

КОНСТРУКТИВНІ ОСОБЛИВОСТІ ДВЗ ГІБРИДНОГО АВТОМОБІЛЯ

Модін К.Г. ст. гр. А-52-19,
lirikworkout@gmail.com

Науковий консультант: Горбик Ю.В., доцент. к.т.н.

Погіршення екологічної обстановки, обумовлене шкідливою дією автотранспорту, прийняло катастрофічний характер, тому пріоритетним завданням проектування автомобілів є зниження кількості викидів шкідливих речовин і поліпшення паливно-економічних показників автомобіля. Це примушує вчених, конструкторів і інженерів шукати нетрадиційні способи вирішення цієї проблеми.

У Євросоюзі розглядають проект закону до 2050 року ввести заборону на продаж бензину і експлуатацію автомобілів з традиційним бензиновим або дизельним двигуном у великих містах. У найближчі 2 роки очікується значне збільшення пропонованих споживачеві марок автомобілів з гібридними силовими установками ГСУ з боку європейських, китайських, корейських автовиробників, що підвищує актуальність проблеми досліджень. Одночасно підвищуються вимоги до методів, устаткування і технологій забезпечення працездатності автомобілів в процесі експлуатації.

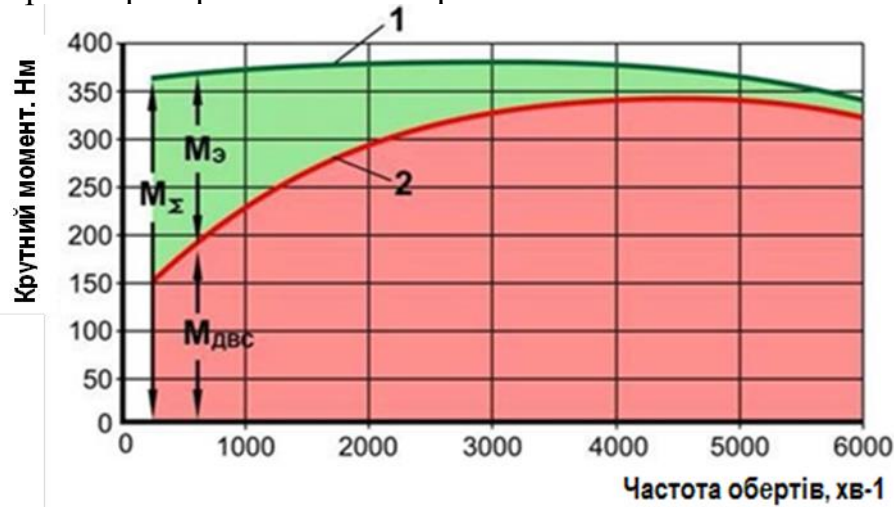
В Україні найбільш поширена експлуатація гібридних автомобілів Toyota, Lexus, Honda, Форд. У свою чергу від технічного стану автомобіля на дорозі безпосередньо залежить безпека учасників дорожнього руху [1].

Двигуни внутрішнього згоряння Toyota Prius

Двигун внутрішнього згоряння (ДВЗ) – єдине джерело механічної та електричної енергії гібридного автомобіля, його конструкція практично не відрізняється від двигуна бензинового автомобіля, за винятком меншого робочого об'єму. Останнім часом також стали з'являтися гібридні автомобілі з дизельними двигунами, однак до частих запусків і зупинок вони пристосовані гірше. Максимальна потужність і крутний момент двигуна підбираються для найбільших навантажень, таких як інтенсивний розгін, рух на підйом з повним навантаженням, рух з максимальною швидкістю. У даних умовах автомобіль працює рідко і нетривалий час.

Робота двигуна на часткових навантаженнях призводить до збільшеного витраті палива і підвищення викидів шкідливих речовин у відпрацьованих газах. Високу економічність ДВЗ може забезпечити тільки у вузькому діапазоні частоти обертання колінчастого валу. У складі гібридної силової установки він працює майже завжди при оптимальній середньому навантаженні, а в разі виходу за межі номінального режиму включається мотор-генератор. Навантажувальні характеристики ДВЗ і мотор-генератора сильно відрізняються. Так ДВЗ має максимальний крутний момент при середній частоті обертання, а мотор-генератор може забезпечити його вже на початку обертання ротора.

Спільна робота ДВЗ і мотор-генератора дозволяє забезпечити високі динамічні властивості гібридного автомобілю при використанні ДВЗ меншої потужності. Характеристика крутного моменту при спільній роботі ДВЗ і мотор-генератора показана на рис. 1.



