

Корпач А.О.¹, професор кафедри двигунів і теплотехніки, к.т.н., професор
akorpach@ukr.net

Левківський О.О.², інструктор з технічного навчання, к.т.н.
oleksandr.levkivskyi@gmail.com

Корпач О.А.¹, доцент кафедри автомобілів, к.т.н., доцент.
korpach1988@gmail.com

¹Національний транспортний університет;
²ТОВ «Віннер Імпорте Україна ЛТД»

МЕТОДИКА ПЕРЕВІРКИ ПАЛИВНОЇ АПАРАТУРИ ДИЗЕЛЯ ТИПУ COMMON RAIL З ВИКОРИСТАННЯМ ЦИФРОВОГО ОСЦИЛОГРОФА

Переважає більшість сучасних автомобільних дизелів має паливну систему типу Common Rail (CR). Даний тип паливної системи дизеля набув широкого розповсюдження завдяки можливості підтримувати оптимальний тиск та дуже точно дозувати подачу палива не залежно від швидкісного та навантажувального режиму роботи двигуна, що дозволяє зменшити витрату палива в порівнянні з іншими типами паливних систем. Крім того, можливість подавати декілька доз палива (до 5) під час одного робочого циклу, дозволяє забезпечувати виконання вимог сучасних екологічних стандартів а також знизити рівень шумів та вібрацій, що виникають під час роботи двигуна [1].

Регулювання тиску палив в паливній рампі актуального покоління систем CR відбувається за допомогою клапана дозування палива, який, як правило, вбудований в паливний насос високого тиску (ПНВТ) та клапана регулювання тиску палива в паливній рампі (рис. 1). Описана конструкція паливної системи дозволяє забезпечити необхідний тиск з мінімальними механічними втратами на привід ПНВТ, крім того можливо підтримувати оптимальну температуру палива. Після запуску холодного двигуна, при низькій температурі навколишнього середовища, клапан дозування палива певний час залишається, практично, повністю відкритим, що забезпечує максимальну подачу палива в паливну рампу. Регулювання тиску в даному режимі виконується за допомогою клапана регулювання тиску, при цьому значна кількість попередньо стиснутого (гарячого) палива повертається в паливний бак прогріваючи решту палива, що дозволяє швидко досягти оптимальної в'язкості палива. Подальше регулювання тиску, після прогріву двигуна, виконується, в основному, за допомогою клапана дозування палива, що регулює витрату палива на лінії подачі в ПНВТ та повертає частину надлишкового палива назад в бак.

Робота паливної системи в даному режимі дозволяє знизити механічні втрати на привід ПНВТ оскільки він стискає лише об'єм палива, який необхідний для підтримки заданого тиску. Клапан регулювання тиску палива в даному режимі виконує лише незначне коригування тиску палива в паливній рампі та залишається, практично, повністю закритим [2].

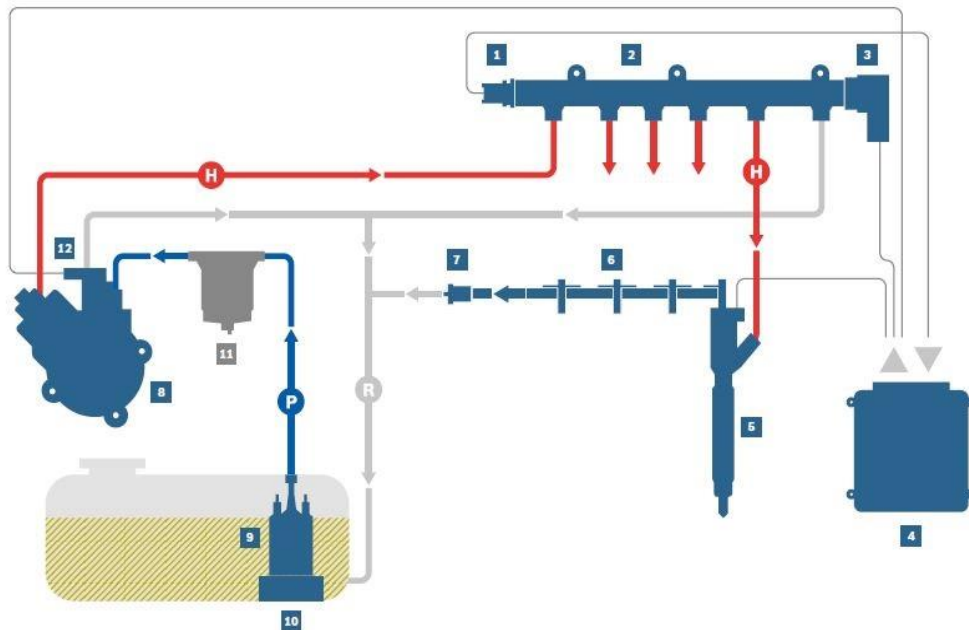


Рисунок 1 – Принципова схема паливної системи Bosch CRS2-25

1 – датчик тиску палива, 2 – паливна рампа, 3 – клапан регулювання тиску палива, 4 – блок керування,

