	8,5	20	29	38,5	100

* Рекомендована виробником періодичність обслуговування становить 10 тис. км.

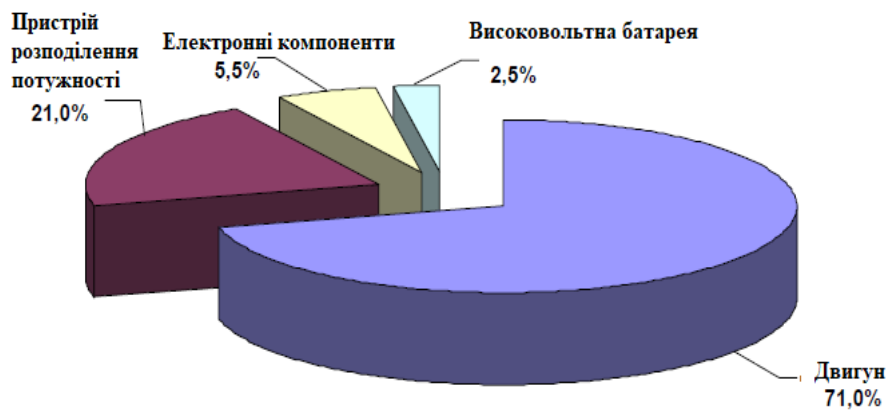


Рисунок 2 - Розподіл несправностей гібридного автомобіля Toyota Prius

Таким чином, в результаті аналізу встановлено наступне:

Перше – стандартні методи діагностування силового агрегату на нерухомому автомобілі не можуть бути застосовані в повному обсязі.

Друге – існує взаємовплив несправності одних елементів ГСУ на працездатність інших, що є причиною однієї з найпоширеніших помилок при постановці діагнозу.

Третє – на умови експлуатації має сильний вплив клімат, тобто, це необхідно враховувати при періодичності обслуговування.

3 Об'єкти діагностування силової гібридної установки

Двигун. Автомобіль Toyota Prius має двигун внутрішнього згоряння (ДВЗ) об'ємом 1497 см³. На версії 2009 року застосовується інший двигун об'ємом 1,8 літра. Позначення компанії Toyota для двигуна Prius: 1NZ-FXE.

У двигуні 1NZ-FXE реалізований цикл Аткинсона-Міллера. У циклі Аткинсона-Міллера впускний клапан не закривають в нижній мертвій точці, а залишають відкритим, в той час як поршень починає підніматися. Частина суміші витісняється у впускний колектор (щоб використовуватися в іншому циліндрі). Точка, в якій закривається впускний клапан, є змінною. Обсяг суміші,

яка буде використана для стиснення, може таким чином бути зменшений, не використовуючи примусове закриття дросельної заслінки. За допомогою цього можливо обмежувати вихідну потужність двигуна без великих насосних втрат, це робить двигун набагато більш ефективним, ніж звичайний в режимах часткових навантажень, які використовуються в більшості ситуацій. Тепловий ККД двигуна 1NZ-FE, що працює по циклу Отто, досягає 35% при максимальній потужності і зменшується до 18% при $0,2N_{\max}$. Аналогічний двигун 1NZ-FXE, але який працює по циклу Аткинсона-Міллера. При $0,2N_{\max}$ має ККД 34% [5].

Гарантійний термін експлуатації становить 100 тис. км або 5 років, в залежності від того, що настане раніше.

Ni-MH високовольтна батарея автомобіля Toyota Prius. Найбільш дорогим елементом силового електроприводу є накопичувач електричної енергії – високовольтна акумуляторна батарея (ВВБ), до того ж його важко діагностувати.

У ГСУ автомобіля Prius застосовується нікель-металогідридна високовольтна акумуляторна батарея (Ni-MH ВВБ) компанії Панасонік.

У табл. 3 наведені основні характеристики ВВБ, застосовуваної в моделях Prius 20 [6,7].

Показник питома потужність показує, яку потужність здатний віддавати акумулятор при заданій вазі. Це показник здатності автомобіля з ГСУ прискорюватися і долати підйом.

До характеристики Ni-MH – акумуляторів можна віднести щільність енергії та число циклів «заряд-розряд».

Показник щільність енергії показує, скільки енергії запасасться в одиниці об'єму акумулятора. Застосування батарей з високою щільністю енергії акумулятора економить місце в автомобілі і зменшує його вагу.

Показник число циклів «заряд-розряд» або ресурс визначається, як один повний 100-відсотковий заряд і розряд на 80% ємності.

Таблиця 3 - Основні характеристики акумуляторної батареї Toyota Prius

Параметр, од. вим.	Величина параметру
Напруга елемента,	1,2
Щільність енергії,	420
Коефіцієнт використання енергії.	80-95
Питома потужність. Вт / кг	100-500
Термін служби, цикли заряду-розряду	більше 10 000
Робоча температура, ° С	-25...+50
Обслуговування	Не потребує

В Ni-MH призматичних акумуляторах позитивні і негативні електроди розміщені по черзі, а між ними розміщується сепаратор. Блок електродів вставлений в металевий або пластмасовий корпус і закритий герметичною кришкою. На кришці встановлюється датчик тиску (рис. 3).

