

УДК: 629.1.02

ДОВГОВІЧНІСТЬ ДВЗ ЗАВДЯКИ ГІБРИДИЗАЦІЇ**А.І. Папінко**, ст. викл., канд. екон наук**М.В. Буряк**, доц., канд. техн. наук

Західноукраїнський національний університет, м. Тернопіль

Сучасні автомобілі перебувають на ключовому етапі трансформації, зумовленому запровадженням екологічних норм зокрема, майбутніми стандартами Еуро-7, та необхідністю підвищення енергоефективності транспорту. У цьому плані гібридні силові установки набувають важливого значення, вони виступають в ролі компромісу, поєднуючи переваги електротранспорту зі звичним двигуном внутрішнього згорання.

З інженерної точки зору, гібридна система значно складніша, оскільки включає в себе високовольтні компоненти, що могло б призводити до загального зниження надійності, проте, дослідження свідчать про те, що класичні гібриди часто демонструють вищий показник безвідмовної роботи порівняно з їхніми чисто бензиновими аналогами. Саме завдяки механізмам оптимізації роботи ДВЗ гібридні автомобілі стають більш надійшими. Гібридизація перетворює ДВЗ із самостійного тягового агрегату на високоточний пристрій для генерації енергії, який працює під точним контролем електронної системи керування, тим самим захищаючи його від пікових навантажень та режимів експлуатації в яких він може зношуватись швидше. Завдяки цьому електродвигун бере на себе всі пікові навантаження та функцію рушання з місця, дозволяючи ДВЗ працювати виключно у вузькій зоні максимального коефіцієнта корисної дії. Цей оптимальний діапазон обертів та навантажень є найбільш стабільним та найменш шкідливим для ресурсу ДВЗ, оскільки він виключає роботу на низьких обертах під високим навантаженням, що в свою чергу спричиняє вібрації та ударні навантаження, та роботу на надто високих обертах. Саме це кардинально відрізняє гібридний агрегат від традиційного ДВЗ, робота якого неминуче включає тривалий час роботи на холостому ходу та часті перевантаження.

Зниження внутрішнього зносу також досягається завдяки конструктивній адаптації ДВЗ до гібридної схеми, зокрема, через використання циклу Аткинсона або Міллера. Хоча ці цикли впроваджені для підвищення теплової ефективності, вони мають прямий позитивний вплив на довговічність. Нижчий ефективний ступінь стиснення, який використовується в цих циклах, призводить до зниження максимального тиску та робочої температури в циліндрах. Використання цих циклів суттєво зменшує термічний знос головки блоку циліндрів, поршневої групи та підвищує стабільність мастильних властивостей моторної оливи в умовах меншого теплового стресу.

Технічно зміщення робочих режимів ілюструється значним перерозподілом часу роботи ДВЗ у різних режимах порівняно з негібридним аналогом. Наприклад, для міського циклу руху можна спостерігати таке зміщення:

Таблиця 1 - Порівняння режимів роботи ДВЗ у міському циклі.

Режим роботи	Звичайний ДВЗ	Гібридний ДВЗ	Вплив на знос
Холостий хід та низькі оберти	до 30% часу	0–5% часу	Усунення режимів з підвищеним зносом
Робота в зоні максимальної теплової ефективності	20–35% часу	70–95% часу	Максимальне використання оптимальних режимів
Пікові та високі навантаження	5–10% часу	0%	Захист від ударних навантажень

Мінімізація механічного зносу досягається шляхом усунення двох критичних факторів. Перший це виключення роботи на холостому ходу та забезпечення м'якого старту. Холостий хід, що характеризується недостатнім тиском мастила, повністю усувається, оскільки всі допоміжні системи живляться від батареї, коли ДВЗ не працює. Запуск двигуна здійснюється потужним високовольтним мотор-генератором, який забезпечує плавний і швидкий запуск агрегату, повністю усуваючи ударні навантаження, які властиві для класичного стартера. Другий важливий механізм — інтелектуальний термічний менеджмент, який мінімізує кількість холодних пусків, які є найбільш важкою фазою експлуатації. Ця система використовує електричні насоси мастила та охолоджуючої рідини, які можуть забезпечити примусову циркуляцію та попередній підігрів агрегату перед його наступним запуском, гарантуючи, що всі деталі які піддаються тертю будуть покриті оливною плівкою з перших секунд роботи.