5 – паливна форсунка, 6 – зворотна магістраль паливних форсунок, 7 – зворотній клапан, 8 – ПНВТ,

9 – паливний насос низького тиску, 10 – паливний бак, 11 – паливний фільтр, 12 – клапан дозування палива, Н – паливна магістраль високого тиску, Р – паливна магістраль низького тиску, R – зворотна паливна магістраль

В типовій електричній архітектурі системи CR (рис. 2) нормально відкритий клапан дозування палива (при відсутності живлення максимальна кількість палива надходить в ПНВТ), як правило отримує постійне живлення від блоку запобіжників, блок керування двигуном за дорогою сигналу широтно-імпульсної модуляції (ШІМ) з'єднує його з масою автомобіля, регулюючи, таким чином струм, що проходить через клапан, а отже і ступінь його відкриття. Клапан регулювання тиску палива також нормально відкритий (при відсутності струму на клапані тиск в паливній рампі не може зрости понад 100 бар оскільки, практично, весь об'єм палива направляється в зворотну паливну магістраль). Керування клапаном регулювання тиску відбувається аналогічно клапану дозування палива за допомогою сигналу ШІМ зі сторони маси. Датчик тиску палива отримує живлення від блоку керування двигуном та по виділеній лінії надає зворотній сигнал в діапазоні 0,5 – 4,5 В, що для паливної системи Bosch CRS2-25 відповідає тиску 0-1600 бар.

Паливна система CR працює в режимі замкнутого контуру, тобто блок керування двигуном за допомогою датчика тиску в паливній рейці постійно контролює тиск і у випадку відхилення від очікуваного показника, в залежності від режиму роботи двигуна, вносить коригування в сигнал ШІМ клапана дозування палива або клапана регулювання тиску палива [2].

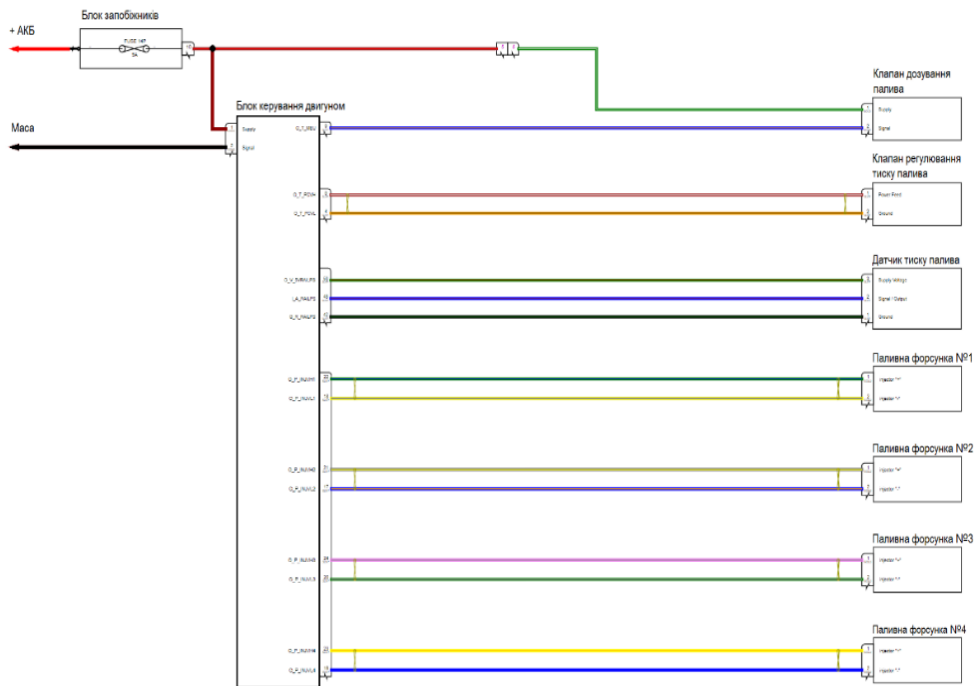


Рисунок 2 – Електрична схема паливної системи Bosch CRS2-25

З метою аналізу ефективності роботи паливної системи CR можливо використовувати цифровий осцилограф, що є універсальним вимірювальним обладнанням та може використовуватись для діагностики будь-якого двигуна з типовою паливною системою CR, не залежно від виробника та версії програмного забезпечення блока керування [3].