В Ni-MH-акумуляторах використовується лужний електроліт, що складається з КОН (їдкий калій) з добавкою гідроксиду літію LiOH. Як сепаратора в NiMH акумуляторах застосовуються неткані поліпропілен і поліамід товщиною 0,12...0,25 мм, оброблені спеціальною рідиною, що добре змочує поверхні.

Позитивний електрод являє собою оксидно-нікелевий пористий шар на пенополімерній основі.

Негативний електрод складається з порошку або пасти активної маси, яка має водень-абсорбуючі властивості і нанесена на струмопровідну сітку.

Характеристики Ni-MH-акумуляторів.

Значення напруги розімкнутого ланцюга $U_{р.л.}$ зарядженого Ni-MH-акумулятора знаходиться в інтервалі 1,50...1,35 В.

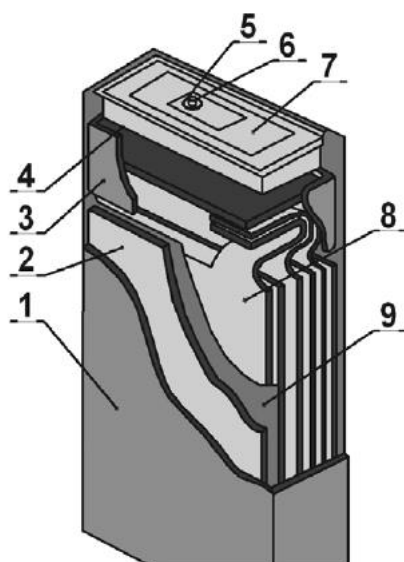


Рисунок 3 – Конструкція (Ni-MH) акумулятора: 1 – корпус; 2 – анод; 3 – ізолятор; 4 – ізоляційна прокладка; 5 – ковпачок клапана; 6 – датчик тиску; 7 – кришка; 8 – позитивний електрод; 9 – сепаратор

Компанія Toyota не регламентує вимоги по обслуговуванню ВВБ весь термін її служби. Виробник батарей – компанія Панасонік гарантує роботу ВВБ без значного зниження ємності протягом 10 років експлуатації.

На моделі NHW-11ВВБ складається з 228 елементів 1,2 В кожен, об'єднаних в 38 модулів по 6 елементів, з повною номінальною напругою 273,6 В. Вся батарея встановлена за заднім сидінням. При цьому елементи являють собою плоскі модулі в пластмасових корпусах сірого кольору. Максимальний струм батареї – 80 А при розряді і 50 А при заряді. Номінальна ємність батареї – 6,5 А-год. Електроніка автомобіля, з метою продовження терміну служби акумуляторів, дозволяє використовувати тільки 55% цієї ємності. Стан заряду може змінюватися тільки між 35% і 90% повного номінального заряду.

На моделі NHW-20 кількість елементів – 168, модулів – 28. Але для використання в інверторі напруга батареї підвищується до 500 В за допомогою спеціального пристрою - «перетворювача». Збільшення номінальної напруги МГ2 в моделі NHW-20 дозволяє підвищити його потужність до 50 кВт без зміни габаритів (рис. 4).

