

## ДІАГНОСТУВАННЯ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ПАЛИВНОЇ СИСТЕМИ СУЧАСНИХ ДВИГУНІВ З ВИКОРИСТАННЯМ ЦИФРОВОГО ОСЦИЛОГРАФА

*Корпач А.О.*, кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна, akorpach@ukr.net, orcid.org/0000-0002-7070-7883

*Левківський О.О.*, кандидат технічних наук, інструктор з технічного навчання, Товариство з обмеженою відповідальністю «Віннер ЛТД», Київ, Україна, oleksandr.levkivskyi@gmail.com, orcid.org/0000-0002-2951-2312

*Корпач О.А.*, кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна, korpach1988@gmail.com, orcid.org/0000-0002-2496-4395

*Паулюкас А.*, доктор технічних наук, Університет Вітовта Великого, Каунас, Литва, arvydas.pauliukas@vdu.l, orcid.org/0000-0002-9934-7033

### MODERN ENGINE FUEL SYSTEMS DIAGNOSTIC USING A DIGITAL OSCILLOSCOPE

*Korpach A.O.*, Ph.D., National Transport university, Kyiv, Ukraine, akorpach@ukr.net, orcid.org/0000-0002-7070-7883

*Levkivskyi O.O.*, Ph.D., technical trainer, Limited Liability Company «Winner LTD», Kyiv, Ukraine, oleksandr.levkivskyi@gmail.com, orcid.org/0000-0002-2951-2312

*Korpach O.A.*, Ph.D., National Transport university, Kyiv, Ukraine, korpach1988@gmail.com, orcid.org/0000-0002-2496-4395

*Pauliukas A.*, Doctor of Technical Sciences, Vytautas Magnus University, Kaunas, Lithuania, arvydas.pauliukas@vdu.l, orcid.org/0000-0002-9934-7033

#### **Постановка проблеми.**

Керування роботою сучасних автомобільних двигунів виконується за допомогою електронних систем. Для створення необхідної потужності, електронна система керування двигуном за допомогою ряду датчиків та виконавчих механізмів забезпечує оптимальну подачу палива і повітря та контролює викиди шкідливих речовин з відпрацьованими газами. Оптимальний контроль подачі палива є пріоритетним завданням сучасних електронних систем керування. Визначення технічного стану паливних систем в процесі експлуатації, в свою чергу, є складною технічною задачею. Програмним забезпеченням модуля керування двигуном передбачено виконання самодіагностики датчиків та виконавчих механізмів, для цього порівнюються фактично отримані показники з запрограмованими еталонними значеннями, однак модуль керування не завжди може самостійно визначити причини невідповідності отриманих значень, для цього необхідно виконувати більш детальну діагностику. Цифровий осцилограф, дозволяє отримати та графічно представити різні вхідні та вихідні сигнали модуля керування двигуном. Аналіз даної інформації може допомогти визначити причини виникнення різних дефектів паливної системи двигуна.

#### **Аналіз актуальних досліджень.**

Різні методики перевірки технічного стану електронних систем керування двигуном розглядаються в ряді публікацій. Загальні принципи роботи з осцилографом описано в роботі [1]. Виробники цифрових осцилографів, наприклад PicoScore [2] та Autoscore [3] надають детальний опис принципів роботи з вимірювальним обладнанням, рекомендації щодо його налаштування для роботи з автомобільними двигунами та еталонні форми сигналів. В роботах [4, 5, 6] розглянуто різні методи діагностики автомобільних двигунів, у тому числі, з використанням цифрового осцилографа. Крім того, в роботах [7, 8, 9] розглянуто перевірку різних систем двигуна з використанням цифрового осцилографа. Однак, на сьогоднішній день, ще не визначені всі основні робочі показники паливної системи двигуна, які можна перевірити за допомогою осцилографа та не розроблено загальний підхід, який дозволяє ефективно діагностувати різні типи автомобільних двигунів.

#### **Мета роботи.**

Виконати аналіз основних робочих параметрів електронних систем керування подачею палива сучасних автомобільних двигунів та визначити методи перевірки даних систем з використанням

цифрового осцилографа. Описати типові дефекти паливної системи двигуна, що можуть бути виявлені за допомогою цифрового осцилографа.