Для спрощення аналізу отриманих даних рекомендовано виключити вплив клапана дозування палива, від'єднавши його живлення, в такому режимі до ПНВТ буде надходити максимально можливий об'єм палива, а заданий тиск буде підтримуватись лише за допомогою клапана регулювання тиску палива. Два канали цифрового осцилографа необхідно підключити до сигнального контакту датчика тиску та маси клапана регулювання тиску. Максимально повний аналіз продуктивності паливної системи високого тиску можливо зробити в наступних режимах роботи двигуна: запуск, робота в режимі мінімальної частоти холостого ходу, різке прискорення, робота в режимі максимальної частоти холостого ходу, різке зниження частоти обертання колінчастого валу, стабілізація обертів холостого ходу (рис. 3).

В результаті досліджень одержано осцилограму, на якій відображено зміну напруги на датчику тиску в паливній рампі (канал А) та зміну сигналу ШІМ керування клапаном регулювання тиском (канал С). Для спрощення аналізу зміни ШІМ сигналу, за допомогою вбудованої математичної функції програмного забезпечення цифрового осцилографа (в даному прикладі PicoScope 6 Automotive [4]) розраховано його скважність та побудовано в вигляді окремої кривої (канал В).

Ділянка 1-2 осцилограми зміни тиску в паливній рампі демонструє швидкість наростання тиску в момент запуску двигуна. В точці 1 вал ПНВТ починає обертатись, створюючи тиск, в цей момент живлення на паливні

форсунки не подоється та клапан регулювання тиску палива переходить в закриті положення. Після досягнення необхідного тиску для запуску двигуна (для паливної системи Bosch приблизно 350-400 бар) в точці 2 блок керування подає сигнал на паливні форсунки і двигун запускається. Допустиме значення швидкості наростання тиску для сучасних поливних систем становить до 0,5 с. Більш повільна швидкість наростання тиску палива може вказувати на недостатній тиск в паливній магістралі низького тиску, зниження продуктивності ПНВТ в результаті зношення або порушення герметичності паливної системи високого тиску.