Збірка 1,2 В x 6 секцій x 28 модулів = 201,6 В

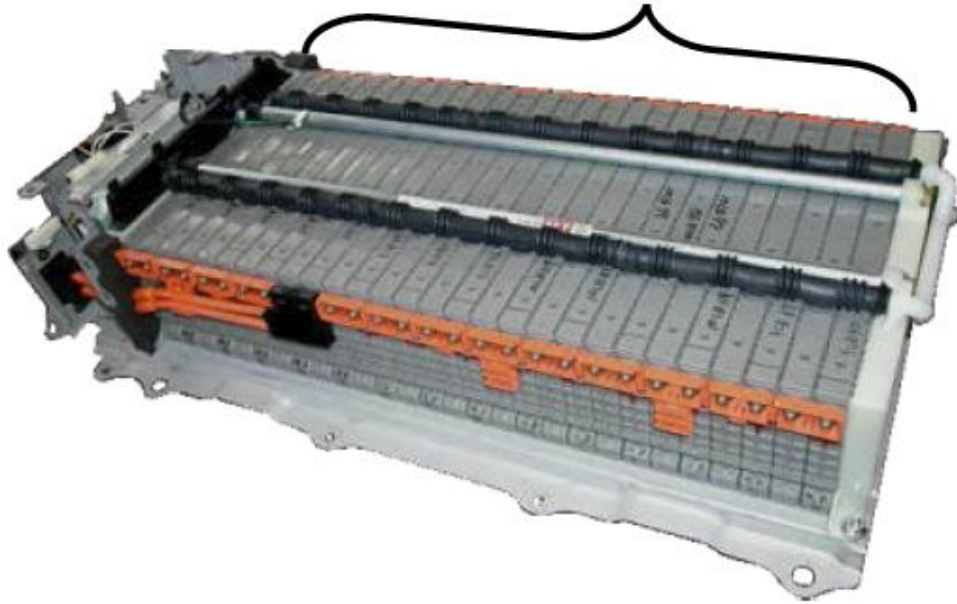


Рис. 4. Зовнішній вигляд нікель-металогідридної батареї Toyota Prius

В автомобілі також є допоміжна АКБ – це 12-вольтова, свинцево-кислотна батарея ємністю 28 ампер-годин, яка знаходиться в лівій частині багажника (в кузові NHW-20 – в правій). Її застосування полягає в тому, щоб жити низьковольтну систему електрообладнання та додаткові пристрої, коли ГСУ вимкнена, і головне реле батареї високої напруги вимкнено. Коли ГСУ працює, низьковольтним джерелом служить перетворювач постійного струму високої напруги, що надходить від ВВБ, в постійний струм 12 В, який також заряджає допоміжну батарею в разі потреби.

Основні блоки управління обмінюються даними по внутрішній CAN-шині. Решта системи зв'язана по внутрішній мережі Body Electronics Area Network.

У ВВБ є свій блок управління, який стежить за температурою елементів, напругою на них, внутрішнім опором, а також керує вбудованим в ВВБ вентилятором. На моделі NHW11 були встановлені 4 температурних датчика, що представляють собою терморезистори на самих контейнерах, і 1 – загальний датчик контролю температури повітря ВВБ, на моделі NHW20 – 3 на контейнерах акумуляторів і 1 – загальний.

4 Основні несправності гібридної силової установки і існуючі методи їх виявлення

Основні несправності ВВБ: неприпустимо низька напругу; перегрів при заряді; втрата ємності; високий внутрішній тиск при заряді; швидкий саморозряд.

Основні причини несправності ВВБ – це їзда на автомобілі без бензину і тривале зберігання автомобіля без запуску ДВЗ.

Загальні перевірки ВВБ полягають у встановленні причин несправностей, зчитуванні кодів несправності з блоку управління ВВБ, візуальному огляді батареї, діагностиці ДВЗ. Працездатність ВВБ безпосередньо пов'язана зі справністю ланцюга заряду, виходячи з цього, в першу чергу слід шукати причину в ланцюзі заряду ДВЗ і його системі, генераторі, інверторі, силових дротах.

Ремонт несправної ВВБ полягає в проведенні відновного циклу заряду, заміні пошкоджених осередків або всієї батареї.

Гарантійний термін експлуатації в умовах сервісного обслуговування становить 160 тис. км або 8 років. В залежності від того, що настане раніше.

При аналізі втрат в тяговому приводі автомобілів з електроприводом слід звертати увагу на електричні з'єднання. Потужність, що передається між елементами тягового приводу, може досягати 50 кВт. При цьому втрати в електричних з'єднаннях можуть досягати 30 %. Доцільно підвищити напругу силової електромережі, що призведе до зменшення струму, а значить і до зниження втрат. Загальна довжина силових проводів може досягати 10 метрів. Силові клеми повинні забезпечувати надійне з'єднання. При напрузі ланцюга 310 В струм може досягати максимального значення 200 А.

Діагностика втрат в електричних проводах складна. Основний метод – це візуальна перевірка механічних з'єднань на предмет ослаблення контакту і слідів перегріву.

Електромотори і силовий керуючий пристрій

Оскільки МГ працюють від змінного трифазного струму, а батарея, як і всі батареї, виробляє постійний струм, необхідно якийсь пристрій, щоб перетворити один вид струму в інший [6]. Кожен МГ має «інвертор», який виконує цю функцію. Інвертор має інформацію про стан ротора від датчика на валу МГ і керує струмом в обмотках двигуна так, щоб підтримувати обертання мотора на необхідній швидкості і з необхідним крутним моментом. Інвертор змінює струм в обмотці, коли магнітний полюс ротора проходить повз цієї обмотки і переходить до наступної, крім того, інвертор підключає напругу батареї на обмотки і потім вимикає знову дуже швидко (з високою частотою), щоб змінити середнє значення струму і, таким чином, обертаючий момент. Використовуючи «самоіндуктивність» моторних обмоток (властивість електричних котушок, які чинять опір зміні струму), електромотор дозволяє досягти дуже великого крутного моменту на малих обертах. Приблизно до 11 км/год, МГ2 здатний створити крутний момент 350 Нм (400 Нм для кузова NHW-20) на редукторі. Завдяки цьому автомобіль може почати рух з прийнятним прискоренням без використання коробки передач, яка зазвичай збільшує крутний момент ДВЗ. При короткому замиканні або перегрів інвертор відключає високовольтну частину машини. В одному блоці з інвертором розташований і конвертер, який призначений для зворотнього перетворення змінної напруги в постійну – 13,8 вольт.

