

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ЗАБРУДНЕНЬ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ ФОРСУНОК НА ВИТРАТУ ПАЛИВА ЛЕГКОВОГО АВТОМОБІЛЯ

Пилипенко О.С., ст. гр. А-35Т1-17,

aimbot_1998@list.ru

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

В процесі експлуатації технічний стан форсунок, що оцінюється значенням їх робочих показників, неминуче погіршується через забруднення елементів проточної частини, зносу замикаючого елемента і сідла, відхилення характеристик електромагнітної системи, засмічення індивідуальних сітчастих фільтрів та ін. Ці експлуатаційні зміни робочих показників електромагнітної форсунки визначаються якістю і складом застосовуваного палива, умовами експлуатації двигуна, особливостями зміни навантажень при роботі двигуна, культурою технічного обслуговування автомобільної техніки і ін.

Експлуатаційні зміни робочих показників форсунок (статичної та динамічної продуктивності, нерівномірності подачі палива в комплекті форсунок) надають складне і взаємозалежне вплив на економічні та екологічні характеристики двигуна, його пускові якості, на динаміку транспортного засобу.

На сьогоднішній день все нові автомобілі з бензиновим двигуном мають системи розподіленого упорскування. Однак при цьому виникають специфічні проблеми, пов'язані з експлуатацією цих систем, в основному - через невисоку якість бензину (близько 40% виробленого палива не відповідає чинним вітчизняним технічним регламентам) і недостатньо високої культури експлуатації автомобільної техніки. Багато в чому ці проблеми і визначають експлуатаційні зміни робочих показників електромагнітних форсунок.

Електромагнітна форсунка представляє собою швидкодіючий гідравлічний клапан з електромагнітним приводом замикаючого елемента. У системах подачі палива з електронним управлінням форсунки виконують дві функції:

- дозують паливо відповідно до тривалості електричних імпульсів, що формуються електронним блоком управління (контролером) по певному алгоритму в залежності від режимних параметрів роботи двигуна;
- розпилюють (диспергують) паливо до часток необхідних розмірів для досягнення необхідного ступеня гомогенізації паливоповітряної суміші.

Електромагнітна форсунка є останнім і найважливішою ланкою на шляху бензину до циліндра. Циклова доза бензину, що впорскується у 2-літровому двигуні в режимі часткового навантаження становить всього 0,03 ... 0,04 мл. Суворі геометрія конструкції, мініатюрні розміри в сполученні «запірний елемент - сідло розпилювача» і прецизійне виготовлення

забезпечують точність дози і дрібну дисперсність розпилу бензину при номінальній інерційності рухомих частин. Однак це відбувається тільки тоді, коли всі внутрішні деталі інжектора ідеально чисті.

Для оцінки робочих параметрів форсунки використовується її робоча (видаткова) характеристика - залежність величини циклової подачі палива q від тривалості τ керуючого електричного імпульсу: $q = f(\tau)$.

Основний, і до сих пір невирішеною проблемою при експлуатації електромагнітних форсунок в складі систем впорскування бензину, є їх забруднення, що викликається цілим рядом причин.

Механізм утворення забруднень на елементах електромагнітних форсунок вивчений не повністю. Самі забруднення мають складний фізико-хімічний склад, властивості якого визначаються будовою молекул забруднюючих речовин і факторами їх освіти, а також фізичними та хімічними властивостями твердої поверхні. Відомо, що в основі механізму різних забруднень лежить явище адгезії.

Відповідно до загальної класифікації забруднень [1,2] деталей поршневого двигуна, забруднення електромагнітних форсунок можна поділити на три види: нагар, лаки і опади (рис. 1).



а) б) в)
а - лакові відкладення; б - смолисті відкладення; в - нагар

Рис. 1 – Забруднення електромагнітних форсунок

Кожне з них утворюється за власним механізмом. По взаємодії з поверхнею різні види забруднень принципово можна розділити на три основні групи: слабкозв'язаного, помірно пов'язані і міцно пов'язані.

Утворюються відкладення наступним чином. Після зупинки гарячого двигуна з плівки палива, що залишилася на штифтах і внутрішніх поверхнях розпилювачів, що нижче запірного клапана, випаровуються легкі фракції. Важкі ж залишаються на деталях, так як змивати їх в цей час нічим - свіжі порції палива не поступають до розпилювача, і запірні клапани форсунок закриті. До того ж, в цей момент відсутній охолодження паливом. Корпус форсунки додатково нагрівається, отримуючи тепло від гарячої головки блоку циліндрів через впускний колектор, прискорюючи процес випарювання. З решти важких фракцій і утворюються смолисті відкладення. Накопичуючись, вони перешкоджають замочному конусу щільно сісти на сідло, внаслідок чого порушується герметичність форсунки.