### Виклад основного матеріалу.

Сучасні двигуни, що працюють на дизельному паливі, як правило, мають паливну систему акумуляторного типу – Common Rail (CR). Даний тип паливної системи дизеля широко використовується завдяки можливості підтримувати оптимальний тиск та дуже точно дозувати подачу палива в широкому діапазоні швидкісних та навантажувальних режимів роботи двигуна. Використання паливної система CR дозволяє зменшити витрату палива, покращити екологічні показники двигуна та знизити шум, вібрацію і жорсткість роботи дизеля [6].

Для точного регулювання тиску палива в системі CR використовується два клапани: клапан дозування палива, що контролює об'єм палива, яке подається паливним насосом високого тиску (ПНВТ) в паливну рампу та клапан регулювання тиску, який точно регулює тиск в рампі (рис. 1). Клапан дозування палива, як правило, отримує постійне живлення від блоку запобіжників, а модуль керування двигуном, в свою чергу, використовуючи сигнал широтно-імпульсної модуляції (ШІМ), з'єднує його з масою автомобіля. Змінюючи робочий цикл сигналу ШІМ, змінюється ступінь відкриття клапана і, відповідно, кількість палива, що надходить в паливну рампу. Клапан дозування палива нормально відкритий, тому при відсутності живлення максимальна кількість палива буде надходити від ПНВТ в рампу. 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. Для визначення фактичного тиску в рампі використовується аналоговий датчик тиску палива, що отримує живлення від модуля керування двигуном та по виділеній лінії надає зворотній сигнал в діапазоні 0,5 – 4,5 В. Для паливної системи Bosch CRS2-25 даний діапазон напруги еквівалентний тиску 0-1600 бар.



Рисунок 1 – Електрична схема паливної системи Bosch CRS2-25

Figure 1 – Electric diagram of Bosch CRS2-25 fuel system

Паливна система CR працює в режимі замкнутого контуру, тобто модуль керування двигуном за допомогою датчика тиску в паливній рампі постійно контролює тиск і у випадку відхилення від очікуваного показника, в залежності від режиму роботи двигуна, вносить коригування в робочий цикл сигналу ШІМ клапана дозування палива і клапана регулювання тиску палива.

З паливної рампи паливо під тиском подається до форсунок. В сучасних дизелях використовуються два типи паливних форсунок: електромагнітні та п'єзоелектричні. Обидва типи

форсунок мають високу швидкість роботи та здатні працювати при тиску в паливній рампі від 230 до 2500 бар.

Цифровий осцилограф може бути використаний для перевірки ефективності роботи паливної системи CR [7]. Для комплексної перевірки паливної системи дизеля необхідно перевірити продуктивність ПНВТ, герметичність паливного контуру високого тиску, а також продуктивність паливних форсунок. Окремо можливо перевірити роботу клапана дозування палива (методика перевірки аналогічна бензиновому двигуну).

Для перевірки продуктивності ПНВТ необхідно виключити вплив клапана дозування палива, від'єднавши його живлення, в такому режимі в паливну рампу буде надходити максимально можливий об'єм палива, а заданий тиск буде підтримуватись лише за допомогою клапана регулювання тиску. 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 двигуна, робота в режимі максимальної частоти холостого ходу, різке зниження частоти обертання колінчастого валу, стабілізація обертів холостого ходу.

На осцилограмі (рис. 2) відображено зміну напруги на датчику тиску в паливній рампі (канал А) та зміну сигналу керування клапаном регулювання тиском (канал С). Для спрощення аналізу зміни сигналу, за допомогою вбудованої математичної функції програмного забезпечення цифрового осцилографа (в даному дослідженні використано цифровий осцилограф PicoScope 4425A та програмне забезпечення PicoScope 6 Automotive) розраховано його робочий цикл та побудовано в вигляді окремої кривої (канал В).