1 - сумарний від ДВЗ і електродвигуна; 2 - від ДВЗ

Рис. 1 – Крутний момент ГСУ

На автомобілях Toyota Prius з ГСУ змішаного типу застосовуються бензинові двигуни, що працюють по циклу Аткинсона-Міллера з системою регулювання фаз газорозподілу. Це цикл з високим ступенем розширення, тобто такт розширення більше такту стиснення. Даний термодинамічний цикл, запропонований англійським інженером Джеймсом Аткинсоном, дозволяє здійснювати незалежно один від одного такти стиснення і розширення в двигуні. Пізніше дана концепція була реалізована американцем Ральфом Міллером. У розробленій системі, названої циклом Аткинсона-Міллера, моменти відкриття і закриття впускних клапанів регулюються, як в системі Variable Valve Timing with intelligence [2-3].

Оскільки дана система не забезпечувала високої потужності ДВЗ, раніше вона не застосовувалася. Ефективне її використання в складі ГСУ стало можливим завдяки мотор-генераторів, які згладжують пікові навантаження і дозволяють ДВЗ працювати в оптимальному навантажувальному режимі з високим термічним к.к.д.

На звичайних двигунах впускні і випускні клапани відкриваються і закриваються при фіксованих кутах повороту розподільного валу, чим досягається компроміс між плавною роботою при малому навантаженні холостого ходу і роботою з максимальною потужністю при максимальній частоті обертання.

У двигуні гібридної силової установки затримка впуску - це надходження паливо-повітряної суміші в циліндр трохи пізніше по відношенню до початку ходу поршня до НМТ. При низькій частоті обертання двигуна поршень опускається з малою швидкістю і паливо повітряна суміш надходить без помітного відставання. Тому перепад тисків в циліндрі і впускному каналі, коли поршень знаходиться в НМТ, дуже малий. Якщо впускний клапан відкривається поблизу ВМТ, то в циліндр

надійде більше паливо-повітряної суміші.

При високій частоті обертання двигуна поршень опускається швидко, і паливо повітряна суміш також надходить з великою швидкістю, створюється значний опір при впуску паливо-повітряної суміші в циліндр. Тому суміш надходить з впускного каналу в циліндр зі значною затримкою, не встигаючи за рухом поршня. Коли «затримка впуску» стає великою, навіть при зміні поршнем напрямки руху в НМТ і початку його підйому тиск в циліндрі протягом деякого часу залишається нижче тиску у впускному каналі. Таким чином, при високій частоті обертання в циліндр надходить більша кількість суміші, коли впускний клапан відкривається раніше, ніж в ВМТ, і закривається пізніше, ніж в НМТ.

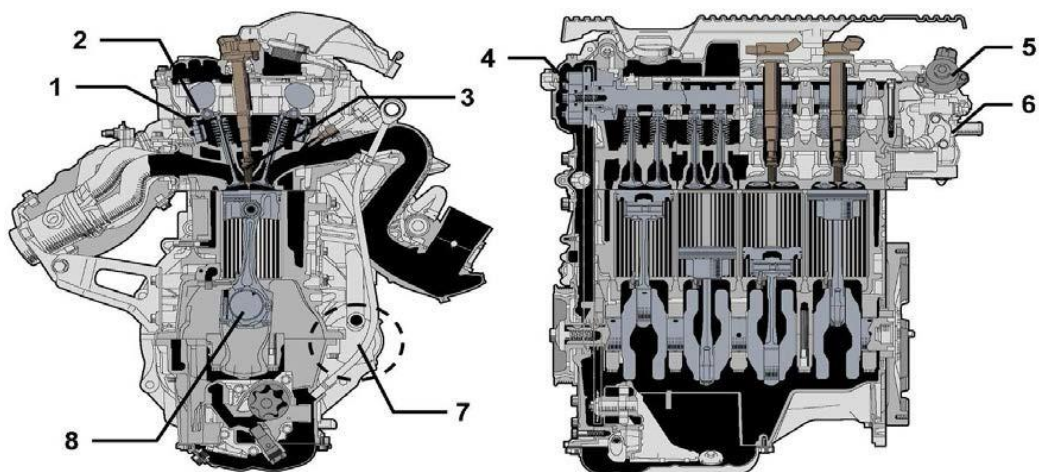
Регулювання моменту закриття впускних клапанів дозволяє зменшити втрати на такті стиснення, тому що дросельна заслінка відкрита більше, ніж зазвичай. Випуск відпрацьованих газів відбувається з запізненням і енергія, отримана при згорянні, ефективніше використовується для збільшення крутного моменту. На моделі Toyota Prius у ДВЗ збільшена ступінь стиснення до 13,0, в порівнянні з 10,5 звичайного бензинового двигуна. При цьому він сертифікований для виконання екологічних норм Євро-5 і може відповідати більш жорстким екологічним нормам.