Підвищення довговічності ДВЗ у гібридних автомобілях не обмежується лише оптимізацією його внутрішніх робочих режимів, воно має значний опосередкований вплив на загальну надійність усієї силової установки. Ключовим тут є спрощення трансмісії. Багато гібридних автомобілів, особливо ті, що використовують архітектуру Toyota, застосовують планетарні редуктори, які ефективно замінюють складні класичні автоматичні коробки передач. Ці редуктори, відомі як e-CVT або Power Split Devices, не містять фрикційних пакетів, гідротрансформаторів чи великої кількості механічних шестерень. Зменшення кількості рухомих та термічно навантажених компонентів значно підвищує загальну надійність трансмісії. Системна надійність, що працює в парі з інтелектуальною EMS, знижує загальні вібраційні та ударні навантаження на ДВЗ, запобігаючи вторинним пошкодженням, які часто виникають у традиційних автомобілях через несправності трансмісії. Додатковою перевагою є використання рекуперативного гальмування, що зменшує термічне навантаження на гальмівну систему, підвищуючи загальний ресурс і безпеку транспортного засобу.

Водночас, необхідно зазначити, що ускладнення системи створює і нові ризики. Головним з них є деградація акумуляторної батареї, яка з часом неминуче втрачає свою ємність. Коли ємність батареї падає, система управління енергією змушена частіше вмикати ДВЗ і утримувати його увімкненим довше, ніж це необхідно, щоб підтримувати рівень заряду. Крім того, надійність гібридної системи в цілому залежить від бездоганної роботи високовольтної електроніки, а її діагностика та обслуговування вимагають вищої кваліфікації персоналу станцій технічного обслуговування.

Незважаючи на підвищену складність гібридної системи, вона залишається надзвичайно ефективною в плані експлуатаційного ресурсу ДВЗ. Система керування енергією захищає двигун від термічних та механічних стресів завдяки роботі виключно у зоні максимального ККД, використанню циклу Аткинсона для зниження робочих температур, усуненню холостого ходу та забезпеченню м'якого старту електромотором. Тому ресурс ДВЗ у гібридних автомобілях значною мірою зростає не за рахунок удосконалення матеріалів, а за рахунок інтелектуального обмеження робочих режимів, що виключає найбільш критичні фази експлуатації.

Список використаних джерел

1. Schutting, Eberhard & Neureiter, Andreas & Fuchs, Christian & Schatzberger, Thorolf & Klell, Manfred & Eichlseder, Helmut & Kammerdiener, Thomas. (2007). Miller- and Atkinson-Cycle on a turbocharged diesel engine. *MTZ worldwide*. 68. 10.1007/BF03226837.
2. Jiang, Jiajia & Zheng, Lipeng & Tang, Haifeng & Chen, Xiaofeng. (2020). Study and Analysis of a Multi-Mode Power Split Hybrid Transmission. *World Electric Vehicle Journal*. 11. 46. 10.3390/wevj11020046.
3. Osipowicz, Tomasz & Gołbiewski, Wawrzyniec & Lewicki, Wojciech & Koniuszy, Adam & Abramek, Karol & Prajowski, Konrad & Klyus, Oleh & Gałdyński, Dominik. (2024). Analysis of Energy Efficiency Parameters of a Hybrid Vehicle Powered by Fuel with a Liquid Catalyst. *Energies*. 17. 5138. 10.3390/en17205138.
4. Zhu, Di & Pritchard, Ewan & Dadam, Sumanth & Kumar, Vivek & Xu, Yang. (2021). Optimization of rule-based energy management strategies for hybrid vehicles using dynamic programming. *Combustion Engines*. 184. 10.19206/CE-131967.