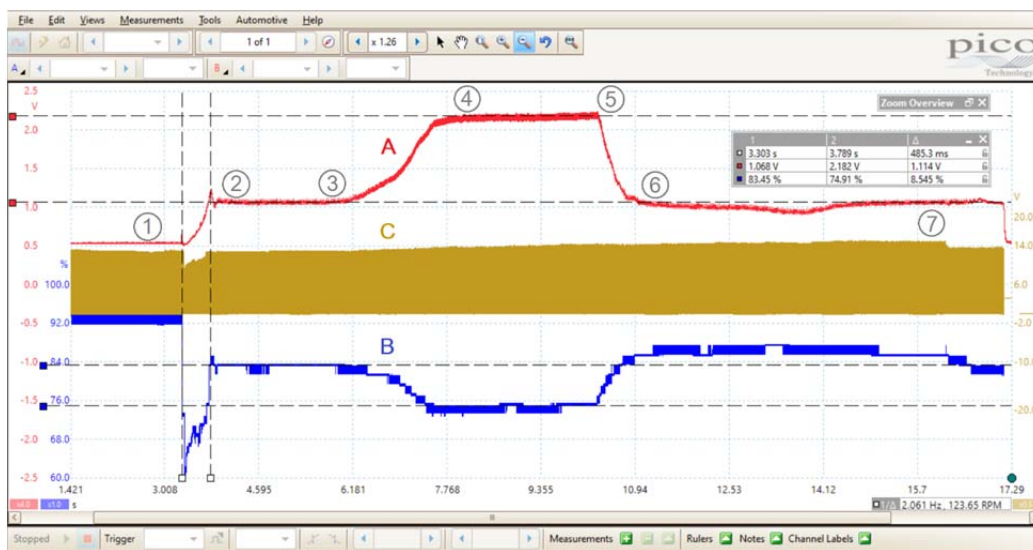


Рисунок 2 – Осцилограма зміни тиску в паливній рампі та робочий цикл клапана регулювання тиску палива

Figure 2 – Pressure change oscillogram in fuel rail and working cycle of fuel pressure regulation valve

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

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. Робочий цикл сигналу клапана регулювання тиску палива, в даному режимі, повинен мати певне фіксоване значення, у випадку порушення герметичності паливної системи блок керування буде зменшувати робочий цикл (закривати клапан) для компенсації зниження тиску. Порівнявши робочий цикл сигналу з аналогічним справним двигуном, можливо зробити висновок, щодо 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 проведенні аналізу даної ділянки варто звернути на зміну робочого циклу сигналу клапана регулювання тиску палива, значне зниження робочого циклу 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  $2200-2500 \text{ хв}^{-1}$ , в такому режимі для даної та подібних паливних систем напруга на датчику тиску повинна становити близько 2-2,2 В (800-900 бар). Порівнявши робочий цикл 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.

Для перевірки паливних форсунок високого тиску за допомогою цифрового осцилографа необхідно підключити один канал осцилографа до лінії живлення форсунки (1) та за допомогою іншого каналу (2) виміряти струм, що споживає форсунка (рис. 3 і рис. 4). Додатково, використавши третій канал осцилографа, можливо перевірити стабільність з'єднання форсунки з масою. При вимірюванні напруги необхідно враховувати, що робоча напруга електромагнітних форсунок може сягати 60 В, а п'єзoeлектричних – до 200 В та використовувати обладнання, що здатне працювати з даною напругою [4].

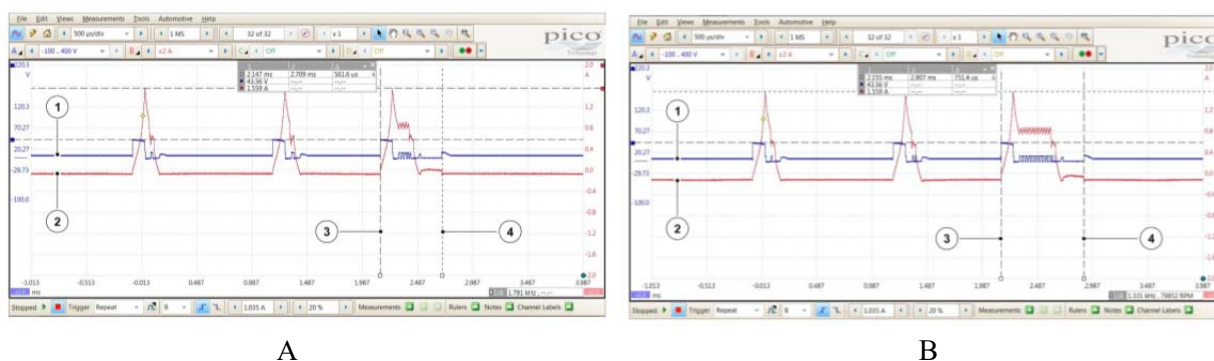


Рисунок 3 – Порівняння сигналу справної (А) та дефектної (В) електромагнітної паливної форсунки  
Figure 3 – Comparison of signals from functional (A) and defective (B) electromagnetic fuel injectors

