

ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ ГІБРИДНИХ СИЛОВИХ УСТАНОВОК

О.П. Смирнов, доцент, к.т.н., ХНАДУ, А.О. Борисенко, асистент, ХНАДУ

***Анотація.** Наведені шляхи підвищення конструктивної надійності гібридних силових установок транспортних засобів за рахунок паралельного підключення ДВЗ та електропривода, які працюють автономно. Доведено, що імовірність безвідмовної роботи запропонованої силової установки гібридного транспортного засобу підвищується в порівнянні з аналогічним автомобілем з двигуном внутрішнього згорання.*

***Ключові слова:** надійність, імовірність безвідмовної роботи, гібридний транспортний засіб, гібридна силова установка, електропривод.*

ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ ГИБРИДНЫХ СИЛОВЫХ УСТАНОВОК

О.П. Смирнов, доцент, к.т.н., ХНАДУ, А.О. Борисенко, ассистент, ХНАДУ

***Аннотация.** Приведенные пути повышения конструктивной надежности гибридных силовых установок транспортных средств за счет параллельного подключения ДВС и электропривода, которые работают автономно. Доказано, что вероятность безотказной работы предложенной силовой установки гибридного транспортного средства повышается по сравнению с аналогичным автомобилем с двигателем внутреннего сгорания.*

***Ключевые слова:** надежность, вероятность безотказной работы, гибридный транспортное средство, гибридная силовая установка, электропривод.*

IMPROVING THE RELIABILITY OF HYBRID POWER PLANTS

O. Smirnov, assistant professor, Ph.D., HNADU, A. Borisenko, assistant HNADU

***Abstract.** These ways of increasing structural reliability of hybrid power plant vehicles due to the parallel connection of the internal combustion engine and electric drive, which operate autonomously. It is proved that the probability of failure-free operation of the power plant of the hybrid vehicle is increased compared with the same car with a combustion engine.*

***Keywords:** reliability, probability of failure-free operation, a hybrid vehicle, the hybrid power plant, power.*

Вступ

Основними завданням при проектуванні транспортних засобів, у тому числі гібридних, є підвищення ефективності і якості, економічності і екологічності. Ефективність транспортних засобів – це властивість транспортних засобів виконувати задані функції з необхідною якістю. Причому на ефективність функціонування транспортних засобів поряд з надійністю впливають і інші характеристики,

такі як керованість, ергономічність, інформативність, тощо.

Надійність є одним з найбільш важливих властивостей транспортного засобу, від якої залежить ефективність його використання за призначенням. Під надійністю розуміють властивість транспортного засобу виконувати транспортну роботу, при збереженні у часі або по пробігу експлуатаційних показників в установлених межах у відповідних режимах

та умовах використання, технічного обслуговування, ремонтів, зберігання і транспортування.

Надійність транспортного засобу закладається при його проектуванні і доведенні дослідного зразка, забезпечується в процесі виробництва і як одне з важливих експлуатаційних властивостей проявляється і підтримується у процесі експлуатації. Тому розрізняють конструктивну, виробничу і експлуатаційну надійність транспортного засобу.

Надійність транспортного засобу, як будь-якої технічної системи, включає низку більш простих властивостей (імовірність безвідмовної роботи, інтенсивність відмов, середнє напрацювання на відмову, тощо).

Аналіз досліджень та публікацій

Аналіз останніх досліджень і публікацій свідчить, що проблема підвищення надійності транспортних засобів є актуальною. Проблемою забезпечення працездатності транспортних засобів, на основі дослідження їх надійності, присвячені роботи Аніловича В.Я., Бажинова О.В., Варфоломієва В.М., Волкова В.П., Говорущенка М.Я., Кравченка О.П., Лебедева А.Т., Мігала В.Д., Полянського О.С., Подригало М.А. та багатьох інших вчених [1-6].

В теперішній час практично всі провідні автомобільні корпорації взяли курс на підвищення паливної економічності та екологічної чистоти своїх транспортних засобів за рахунок впровадження електричного приводу в силові установки. До таких автомобілів відносяться гібридні транспортні засоби [7,8].

Згідно Правил ЄЕК ООН № 83-05:2005, IDT «Єдині технічні приписи щодо офіційного затвердження колісних транспортних засобів стосовно викидів забруднювальних речовин залежно від палива, необхідного для двигунів» “загальне визначення гібридних транспортних засобів:

- “під гібридним транспортним засобом (ГТЗ)” мається на увазі транспортний засіб, що має не менше двох різних перетворювачів енергії і двох різних (бортових) систем акумулювання енергії для цілей приведення до руху транспортного засобу;
- “під гібридним електромобілем (ГЕМ)” мається на увазі транспортний засіб, який для

цілей приведення цього транспортного засобу до руху механічним способом використовує енергію з наступних двох бортових джерел акумульованої електричної енергії / потужності: споживане паливо та пристрій для акумулювання електричної енергії / потужності (наприклад, батарея, конденсатор, маховик / генератор і т.д.)» [9].