Основними несправностями є: підвищений шум, вібрація, нерівномірність руху автомобіля, перегрів, замикання на корпус, міжвиткове замикання, відсутність контакту. Причинами несправності є: заводський брак: порушення умов експлуатації: природний знос.

Пристрій розподілу потужності

Крутний момент і енергія ДВЗ і моторів генераторів об'єднані і розподіляються планетарним набором зубчастих коліс, названим Toyota PSD (Power Split Device) або «пристроєм розподілу потужності». Цей пристрій дозволяє ГСУ працювати як в послідовному, так і в паралельному режимах

роботи одночасно і отримувати деякі з переваг кожного. Наприклад, ДВЗ може обертати колеса безпосередньо (механічно) через PSD. У той же самий час змінну кількість енергії може бути знято з ДВЗ і перетворено в електрику. Пристрій може заряджати батарею або передавати енергію до одного з моторів/генераторів, щоб допомагати крутити колеса.

Toyota Prius має CVT (Continue Variable Transmission) – безступенево регульовану, або «постійно змінну» трансмісію, це і є пристрій розподілу потужності. Вали планетарної і головної передачі пов'язані між собою зубчатим ланцюгом.

Основними несправностями є: підвищений шум, вібрація, нерівномірність руху автомобіля, перегрів, витік масла або антифризу. Причинами несправності є: заводський брак; природний знос.

Профілактичні огляди: визначення кольору масла і наявності в ньому продуктів зносу.

5 Вибір параметрів оцінки технічного стану гібридної силової установки

Вибір діагностичних параметрів для оцінки технічного стану ГСУ є складним завданням. Це пов'язано з тим, що у виконанні робочого вихідного процесу (створення сили тяги на ведучих колесах) беруть участь чотири самостійних вузла: двигун, мотор-генератор 1, мотор-генератор 2 і високовольтна батарея. Кожен з елементів є самостійним вузлом, що працює окремо.

Для даної системи при встановленні несправності одного з вузлів найбільш цікаві узагальнюючі параметри, які стосуються елементів ГСУ. При оцінці технічного стану досить мати інформацію про узагальнюючі параметри вихідних процесів, що характеризують технічний стан агрегату в цілому (наприклад, витрата палива на 100 км шляху, максимальна потужність, мотори та ін.). При оцінці окремого вузла або елемента можуть бути використані приватні

параметри технічного стану конкретного механізму, системи (наприклад, опір обмотки, саморозряд батареї), і їх еталонні значення. Методики оцінки стану ДВЗ аналогічні тим, що використовуються в даний час.

При діагностуванні ГСУ автомобіля Toyota Prius можуть бути використані параметри робочих процесів і параметри супутніх процесів функціонуючих механізмів.

Параметрами робочих процесів ГСУ є: потужність, що розвивається ГСУ (S1). Витрата палива ГСУ (S2) [7], коефіцієнт енергетичної ефективності ГСУ (S3) [1,3]. Діагностичними ознаками є: електрична потужність МГ1 в режимі електродвигуна (y1); електрична потужність МГ1 (y2) в режимі генератора; електрична потужність МГ2 у3 в режимі електродвигуна: електрична потужність МГ2 (y4) в режимі генератора: електрична потужність ВВБ (y5) при розряді: електрична потужність ВВБ (y6) при заряді; саморозряд ВВБ (y7); ємність ВВБ (y8).

Параметрами супутніх процесів є: шум (s1), вібрації (s2). Тепловиділення двигуна (s3). Тепловиділення РБВ (s4); тепловиділення ВВБ (s5). Параметри робочих процесів ГСУ є діагностичними параметрами, кожен з яких характеризується фактичною величиною і темпом її наростання.

Параметри вихідного процесу обрані відповідно до критеріїв оптимальності. Оцінка обраних параметрів проведена табл.4.

Між структурними (S1-S2) і діагностичними (y1-y6) параметрами існують взаємозв'язки (рис. 5), що залежать від функціональних і конструктивних особливостей ГСУ. МП1 приймає участь в створенні потужності ГСУ, споживання енергії відбувається в режимах руху з постійним навантаженням та при запуску ДВЗ. Робота МГ2 в режимі електродвигуна відбувається при розгонах, в режимі генерації енергії при русі з постійним навантаженням та рекуперативному гальмуванні.

При проведеній оцінки, виходячи з необхідних вимог, обрані діагностичні параметри у1-у6. Параметри у5-у6 можуть бути використані як діагностичні, тільки в комплексі з іншими. Параметри у7-у8 доцільно використовувати як часткові при визначенні гранично-допустимого стану ВВБ.