На рис.3 показано осцилограми справної (А) та дефектної (В) електромагнітної паливної форсунки дизеля. Для запису напруги використовувався атенюатор ТА197 10:1, тобто через атенюатор на вхідний канал осцилографа надходить напруга в 10 разів нижча ніж фактична (4.3В замість 43В у даному випадку), що дозволяє безпечно виконувати вимірювання, а програмне забезпечення перераховує та відображає на екрані фактичну напругу 43 В. Для запису сили струму,

що споживає паливна форсунка, використовувались безконтактні кліщі для вимірювання струму TA018, що здатні працювати в 2-х діапазонах до 20А та до 60А. Кліщі вимірюють силу магнітного поля навколо провідника та інтерпретують її у вигляді вихідної напруги, далі програмне забезпечення осцилографа зчитує напругу та перетворює її в еквівалентне значення сили струму (при виборі діапазону до 20А – 1мВ = 10мА, для діапазону до 60А – 1мВ = 100мА) [2].

Аналіз напруги, струму та часу активації форсунки дозволяє визначити чи працює форсунка вірно чи має дефект. Найбільш розповсюджений дефект паливних форсунок, пов'язаний з погіршення розпилення, в результаті забруднення отворів. Модуль керування двигуном, в свою чергу, контролює ефективність розпилення та, як наслідок, згоряння палива, вимірюючи швидкість або прискорення для кожного циліндра за допомогою датчика положення? колінчастого валу на такті розширення та, порівнюючи одержане значення з іншими циліндрами та запрограмованими еталонними значеннями. Якщо прискорення колінчастого валу не відповідає очікуваному значенню, модуль керування корегує кількість палива, змінюючи час відкриття форсунки.

У випадку погіршення розпилення палива через забруднення отворів форсунки продуктами згоряння, модуль керування буде збільшувати кількість палива, збільшуючи час роботи форсунки. У певних діапазонах керування дана зміна не буде відчутна для водія та не викличе реєстрацію помилок системою самодіагностики, проте може спричинити зростання витрати палива та погіршення екологічних показників.

Порівнявши сигнали різних форсунок двигуна, можливо точно визначити час відкриття кожної форсунки в аналогічних умовах. На рис.3 показано робочий цикл електромагнітної форсунки двигуна AJ20-D при мінімальній частоті обертання колінчастого валу в режимі холостого ходу. Після 2-х попередніх впорскувань палива, що необхідні для зменшення жорсткості роботи двигуна, між лініями 3 і 4, відбувається подача основної дози палива. Для справної форсунки (рис.3А) час основного впорскування в даному режимі становить приблизно 561 мікро секунд. Зростання часу до 751 мікро секунд у іншій форсунки (рис. 3В) свідчить про значне коригування кількості палива для даної форсунки, як наслідок, погіршення розпилення палива.

Аналогічну перевірку можливо виконати для п'єзоелектричних форсунок, проте необхідно враховувати, що п'єзоелектрична форсунка має іншу форму сигналу. На рис.4 показано сигнал справної п'єзоелектричних форсунки двигуна AJ21-D. Осцилограма показує струм, що споживає форсунка (1), напругу живлення (2) і маси (3). Аналогічно, як і для електромагнітної форсунки, можна виділити декілька попередніх впорскувань палива і основне між лініями (4) і (5). Саме час основного впорскування буде визначати продуктивність форсунки.