Двигун 2ZR-FXE (рис. 2) являє собою рядний чотирициліндровий 1,8-літровий 16-клапанний двигун типу DOHC з системами VVT-i, ETCS-i, DIS і охолоджувальної системою рециркуляції відпрацьованих газів (EGR). Основні технічні характеристики двигуна 2ZR-FXE і попереднього його покоління представлені в табл. 1.

Таблиця 1 – Технічні характеристики двигунів 2ZR-FXE, 1NZ-FXE

Модель		ZVW30	NHW20
Двигун		2ZR-FXE	1NZ-FXE
Число і розташування циліндрів		4-рядне розташування	
Система газорозподілу		16-клап., DOHC, цепний привід, с VVT-i	
Робочий об'єм, см ³		1798	1497
Діам. ціл. x хід пор., мм		80,5 x 88,3	75,0 x 84,7
Ступінь стиснення		13,0	
Макс. мощн., кВт (к.с.) при об / хв		73 (98) при 5200	57 (76) при 5000
Макс. крутний момент, Н · м при об / хв		142 при 4000	111 при 4200 115 при 4000
Порядок роботи циліндрів		1 – 3 – 4 – 2	
Марка оливи		API SL, SM або ILSAC	API SJ, SL, EC або ILSAC
Заправочна ємність оливи, л	суха	4,7	4,1
	с масл. фил.	4,2	3,7
	без масл. фільтра	3,9	3,4

Конструкція двигуна гібридного автомобіля багато в чому схожа з конструкцією двигуна інших автомобілів.



1 - гідравлічний компенсатор клапанного зазору; 2 - коромисло з підшипником; 3 - свічка запалювання збільшеної довжини з іридієвим електродом; 4 - система VVT-і для впускних клапанів; 5 - охолоджувач системи EGR; 6 - електромагнітний клапан системи EGR; 7 - електричний рідинний насос; 8 - зміщений колінчастий вал

Рис. 2 – Конструкція двигуна 2ZR-FXE:

Основні відмінні риси двигуна представлені в табл. 2.

Таблиця 2 – Основні особливості двигуна

Система	Особливості
1	2
Загальний опис	• Цикл Аткинсона-Міллера з продовженим розширенням • Головка циліндрів з алюмінієвого сплаву • Колінчастий вал зміщений • Гільзи циліндрів з витонченими стінками • Камера згоряння клиноподібна з завіхрітелем повітря • Спідниця поршня покрита полімерною плівкою • Кільця поршневі з низьким тиском на стінку циліндра
Механізм ГРМ	• Система регулювання фаз ГРМ (VVT-I, Variable Valve Timing- intelligent) • Гідравлічні компенсатори клапанних зазорів • Коромисла на роликівих підшипниках • Привід ГРМ ланцюгової з натяжителем ланцюга
Система змазки	Масляний фільтр із змінним елементом, що фільтрує
Система охолодження	Рідинний насос електричний
Системи впуску та випуску	• Впускний колектор пластмасовий • Дросельна заслінка з електроприводом • Клапан системи EGR з приводом від ел. двигуна постійного струму • Рідинне охолодження - система EGR • Випускний колектор з нержавіючої сталі • Два трикомпонентних каталітичних нейтралізатора - TWCs • Управління системою випуску - 2-ступеневу
Паливна система	• Система живлення без зворотної магістралі палива • Інжектори з 12 розпилюючими отворами • Сполуки швидко топливопроводов

Продовження таблиці 2

1	2
Система запалювання	• Система запалювання DIS (Direct Ignition System) • Свічки запалювання з довжиною різьби - 19 мм, електроди іридієві
Приводний ремінь насоса системи охолодження	• Більше не використовується
Система зниження токсичності ВГ	• Система рециркуляції відпрацьованих газів EGR (Exhaust Gas Recirculation) з абсорбером парів бензину
Система управління двигуном	• Система електричного приводу дросельної заслінки ETCS-i (Electric Throttle Control System-intelligent) • Датчики системи VVT магнітно-резистивного типу MRE (Magnetic Resistance Element) • Датчик детонації плоского типу

Система рекуперації теплоти відпрацьованих газів підігріває охолоджуючу рідину в двигуні і забезпечує високу паливну економічність за рахунок швидкого прогрівання.

Одна з проблем гібридної силової установки автомобіля полягає в тому, що ДВЗ не завжди працює під час руху. Це добре для економії палива, але кількості теплоти при цьому може не вистачати для підтримки робочої температури двигуна і опалення салону, що призводить до негативних наслідків. Після запуску двигун повинен швидко вийти на оптимальний температурний режим, і система рециркуляції тепла відпрацьованих газів дозволяє цього домогтися.

