

**Красота М.В., доцент кафедри  
експлуатації та ремонту машин, к.т.н., доц.  
Шепеленко І.В., професор кафедри  
експлуатації та ремонту машин, д.т.н., проф.  
Осін Р.А., доцент кафедри  
експлуатації та ремонту машин, к.т.н., доц.**  
*Центральноукраїнський національний технічний університет*

## **ОСНОВНІ ТИПИ ЗАБРУДНЕНЬ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ ФОРСУНОК БЕНЗИНОВИХ ДВИГУНІВ ТА ПРИЧИНИ ЇХ ВИНИКНЕННЯ**

В роботі розглянуто основні типи забруднень електромагнітних форсунок бензинових двигунів, встановлено причини їх виникнення, розглянуто механізми утворення твердих відкладень на поверхнях деталей, що визначають працездатність форсунок.

The research examines the main types of contamination of gasoline engines electromagnetic injectors, identified causes of their occurrence, researched mechanisms of solid deposit formation on the components surfaces, which are determining performance of injectors.

Постановка проблеми. Електромагнітна форсунка (ЕМФ) являє собою швидкодіючий гідравлічний клапан з електромагнітним приводом замикаючого елементу. У системах паливоподачі з електронним управлінням форсунки виконують дві функції:

- дозують паливо відповідно з тривалістю електричних управляючих імпульсів, сформованих електронним блоком управління (контролером) по певному алгоритму, залежно від режимних параметрів роботи двигуна;
- розпилюють (диспергують) паливо до частинок необхідних розмірів для досягнення необхідного ступеня гомогенізації паливоповітряної суміші.

На сьогоднішній день всі нові автомобілі з бензиновим двигуном мають системи розподіленого впрыскування. 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 високу культуру експлуатації автомобільної техніки [1]. Багато в чому ці проблеми і визначають експлуатаційні зміни робочих показників електромагнітних форсунок.

Погіршення технічного стану ЕМФ неминуче приводить до падіння динамічних та економічних характеристик двигунів, а також до підвищення токсичності відпрацьованих газів.

Для зменшення імовірності появи несправностей та погіршення характеристик ЕМФ та недопущення негативного впливу на навколишнє середовище слід приділяти увагу характерним несправностям форсунок та причинам їх виникнення.

Результати дослідження. Основною, і до цих пір не вирішеною проблемою при експлуатації електромагнітних форсунок в складі систем впрыскування 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 утворення, а також фізичними та хімічними властивостями твердої поверхні. Відомо, що в основі механізму різних забруднень - лежить явище адгезії.

Відповідно до загальної класифікації забруднень деталей поршневих двигунів, забруднення електромагнітних форсунок можна поділити на три види: нагар, лаки і осади [1 - 3]. Кожне з них утворюється за власним механізмом. По взаємодії з поверхнею різні види забруднень принципово можна розділити на три основні групи: слабкозв'язані, помірно зв'язані і міцно зв'язані.

Утворюються відкладення таким чином [1, 2]. Після зупинки гарячого двигуна з плівки палива, що залишилася на штифтах і внутрішніх поверхнях розпилювачів, що нижче запірною клапана, випаровуються легкі фракції. Важкі ж залишаються на деталях, так як змивати їх в цей час нічим. Свіжі порції палива не надходять до розпилювача, і запірні клапани форсунок закриті. До того ж, в цей момент відсутнє охолодження паливом. Корпус форсунки додатково нагрівається, одержуючи тепло від гарячої головки блоку циліндрів через впускний колектор, прискорюючи процес випаровування. З решти важких фракцій і утворюються смолисті відкладення. Накопичуючись, вони перешкоджають запірному конусу щільно сісти на сідло, унаслідок чого порушується герметичність форсунки.

Залишковий тиск палива в рампі після зупинки мотора зберігається. Він проштовхує бензин через негерметичний клапан, і процес закоксування йде інтенсивніше. Втрата герметичності ускладнює запуск двигуна зважаючи на відсутність тиску в паливній магістралі і можливості утворення парових пробок. Крім того, з втратою герметичності погіршується відсічення палива. Замість того щоб різко обірвати факел, відправивши всю порцію до впускного каналу, закінчення уприскування відбувається плавно. Останні краплі його не можуть "вистрілити" і стікають з розпилювача.

Прохідний перетин сопла форсунки - кільцева щілина, утворена корпусом розпилювача і запірним клапаном. З появою відкладень просвіт зменшується. Відповідно зменшується і кількість палива, що дозується форсункою за кожен робочий такт. Якщо система управління не має зворотного зв'язку, то зміна пропускної здатності форсунок приведе до збіднення робочої суміші. Наслідки цього проявляються в зниженні потужності, появі детонації і т.д.