Таблиця 4 Оцінка діагностичних параметрів на предмет відповідності критеріям оптимальності

Критерій \ Параметр процесу	у1	у2	у3	у4	у5	у6	у7	у8
1. Функціональна важливість для оцінки технічного стану автомобіля	•	•	•	•	•	•	•	•
2. Однозначність в залежності від напрацювання автомобіля	•	•	•	•	•	•	•	•
3. Чутливість (інформативність) по відношенні до структурного параметру	•	•	•	•	•	•	1	1
4. Стабільність при багаторазових вимірах, характеризується ступенем розсіювання	•	•	•	•	•	•	2	2
5. Здатність розрізняти й виявляти несправності за місцем їх виникнення	•	•	•	•	3	3	•	3
6. Забезпечувати технологічність і економічність при діагностуванні	•	•	•	•	•	•	4	4

Примітка. У таблиці цифрами показані:

1. Параметр може бути виміряний тільки протягом тривалого проміжку часу
2. Залежить від температури батареї.
3. Чи може бути наслідком різних причин.
4. Великі витрати часу і на підготовчі роботи.

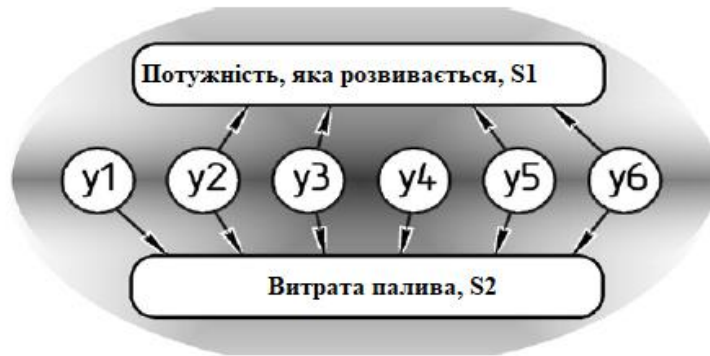


Рисунок 5 – Зв'язки між структурними і діагностичними параметрами:

y_1 – потужність МГ1 в режимі електродвигуна, кВт; y_2 – потужність МГ1 в режимі генератора кВт; y_3 – потужність мГ2 в режимі електродвигуна, кВт; y_4 – потужність мГ2 в режимі генератора, кВт; y_5 – потужність ВВБ в режимі розряду, кВт; y_6 – потужність ВВБ в режимі заряду, кВт