Залишковий тиск палива в рампі після зупинки мотора зберігається. Воно потихеньку прошовхує бензин через негерметичний клапан, і процес закоксовивання йде інтенсивніше. Втрата герметичності ускладнює запуск двигуна через відсутність тиску в паливній магістралі і можливості утворення парових пробок.

Порушується і форма факела - значить, частина палива потрапляє не в просвіт впускного каналу, а, наприклад, на стінки впускного колектора. Таким чином, паливо надходить в циліндр не у вигляді однорідної суміші, а у вигляді паливної плівки. Також, погіршується однорідність розпилювання. З форсунок вилітають великі краплі, які не встигають випаруватися, перемішатися з повітрям і, отже, згоріти в циліндрах.

Діагностичні ознаки забруднених інжекторів мають однаковий характер практично на всіх моделях сучасних автомобілів:

- нестійкий холостий хід автомобіля: двигун "троїть";
- утруднений пуск двигуна: двигун запускається з другого-третього разу, важко стабілізуються холості оберти;
- провал при різкому натисканні на педаль акселератора, некомфортне водіння;
- погіршення розгону автомобіля і втрата потужності: автомобіль з акпп затягує нижчі передачі, мляво набирає швидкість, можна почути удари в випускний системі;
- пропуски займання паливної суміші: посмикування при розгоні, присутні коди помилок по втрати іскроутворення (misfire), що супроводжуються виходом з ладу свічок запалювання, високовольтних проводів, котушок запалювання;
- вихід з ладу кисневих датчиків (O_2 sensors) і каталітичного нейтралізатора: скорочення ресурсу зумовлено підвищеною температурою випускних газів і великою кількістю незгорілих компонентів, які осідають в випускному тракті;
- постійно збільшується витрата палива: так як забруднення інжекторів - поступовий процес, то водій зазвичай зауважує це не відразу.

Наслідки тривалої роботи двигуна з забрудненими форсунками, можна розділити за часом впливу на III стадії [1,2,3,4]:

I стадія виникає при пробігах 10-30 тис.км: втрата потужності і некомфортне водіння (млявий розгін, провали при прискоренні, підвищена витрата палива, некоректний режим перемикання передач в АКП з електронним управлінням, присутність кодів помилок в блоці управління двигуном, пов'язаних з роботою системи запалювання, кисневих датчиків і ін.).

II стадія настає від 30 тис.км: на тлі різкої втрати потужності, настає пошкодження вузлів високовольтної частини системи запалювання (малий ресурс свічок, "пробою" високовольтних проводів, вихід з ладу котушок запалювання), двигун з працею заводиться (а іноді зовсім відмовляє заводитися) в умовах низьких температур.

Накопичується нагар і шлакові відкладення на тарілках клапанів га-

зорозподілу, в камерах згоряння, порушених двигуна. У зв'язку з неефективним шлаків на кисневих датчиках і в каталізаторі випускної системи двигуна.

Кисневий датчик виходить з ладу, що не відпрацювавши покладений ресурс, каталізатор перегрівається і починає руйнуватися.

III стадія настає завжди, якщо не буде вжито заходів усунення наслідків пошкоджень в I і II стадіях: перегрів і пошкодження випускних клапанів, "залягання" поршневих кілець, як наслідок цього, різкий знос циліндрів і в підсумку - капітальний ремонт двигуна.

Об'єктом дослідження стали три однотипних комплекти електромагнітних форсунок виробництва фірми R. Bosch. Перший комплект форсунок мав напрацювання 100 тис. км пробігу автомобіля, другий - 150 тис. км. третій комплект становили нові форсунки.

Результати дослідження кількісних показників 1-го і 2-го комплекти щодо величин 3-го (нового) показують зміна статичної продуктивності $q_{\text{стат}}$ в межах 0,8...1,5% і - 0,5...2,3% відповідно. Динамічна продуктивність $q_{\text{дін}}$ змінилася більш значно - на 1,8...5,8% і 3,2...12% відповідно. При цьому зміни величини нерівномірності подачі палива δ , в 1-му та 2-му комплектах форсунок склали 6,0 і 8,5%.

У всіх випадках простежується однозначна тенденція до збільшення відмінностей в кількісних показниках з ростом напрацювання форсунок (пробігу автомобіля), причому, чим довше експлуатувалися форсунки, тим більш значні ці відмінності по відношенню до нових форсунок.

При цьому було встановлено, що у форсунок зі значною напрацюванням збільшується циклова подача, незважаючи на забруднення її проточної частини.