У розробників гібридних транспортних засобів немає єдиної концепції щодо побудови гібридних силових установок. Кожен з виробників розробляє свій варіант гібридної технології.

Міжнародна промислова компанія Honda Motor Company розробляє автомобілі Honda Insight, Honda Civic Hybrid, Honda CR-Z і ін. за паралельною гібридною технологією, в якій електричний двигун лише асистує ДВЗ в його неефективних режимах роботи [10].

Автомобільна корпорація General Motors впроваджує послідовну гібридну схему в автомобілях Chevrolet Volt, в якій система ДВЗ-генераторна установка є джерелом електричної енергії для тягового електроприводу, тому його класифікують як гібридний електромобіль [11].

Найбільш комерційно успішною вважається послідовно-паралельна гібридна технологія Hybrid Synergy Drive, по якій розроблені декілька модифікацій автомобіля Toyota Prius, Lexus RX400h та ін. [12].

Мета та постановка задачі

Метою дослідження – є підвищення конструктивної надійності гібридних транспортних засобів за рахунок паралельного підключення ДВЗ та електропривода, які працюють окремо і незалежно один від одного.

Об'єкт дослідження – процес підвищення надійності гібридних транспортних засобів при проектуванні гібридних силових установок з тяговим електроприводом.

Слід відмітити, що за рахунок ускладнення структури відомих гібридних силових установок, конструктивна надійність гібридних транспортних засобів, що проаналізовані, знижується в порівнянні з аналогічними автомобілями з ДВЗ. Тому важливо управляти надійністю саме на етапі проектування гіб-

ридної силової установки та впроваджувати структурне резервування.

Створення конструктивних рішень щодо побудови гібридної силової установки

На етапі проектування технічних систем одним з методів підвищення надійності є резервування. Резервуванням називають метод підвищення надійності об'єкта шляхом введення надмірності. Основне завдання введення надмірності – це забезпечення нормального функціонування системи після виникнення відмов в її елементах. Резервування може бути структурним, інформаційним, тимчасовим, програмним. Інформаційне резервування передбачає використання надлишкової інформації. Тимчасове резервування – використання надлишкового часу. Програмне резервування – надлишкових програм.

Структурне резервування полягає в тому, що в мінімально необхідний варіант системи, елементи якої називаються основними, вводяться додаткові елементи і пристрої. При цьому надлишкові резервні структурні елементи беруть на себе виконання робочих функцій при відмові основних елементів.

В нашому випадку при проектуванні гібридних силових установок підвищення надійності силової установки можна здійснити за рахунок впровадження структурного резервування шляхом паралельного підключення ДВЗ та електропривода, які працюють окремо і незалежно один від одного. Саме така концепція побудови гібридної силової установки реалізована на кафедрі автомобільної електроніки ХНАДУ на прикладі модернізації ЗАЗ Ланос Пікап у гібридний варіант. При цьому сам транспортний засіб та його існуюча силова установка залишається практично без змін, лише доповнюється тяговим електричним двигуном (ЕД), перетворювачем напруги, тощо (рис. 1) [13, 14];

У експериментальному гібридному транспортному засобі привод тягового електричного двигуна відбувається на вторинний вал коробки передач через поліклиновий ремінь (рис. 2). Але при серійному виробництві гібридних транспортних засобів доцільно застосовувати ланцюгову або зубчасту передачу.

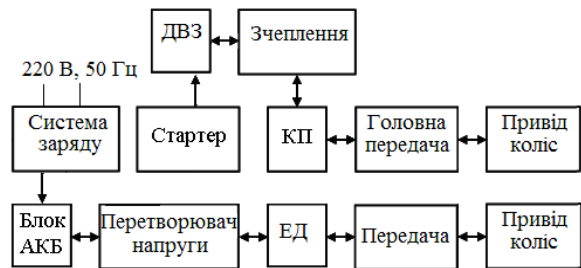


Рис. 1. Приклад схеми структурної гібридної силової установки

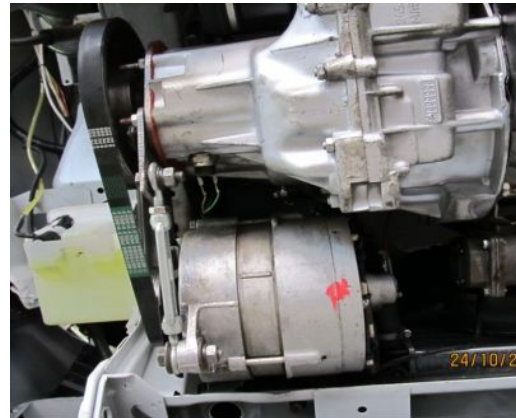


Рис. 2. Привод тягового електродвигуна

Для живлення електропривода застосовуються 20 літій-залізо-фосфатних акумуляторів типу LFP090АНА 3.2V/90Ah. Блок акумуляторів та електронна система балансування розміщені в салоні автомобіля за сидінням водія і пасажирів (рис. 3).