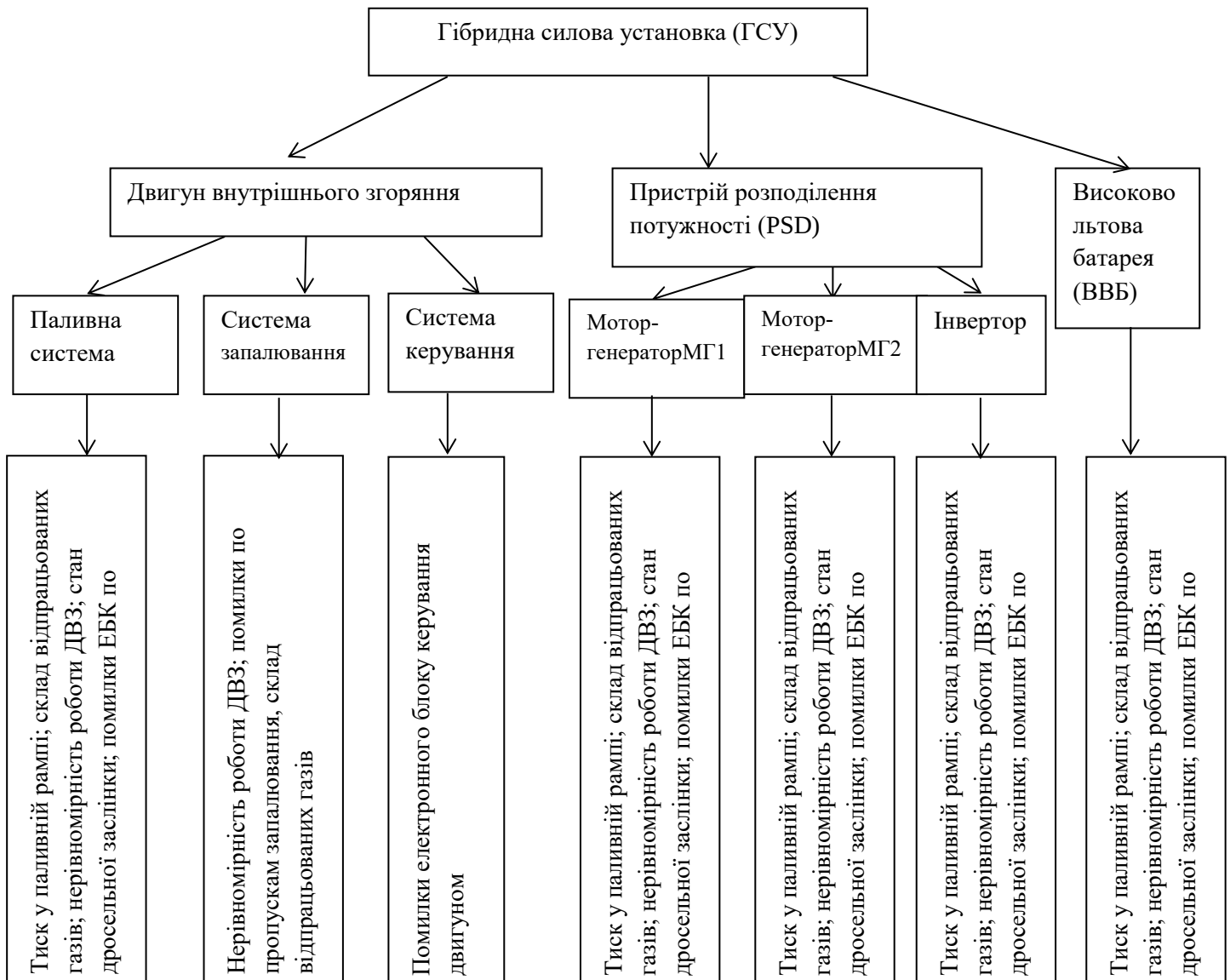


Рисунок 6 – Структура відмов по вузлах

6 Розробка методів визначення параметрів оцінки технічного стану ГСУ на автомобілі

Спосіб для поглибленої оцінки технічного стану.

При проведенні поглибленої оцінки технічного стану можливо дізнатися всю інформацію як про потужності в окремому ланцюгу, так і про сумарну потужність, що розвиває ГСУ. Для цих цілей в силову частину електроприводу встановлюються 3 датчика струму і 2 датчика напруги.