Аналіз різних елементів форсунки свідчать про те що, незважаючи на відмінності складів вітчизняного і зарубіжного бензинів, а також різні умови експлуатації автомобільної техніки в нашій країні і за кордоном, закономірності утворення забруднень в проточній частині та їх хімічний склад ідентичні.

Були виконані результати дослідження впливу експлуатаційних змін показників електромагнітних форсунок на енергетичні та екологічні характеристики автомобільного двигуна внутрішнього згоряння ВАЗ-21104.

Порівняльні випробування двигуна ВАЗ-21104 з комплектами форсунок, що мають різну напрацювання, проводилися на моторному стенді. Знімалися зовнішня швидкісна характеристика, а також ряд навантажувальних характеристик двигуна в діапазоні частот обертання валу $n = 1500...3500 \text{ хв}^{-1}$.

Проведені експерименти показали, що експлуатаційні зміни робочих показників електромагнітних форсунок істотно впливають на енергетичні та екологічні характеристики автомобільного двигуна внутрішнього згоряння. Питома ефективна витрата палива зростає на 6% (рис. 2) при одночасному збільшенні викиду токсичних компонентів з відпрацьованими газами. Це може призводити погіршення динаміки автомобіля і пускових

якостей двигуна.

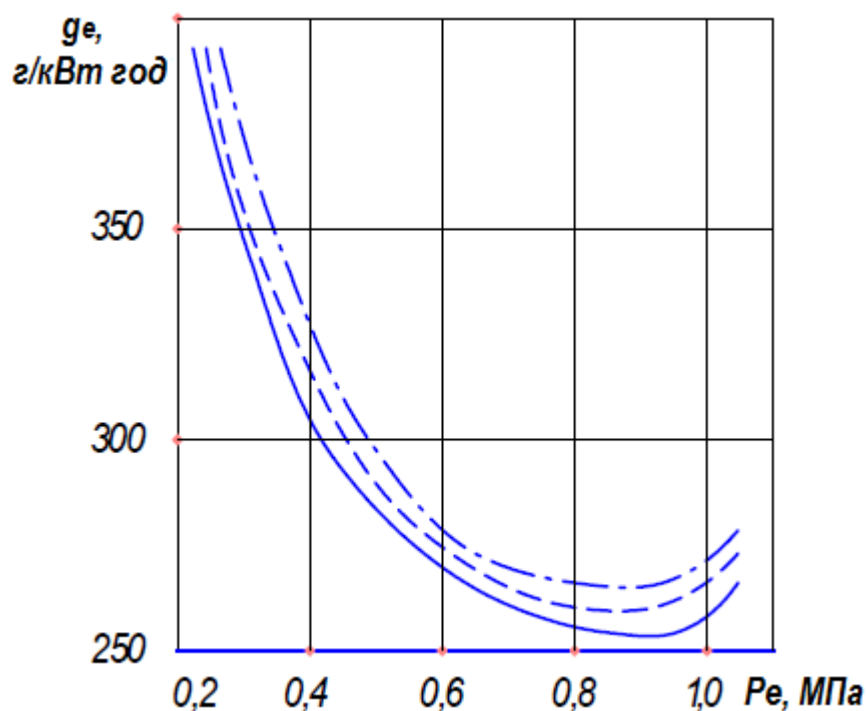


Рис. 2 – Зміна питомої ефективної витрати палива двигуна ВАЗ-21104 навантажувальної характеристики (частота обертання валу $n = 3000 \text{ хв}^{-1}$)

Аналіз процесів забруднення і наслідків зносу елементів електромагнітної форсунки, виявив їх вплив на роботу автомобільного бензинового двигуна. Експериментально отримані дані по експлуатаційним змінам робочих показників електромагнітних форсунок свідчать про те, що після напрацювання 150 тис. км пробігу автомобіля їх робочі характеристики можуть істотно змінюватися, причому, як в сторону збільшення, так і зменшення динамічної продуктивності. При цьому найбільш критичним для двигуна є зростаюча нерівномірність подачі палива в комплекті форсунок, яку не може компенсувати мікропроцесорна система управління двигуном.

Література

1. Овчинников Г.В. Влияние загрязнения и износа элементов электромагнитных форсунок на характеристики автомобильного бензинового двигателя. Автореф. дис. канд. тэн. наук / Овчинников Г. В. – Владимир, 2009. – 18 с.
2. Хрулев А.Е. Ремонт двигателей зарубежных автомобилей. – М.: За рулем, 1998. – 440 с.
3. Гириявец А.К. Теория управления автомобильным бензиновым двигателем. М.: «Русский сервис», 1997. – 190 с.
4. Ерохов В.И. Системы впрыска легковых автомобилей: эксплуатация, диагностика, техническое обслуживание и ремонт. – М.: Астрел-АСТ, 2003. – 159 с.