Якщо на автомобілі встановлена система зі зворотним зв'язком по сигналу лямбда-зонда, то вона зможе при невеликій зміні продуктивності компенсувати це шляхом збільшення часу уприскування. Однак, у такого збільшення є межа, яка називається межею регулювання. Більше того, якщо навіть середня продуктивність комплекту форсунок знизиться незначно, але різниця між окремими форсунками буде значна, це призведе до незадовільної роботи системи.

У сучасних системах управління двигуном поки немає досить швидкого зворотного зв'язку, що дозволяв би корегувати час упорскування для кожної форсунки індивідуально. До того ж, багато систем застосовують попарний або одночасний тип уприскування, при якому декілька форсунок управляються ECU одним вихідним ключем.

Порушується і форма факела - отже, 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, отже, згоріти в циліндрі [1-3].

Якщо в паливі присутні дрібнодисперсні тверді частки, що проникають через фільтр тонкого очищення (іржа, дрібний пісок, деякі порошкоподібні присадки для підвищення октанового числа і т.п.), то клапан піддається абразивному впливу. Внаслідок цього відбувається спотворення геометрії дозуючого отвору, порушення форми факела палива, нестабільна продуктивність ЕМФ.

У ЕМФ накопичуються не тільки смоли, а й відкладення корозії. Для точного утримання запірного елемента відносно сідла при поздовжніх переміщеннях, грані голки і направляюча втулка виконані у вигляді прецизійної пари. Якщо смоли відкладаються на запірному елементі, клапані і сідлі, головним чином, порушуючи продуктивність форсунки і конус розпилу, то корозія в сполученнях пари збільшує тертя і стає основним чинником зростання інерційності голки в моменти відкриття і закриття інжектора. Залежно від характеру і ступеня забруднення це може призвести як до зменшення, так і до збільшення дози вприснутого ЕМФ палива, а також до погіршення атомізації, часткового або повного переходу в крапельний режим і порушення герметичності.

Значно рідше зустрічається інша причина незадовільної роботи форсунок - забруднення вхідних фільтрів. Вхідні фільтри форсунок відносно невеликих розмірів і покликані лише гарантувати чистоту палива, що поступає у форсунки, відсікаючи особливо дрібні вклучення, що проникли через магістральний фільтр тонкого очищення палива. Поглинаюча здатність їх невелика, а забруднившись, вони залишають форсунки на "голодному" пайку. Щоб цього не допустити, потрібно уважно стежити за станом фільтру тонкого очищення палива.

Діагностичні ознаки забруднених ЕМФ мають однаковий характер практично на всіх моделях сучасних автомобілів [4]:

- 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 затягуваність нижчої передачі, мляво набирає швидкість, чутні хлопки у впускній системі ;
- пропуски займання паливної суміші: посмикування при розгоні, присутні коди помилок по втраті іскроутворення, що супроводжуються виходом з ладу свічок запалювання, високовольтних проводів, катушок запалювання ;
- вихід з ладу кисневих датчиків і каталітичного нейтралізатора: скорочення ресурсу зумовлено підвищеною температурою вихлопних газів і великою кількістю незгорілих компонентів, які осідають у впускному тракті ;
- постійно збільшується витрата палива: так як забруднення ЕМФ - поступовий процес, то водій зазвичай помічає це не відразу.

**Висновки.** Таким чином, для недопущення появи різних типів забруднень ЕМФ доцільно дотримуватися сервісних заходів, що передбачають контроль вчасне виконання регламенту з обслуговування паливної апаратури та проведення періодичного очищення ЕМФ, а також, власне, контролю за якістю використовуваного пального.

#### Література

1. Аулін В. В., Лисенко С. В., Голуб Д. В., Гриньків А. В., Мартиненко О. Д. Теоретико-фізичний підхід до діагностичної інформації про технічний стан агрегатів мобільної сільськогосподарської техніки. Вісник Харківського нац. техн. університету сільського господарства. Ресурсозберігаючі технології, матеріали та обладнання у ремонтному виробництві. Харків. 2015. Вип. 158. С. 252–262.
2. Паливно-мастильні та інші експлуатаційні матеріали. Посібник. Навчально-методичний комплекс: Начально-методичний посібник для студентів із напрямку підготовки «Процеси, машини та обладнання агропромислового виробництва» рівня «Бакалавр» / І.М. Бендера, В.І. Дуганець, В.П. Кувачов та ін. / За ред. І.М. Бендери. Кам'янець-Подільський: ФОП Сисин Я.І., 2016. 420 с.
3. М.В. Красота, І.В. Шепеленко, Р.А. Осін Огляд методів діагностування бензинових форсунок автомобільних двигунів. Міжнародна науково-технічна конференція «Сучасні тенденції розвитку машинобудування та транспорту» Матеріали конференції – Кременчук: КрНУ, 2020.
4. Mohan, V., Du, J., Sim, J., & Roberts, W. L. Hydraulic characterization of high-pressure gasoline multi-hole injector. *Flow Measurement and Instrumentation*. 2018. 64. pp. 133-141. doi:10.1016/j.flowmeasinst.2018.10.017