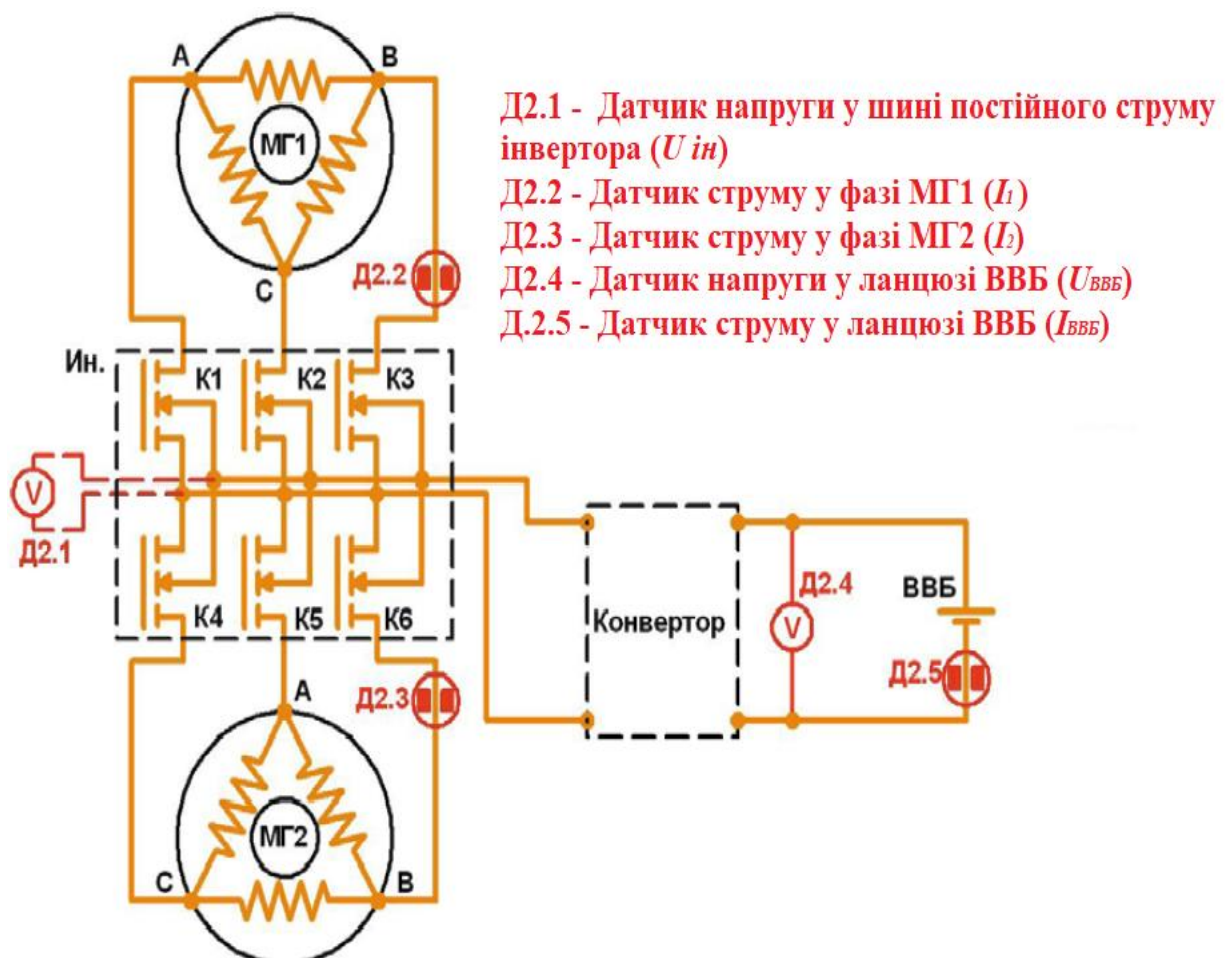


Рисунок 7 – Схема підключення діагностичних датчиків для поглибленої оцінки

У деяких типах електроприводів можлива установка датчиків струму в ланцюзі постійного струму інверторів управління МГ. У ГСУ автомобіля моделі

Toyota Prius для вимірювання доступні фазні струми, це необхідно враховувати при розрахунку потужності. Якщо в інверторі напруга постійного струму конвертується в більш високе, як на автомобілях Lexus, Toyota Prius NHW20, ZVW30, необхідно використовувати обидва датчика напруги, тоді значення U_1 буде в межах 500...650 В, значення U_2 буде в межах 160...240 В, в інших випадках можлива установка одного датчика напруги, так як $U_1 = U_2$.

Для отримання розрахункового значення параметрів електричної потужності з первинного оцифрованого сигналу використовуються наступні залежності:

1. Електрична потужність в ланцюзі МГ1: $P_1 = 3 \cdot I_1^\Phi \cdot U_{In} \cdot \cos \varphi_1$, кВт.

2. Електрична потужність в ланцюзі МГ2: $P_2 = 3 \cdot I_2^\Phi \cdot U_{In} \cdot \cos \varphi_2$, кВт.

3. Електрична потужність в ланцюзі ВВБ: $P_3 = I_3 \cdot U_{ВВБ}$, кВт.

Для синхронних електродвигунів з ротором на постійних магнітах, використовуваних в автомобілях з ГСУ $\cos \varphi \approx 1$ для моделі Prius NHW20, значення параметра P_1 буде перебувати в межах (-33...33 кВт), P_2 – в межах (-5...50 кВт), P_3 – в межах (-21...5 кВт).

Так як 1 Вт електричної потужності еквівалентний 1 Вт механічної потужності [8], можливо порівняння розрахункових і експериментальних значень отриманих параметрів.

У блоки порівняння надходять опорні значення параметрів $N_1 - N_4$, інформація про розрахункові значення параметрів $P_1 = P_3$, де відбувається допусковий контроль за рівнянням

$$N_1 = P_1 \pm \Delta;$$

$$N_2 = P_2 \pm \Delta;$$

$$N_3 = P_3 \pm \Delta \text{ (при прискоренні);}$$

$$N_4 = P_4 \pm \Delta \text{ (при гальмуванні),}$$

де Δ – допустима розбіжність в сигналах.

Спрощений спосіб оцінки технічного стану

На практиці поглиблена оцінка технічного стану не завжди виправдана тому що не відповідає критеріям, таким як: мінімальний час оцінки, мінімальна трудомісткість; мінімальна кількість оціночних параметрів. Даний спосіб доцільно застосовувати лише при наявній необхідності уточнення несправності. Для того, щоб оцінити працездатність двигуна і електричної частини, досить знати внесок кожного з ключових елементів (ДВЗ і ВВБ). Наприклад, якщо відомий характер зміни потужності ГСУ ($N_{ГСУ}$) при розгоні і потрібно дізнатися, яку частину енергії вклав ДВЗ при прискоренні, то вимірявши характеристику внеску енергії ВВБ, можливо дізнатися значення потужності ДВЗ. При цьому, якщо в процесі діагностування встановлено, що ВВБ віддала енергії більше нормативу, то можна зробити висновок, про те, що ДВЗ не віддав її в необхідній кількості, значить він несправний. Якщо ВВБ було віддано енергії менше нормативу, то, найбільш імовірно, що несправність в ній самій.



Рисунок 8 – Схема підключення діагностичних датчиків для спрощеної оцінки

Для використання даного способу досить мати інформацію тільки від датчика струму і напруги в ланцюзі ВВБ, що економить час діагностування, знижує трудомісткість діагностування.

Датчик Д2.4. показує динаміку зміни напруги в колі ВВБ – U ; датчик Д2.5. показує динаміку зміни сили струму в ланцюзі ВВБ – I .