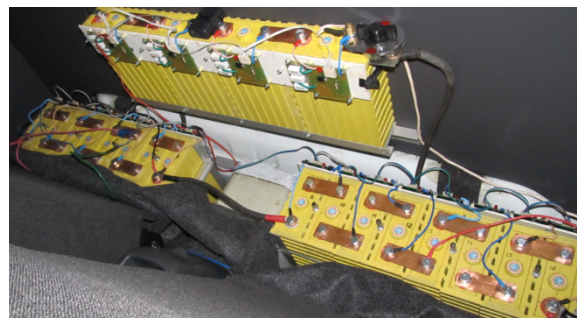


Рис. 3. Розміщення блоку батарей

Система управління гібридною силовою установкою має наступні основні режими роботи: «тільки електрика», «гібридний», «рекуперативне гальмування», «тільки паливо», «заряд батарей».

Система управління силовою установкою забезпечує закон управління:

- старт з місця, початок руху і розгін до швидкості 11,11 м/с (40 км/год.) здійснюються у

режимі «тільки електрика»;

- при подальшому наборі швидкості або при недостатньому запасі електричної енергії в тяговій акумуляторній батареї рух здійснюється у режимі «тільки паливо»;

- у режимі «рекуперативне гальмування» система управління забезпечує рекуперацію кінетичної і потенційної енергії транспортного засобу;

- у процесі стоянки заряд тягових акумуляторних батарей відбувається від зовнішньої електричної мережі 220 В, 50 Гц.

Згідно наведеної структурної схеми (див. рис. 1), тяговий електричний двигун, з точки зору надійності системи приводу, можна розглядати як елемент паралельного структурного резервування основного двигуна – ДВЗ. При цьому тяговий електричний двигун виконує також основну функцію приводу транспортного засобу в режимі «тільки електрика».

При відмові любого елемента у системі живлення ДВЗ, транспортний засіб може продовжувати рух на електропроводі (як електромобіль) за рахунок енергії, що накопичена у тягових акумуляторних батареях. Та навпаки при відмові елементів живлення електричного двигуна або вичерпанні електричної енергії тягової акумуляторної батареї, транспортний засіб буде продовжувати рух за допомогою ДВЗ у режимі «тільки паливо» (як базовий транспортний засіб).

Таким чином у гібридній силовій установці модернізованого ЗАЗ Ланос Пікап виконується паралельне структурне резервування тягових двигунів: двигуна внутрішнього згоряння та електричного двигуна. За рахунок цього підвищується конструктивна надійність гібридного транспортного засобу.

Розрахунок надійності гібридної силовій установки

С точки зору теорії надійності при послідовному з'єднанні елементів напрацювання до відмови дорівнює наробіток до відмови того елемента, у якого вона виявилася мінімальною

$$T \cong \min(T_j), j = 1, 2, \dots, n, \quad (1)$$

де n – кількість послідовно з'єднаних елементів.

Функція надійності системи при послідовному з'єднанні елементів системи визначається загальною імовірністю безвідмовної роботи, яка дорівнює добутку ймовірностей безвідмовної роботи її складових частин

$$p(t) = \prod_{j=1}^n p_j(t), \quad (2)$$

де $p_j(t)$ – функція надійності j -го елемента.

У зв'язку з тим, що імовірність безвідмовної роботи любого елемента менше одиниці, то загальна імовірність безвідмовної роботи зменшується із збільшенням кількості елементів у системі.