Система рекуперації перенаправляє відпрацьовані гази в випускному трубопроводі шляхом відкриття або закриття клапана, вбудованого в центральну випускную трубу, з використанням регулятора витрати газів. Температура відкриття клапана термостата регулятора: від 71° до 77°С.

На автомобілі, в системі випуску відпрацьованих газів, в основному глушнику встановлений двопозиційний клапан регулювання випускної системи для забезпечення більш тихої роботи двигуна на малих частотах обертання і зниження протитиску на високих частотах обертання.

Паливна система не має зворотної магістралі, це знижує викиди парів палива в атмосферу.

Система EGR рекуперації відпрацьованих газів одночасно коригує склад робочої суміші в камерах згоряння. Робота на бідних сумішах зменшує витрату палива на сталих режимах, але збільшує вміст оксидів азоту NOX. Тому паливо повітряна суміш розбавляють відпрацьованими газами.

Зменшення вмісту кисню в паливо-повітряної суміші знижує

температуру відпрацьованих газів і зміст в них оксидів азоту. Кроковий електродвигун клапана регулювання витрати системи EGR використовується для точного регулювання витрати газів системи EGR на вході. Охолоджувач системи EGR охолоджує відпрацьовані гази і підвищує її ефективність. Вакуумний датчик впускного колектора встановлений на кремнієвій мікросхемі і служить для вимірювання абсолютного тиску. Інформація з датчика служить для коригування блоком управління двигуна складу суміші в циліндрах, а також для управління системою EGR.

При оцінці роботи системи EGR слід користуватися інформацією зі сканера. Кроковий двигун діагностують за параметрами: опір обмоток і вихід голки клапана. Існує кілька умов, при яких система EGR не працюватиме: температура охолоджуючої рідини нижче 70°C, у блоці управління двигуном записаний код несправності - низька напруга бортової мережі.

Система управління двигуном має датчики і актюатори, що дозволяють контролювати: подачу масла до розподільного валу, управління дросельною заслінкою, температуру охолоджуючої рідини, кут випередження запалювання, час уприскування палива і ін. Опис типів датчиків, принципів їх роботи і місце розташування вказані в табл. 3.

ЕБУ отримує сигнали від датчиків і розраховує параметри роботи електричного насоса системи охолодження для установки необхідного витрати охолоджуючої рідини по її температурі, частоті обертання колінчастого валу ДВЗ і швидкості руху автомобіля. Швидкість обертання електродвигуна насоса регулюється за допомогою широтно-імпульсної модуляції.

Таблиця 3 – Опис використовуваних пристроїв

Елемент	Опис
Датчик масової витрати повітря	З терморезистором нитяного типу
Датчик положення колінчастого валу	індуктивного типу
Датчик положення розподіл. валу	Датчик на ефекті холла
Датчик положення дросс. заслінки	Безконтактного типу
Датчик детонації	З вбудованим п'єзоелектричним елементом
Підігріває кисневий датчик	Однодіапазонні на основі діоксиду цирконію
Датчик кисню в ВГ	Широкосмуговий, на основі діоксиду титану
Датчик температури ох. рідини	Терморезистор
Паливний інжектор	Електромагнітні форсунки з 12 розпилюючими отворами
Розташування ЕБУ	У моторному відсіку

Управління насосом системи охолодження. У звичайному автомобілі насос системи охолодження приводиться в дію ремінною або ланцюговою передачею від колінчастого валу двигуна. У гібридному автомобілі для зменшення втрат і ще більшої економії палива використовується електричний привід насоса системи охолодження. У приводі

використовується синхронний трифазний електродвигун змінного струму, керований окремим контролером від сигналу комп'ютера гібридної установки.

В процесі експлуатації погіршення ефективних показників елементів ГСУ може бути викликано нормальним зносом деталей, відсутністю необхідного технічного обслуговування, іншими взаємопов'язаними причинами. У той же час несправності можуть бути не явними, тобто виникаючими тільки в певних умовах, не завжди визначаються статичними вимірами.

Література

1. Раков, В.А. Особенности технического обслуживания гибридных автомобилей на территории РФ / В.А. Раков, И.К. Александров, А.Ю. Сальников // Вузовская наука – региону: материалы девятой всерос. науч.-техн. конф., 25 февр. 2011 г. / ВоГТУ. – Вологда, 2011. – Т. 1. – С. 138-140.
2. Обучающая брошюра для специалистов. Двигатель автомобиля Toyota Prius / ТМК. – Москва, 2010. – 41 с.
3. Обучающая брошюра для специалистов. Двигатель, работающий по циклу Аткинсона-Миллера / ТМК. – Москва, 2010. – 11 с.