Електрична потужність в ланцюзі ВВБ

$$P = U \times I, \text{ кВт}$$

Потужність двигуна і ВВБ буде обчислюватися так:

- енергія віддана ДВЗ: $N_{\text{ДВЗ}} = N_{\Sigma}$;
- енергія віддана ВВБ: $N_{\text{ВВБ}} = N_2$.

Опорним значенням для блоку порівняння буде характеристика зміни потужності в ланцюзі ВВБ в динаміці при розгоні :

$$N_{\text{ВВБ}} = N_2 \pm \Delta;$$

де Δ – допустима розбіжність еу сигналах.

Таким чином, знайдена залежність дозволяє теоретичним шляхом знаходити і оцінювати закономірності зміни потужності ГСУ зі змішаною схемою з'єднання елементів. Результати обчислень будуть порівнюватися з експериментальними значеннями, завдяки чому будуть зроблені висновки про технічний стан ГСУ автомобіля.

Висновки

В процесі експлуатації погіршення ефективних показників елементів ГСУ може бути викликано нормальним зносом детальний, відсутністю необхідного техніческою обслуговування, іншими взаємопов'язаними причинами. У той же час несправності можуть бути не явними, тобто виникаючими тільки в певних умовах, які не завжди визначаються або не визначаються статичними вимірами. У зв'язку з цим в даній роботі пропонуються методики, устаткування і рекомендації, що дозволяють спростити процес діагностування, та оцінити технічний стан гібридного двигуна автомобіля.

Впровадження методики оцінки технічного стану ГСУ автомобіля дозволяє зменшити витрати часу на діагностування; зменшити витрати пов'язані з транспортуванням до місця проведення діагностичних робіт; підвищити точність постановки діагнозу; збільшити термін служби автомобіля; скоротити витрату палива; підтримувати динамічні якості автомобіля на високому рівні. Однак впровадження процесів діагностування вимагає певних капіталовкладень на придбання і установку діагностичного обладнання, витрат на його амортизацію і поточні експлуатаційні витрати, заробітну плату, навчання інженерів-діагностів необхідних знань.

Література

1. Urban electric vehicles: A contemporary business case, March 2012 European Transport Research Review 4(1) DOI: 10.1007/s12544-011-0061-6
2. Статистика продаж гибридных автомобилей [Электронный ресурс] // Отчет по продаже новых гибридных автомобилей.— <http://www.hybridcars.com/news/december-2011-dashboard-sales-still-climbing-35093.html>. Last accessed 2013–02–17.
3. Собрание энциклопедий и словарей [Электронный ресурс] // Накопленная статистика продаж гибридных автомобилей с 1999 по 2010 годы. — <http://en.academic.ru/dic.nsf/enwiki/4271125>. Last accessed 2013–02–19
4. Раков В. А. Оценка технического состояния гибридных силовых установок автомобилей // Автотранспортное предприятие. - 2012. - № 1.
5. Toyota Prius: модели 2003-2009г.в.: устройство, техническое обслуживание и ремонт. - М.: Легион-Автодата, 2009. - 568 с.
6. Александров, И.К. Адаптивные трансмиссии - путь к созданию экономичных машинных агрегатов и транспортных средств / И.К. Александров, Е.В. Нсеговоров, В.А. Раков // Техника в сельском хозяйстве. - 2011. - №1. - С. 25-27.
7. Андреева, Е. Актуальность развития систем диагностирования комбинированных энергоустановок тягово-транспортных средств [Электромобили] / Е. Андреева // Инженерно-техническое обеспечение АПК. - 2007. - №4. - С. 144-145.
8. Автомобильный справочник: пер. с англ. / Фирма BOSCH. - М.: За рулем, 2004. - 992 с.

АННОТАЦІЯ

Актуальність

В останні кілька років число гібридних автомобілів у всьому світі і в Україні істотно зросла. Тенденція до збільшення виробництва гібридних автомобілів обумовлена принциповим підвищенням вимог міжнародних стандартів до екологічної безпеки та економічності транспортних засобів. У найближчі роки в очікується істотне збільшення числа марок гібридних автомобілів, пропонувані споживачеві європейськими, китайськими, корейськими автовиробниками. Звідси виникає потреба в корекції методології технічної експлуатації зі тимчасових транспортних засобів.

Мета і завдання

Метою роботи є розробка методики, що підвищує якість діагностування і технічного обслуговування ГСУ автомобілів.

Для досягнення мети треба вирішити наступні завдання:

- обґрунтувати вибор діагностичних параметрів для оцінки технічного стану ГСУ;
- розробити методики (алгоритми) оцінки технічного стану ГСУ автомобілів;

Методики досліджень

оцінка технічного стану ГСУ для обчислення еталонних значень діагностичних параметрів з використанням моделювання процесів функціонування ГСУ

Загальна характеристика роботи

Отримано можливість практичного використання розробленої методики на станціях технічного обслуговування для підвищення рівня достовірності при поста-новки діагнозу, а також якості технічного обслуговування ГСУ автомобілів.