Інтенсивність відмов аналітично записується, як

$$\lambda(T) = \lim_{t \rightarrow 0} \left[\frac{p(T) - p(T+t)}{t \cdot p(T)} \right] = - \frac{dp(T)}{dt} / p(T) \quad (3)$$

Інтенсивність відмов і ймовірність безвідмовної роботи є характеристиками безвідмовності

$$p(t) = \exp \left\{ - \int_0^t \lambda(T) d(T) \right\}. \quad (4)$$

Середній наробіток на відмову для експоненціального розподілу безвідмовної роботи (при $\lambda = \text{const}$)

$$T_{cp} = \int_0^t p(t) dt = \frac{1}{\lambda}. \quad (5)$$

Ймовірність безвідмовної роботи гібридної силовій установки, в якій тяговий електричний двигун підключений паралельно ДВЗ, дорівнює

$$p(t) = 1 - [1 - p_{ДВЗ}(t)] \cdot [1 - p_{ЕД}(t)]. \quad (6)$$

Тобто імовірність безвідмовної роботи гібридної силовій установки підвищується.

Висновки

Доведено, що для підвищення конструктивної надійності гібридних силових установок транспортних засобів потрібно паралельне підключення двох автономних джерел механічної енергії: ДВЗ та електричного двигуна. Принцип паралельного структурного резервування тягових двигунів (двигуна внутрішнього згоряння та електричного двигуна) реалізований у гібридній силовій установці модернізованого ЗАЗ Ланос Пікап. За рахунок цього підвищується надійність гібридного транспортного засобу.

Розглянути основні показники надійності: наробіток на відмову, імовірність безвідмовної роботи, інтенсивність відмов, тощо. Доведено, що імовірність безвідмовної роботи запропонованого гібридного транспортного засобу підвищується в порівнянні з аналогічним автомобілем з двигуном внутрішнього згоряння.

Література

1. Говорущенко Н.Я. Техническая кибернетика транспорта. / Говорущенко Н.Я., Варфоломеев В.Н. – Х.: ХГАДТУ, 2001. – 271 с.
2. Бажинов О.В., Кравченко О.П. Надійність автомобільних поїздів. – Луганськ: вид-во «Ноулідж», 2009. – 412 с.
3. Волков В.П. Методы технического контроля надежности колесных машин / В.П. Волков, О.Я. Никонов, Ю.В. Волков // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. – 2014. – № 151 – С. 124-128.
4. Погорельий Л.В. Формирование моделей обеспечения надёжности машинно-тракторного парка по технико-экономическим критериям (на примере тракторов Т-150К) / Л.В. Погорельий, В.Я. Анилович, А.С. Полянский // Техника АПК. – 2001. – № 5–6. – С. 13–17.
5. Мигаль В.Д., Мищенко В.М., Волков В.П., Гаврилов С.А., Мищенко В.О. Вибрация и надежность транспортных машин. / Под редакцией В.Д. Мигалья. – Харьков: Изд-во ХНАДУ, 2007. – 383 с.
6. Никитин В.И. Надежность систем электро-снабжения автомобилей / В.И. Никитин, В.И. Калмыков, О.П. Смирнов // Вестник ХГАДТУ. – 2000. – № 12, 13. – С. 214–217.
7. Бажинов О.В. Гібридні автомобілі: моногр. / О.В. Бажинов, О.П. Смирнов, С.А. Серіков та ін. – Х.: ХНАДУ, 2008. – 327 с.
8. Бажинов О.В. Синергетичний автомобіль. Теорія і практика: моногр. / О.В. Бажинов, О.П. Смирнов, С.А. Серіков, В.Я. Двадненко; – Х.: ХНАДУ, 2011. – 236 с.
9. ДСТУ UN / ECE R 83-05: 2009. Єдині технічні приписи щодо офіційного затвердження колісних транспортних засобів стосовно викидів забруднювальних речовин залежних від палива, необхідного для двигунів (Правила ЄЕК ООН № 83-05:2005, IDT)
10. Prius-Plug-In-Hybrid [електронний ресурс] / Електронні дані. - Режим доступу: <http://www.toyota.com/prius-plug-in-hybrid/>, вільний. - Назва з екрану.
11. Volt Models & Specs [електронний ресурс] / Електронні дані. – Режим доступу: <http://www.chevrolet.com/volt-electric-car/specs/trim.html>, вільний. – Назва з екрану.
12. CR-Z [електронний ресурс] / Електронні дані. - Режим доступу: <http://automobiles.honda.com/CR-Z/specifications.aspx>, вільний. - Назва з екрану.
13. Смирнов О.П. Концептуальні рішення створення екологічно чистих автотранспортних засобів з електроприводом / О.П. Смирнов // Вестник ХНАДУ. – 2011. – № 55. – С. 52–57.
14. Смирнов О.П. Схемні рішення створення гібридної силової установки на легковому автомобілі / О.П. Смирнов, В.Я. Двадненко, А.В. Колесніков // Наукові нотатки. – 2010. – № 28. – С. 498-502.

Рецензент: О.В. Бажинов, професор, д.т.н., ХНАДУ.

Стаття надійшла в редакцію 06 червня 2016 р.