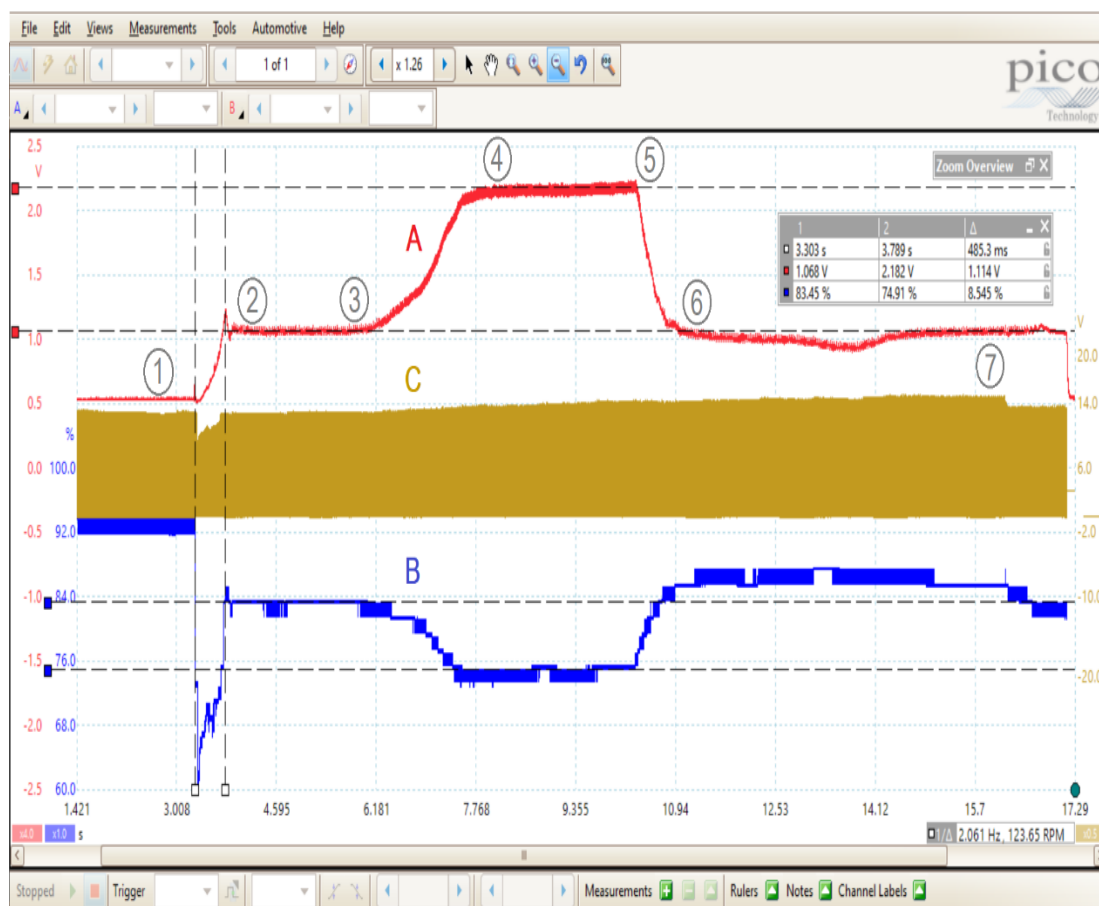


Рисунок 3 – Осцилограма зміни тиску та регулювання паливної системи CR

Ділянка 2-3 показує тиск палива при роботі двигуна в режимі мінімальної частоти обертання холостого ходу, в даному режимі напруга на датчику тиску повинна становити близько 1 В. Сквашність сигналу клапана регулювання тиску палива, в даному режимі, повинна мати певне фіксоване значення, у випадку порушення герметичності паливної системи блок керування буде зменшувати сквашність (закривати клапан) для компенсації зниження тиску. Порівнявши сквашність сигналу з аналогічним справним двигуном, можливо зробити висновок, що до герметичності паливного контуру при відносно невисокому тиску.

На ділянці 3-4 відбувається різке зростання частоти обертання колінчастого валу в режимі холостого ходу. Основну увагу при аналізі даної ділянки варто звернути на зміну сквашності сигналу клапана регулювання тиску палива,

значне зниження скважності свідчить про низьку продуктивність ПНВТ або втрату тиску в інших елементах паливної апаратури, для компенсації яких блок керування буде додатково закривати клапан. Для більшості двигунів з паливною системою Bosch допустиме значення знаходиться в діапазоні 8-10%.

Ділянка 4-5 описує тиск палива в режимі максимальної частоти обертання холостого ходу. При відключеному клапані дозування палива блок керування, як правило, обмежує частоту обертання колінчастого валу на позначці 2200-2500хв⁻¹, в такому режимі, для даної та подібних паливних систем, напруга на датчику тиску повинна становити близько 2-2,2 В (800-900 бар). Порівнявши скважність сигналу клапана регулювання тиску палива з аналогічним двигуном можна зробити висновок про збереження герметичності системи при більш високому тиску.

Аналіз ділянки 5-6 дозволяє зробити висновок про порушення роботи клапану регулювання тиску палива або наявність блокування в зворотній паливній магістралі. У справній системі тиск повинен різко знизитись після того як важіль акселератора буде відпущеним.

Остання ділянка осцилограми 6-7 демонструє момент стабілізації тиску після зниження частоти обертання колінчастого валу. На даній ділянці не повинно спостерігатись різких коливань напруги. У справній паливній апаратурі тиск та сигнал керування клапаном регулювання тиском палива повинні стабілізуватись через 4-5 с після зниження частоти обертання колінчастого валу.

Висновки

За допомогою цифрового осцилографа можливо швидко та досить точно оцінити наявність таких дефектів паливної системи CR як: зниження продуктивності ПНВТ в результаті зношення, недостатній тис в паливній магістралі низького тиску, високий опір в зворотній паливній магістралі та також порушення герметичності компонентів ділянки високого тиску паливної системи.

Література

1. Gus Wright. Fundamentals of medium-heavy duty diesel engines. – Burlington, Massachusetts: Jones and Bartlett Learning, 2015 – 1394 p.
2. Konrad Reif. Diesel Engine Management. Systems and Components. – NY: Springer, 2014. – 370p.
3. T. Denton. Advanced Automotive Fault Diagnosis. 5th ed. - London: Routledge, 2021. - 396p.
4. Pico Diagnostics. User's guide. – United Kingdom: Pico Technology, 2016. – 77 p.