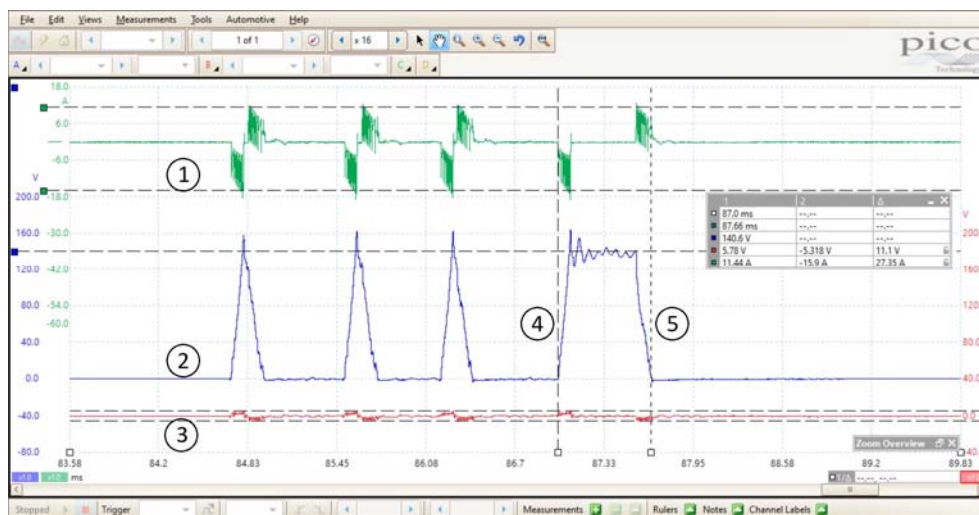


Рисунок 4 – Сигнал п'єзоелектричних форсунок

Figure 4 – Signal of piezoelectric injectors

Подача бензину в сучасних автомобільних двигунах може відбуватись у впускний трубопровід Multi-Point Injection (MPI), безпосередньо в циліндри Gasoline Direct Injection (GDI) або поєднувати обидві системи одночасно. В паливних системах MPI насос, що розміщений в паливному баку,

нагнітає паливо в рампу під тиском 4-6 Бар. Електромагнітні форсунки подають паливо у впускний трубопровід перед впускними клапанами. Паливні системи MPI мають просту будову та забезпечують надійну роботу двигуна на стереометричних сумішах. Паливна система GDI подібна до паливної системи CR дизеля, тобто, паливо під високим тиском подається безпосередньо в циліндри двигуна. Даний тип паливної системи був вперше представлений в 1951 році і на сьогоднішній день набув широкого розповсюдження за рахунок ряду переваг, в порівнянні системами MPI [6]: дозволяє виконувати більш точне дозування палива, забезпечує стабільну роботу двигуна на збіднених паливо-повітряних сумішах, дозволяє більш ефективно керувати наповненням циліндрів за рахунок зміни висоти підйому клапанів, дозволяє ефективно підвищувати тиск наддуву та ступінь стискання двигуна. Вищевказані переваги паливних системах GDI дозволяють зменшити витрату палива та знизити викиди шкідливих речовин з відпрацьованими газами.

Паливні системи GDI мають більш складну будову та алгоритм керування в порівнянні з системами MPI, що, в свою чергу, ускладнює виявлення та усунення дефектів. У даній системі подача палива з баку виконується за допомогою насоса низького тиску аналогічно системам MPI. Далі паливо надходить до ПНВТ, який нагнітає паливо в рампу під тиском до 250 бар. На відміну від паливної системи дизеля, GDI не має зворотної паливної магістралі з рампи, тому для контролю тиску в рампі використовується лише один клапан. Існує два підходи до контролю тиску: регулювання об'єму і безпосередньо регулювання тиску. При регулюванні об'єму використовується клапан, що знаходиться перед ПНВТ та регулює кількість палива, що надходить до нього. При використанні даного підходу ПНВТ нагнітає тільки ту кількість палива, що необхідна для підтримання заданого тиску. При регулюванні тиску клапан встановлюється після ПНВТ і повертає зайву кількість палива назад на вхід ПНВТ. У цьому випадку ПНВТ завжди нагнітає максимально можливий об'єм палива. Оскільки даний підхід викликає зайві витрати енергії на нагнітання великого об'єму палива та, відповідно, його небажаний нагрів, метод регулювання об'єму палива набув більш широкого розповсюдження.

Привід плунжера ПНВТ, як правило, виконується від кулачка встановленого на розподільчому валу. Модуль керування двигуном контролює тиск і температуру палива за допомогою датчика, встановленого в рампі. Клапан дозування палива (рис. 5) працює наступним чином: на вході – лінії низького тиску (5) є демпферна камера (6) для зменшення пульсацій палива. Далі, під час руху плунжера (4) вниз, паливо вільно всмоктується через відкритий клапан дозування палива (7). Під час руху плунжера вгору клапан дозування палива закривається і утримується закритим до досягнення заданого тиску в паливній рампі, в яку паливо надходить через зворотній клапан (3) і паливну лінію високого тиску (2). При досягненні заданого тиску клапан дозування паливом знову відкривається і зайве паливо повертаються назад в паливну магістраль низького тиску. На випадок виходу клапана дозування палива з ладу передбачено зворотній клапан (1), який при досягненні граничного тиску відкривається і повертає паливо до впускного каналу плунжера.

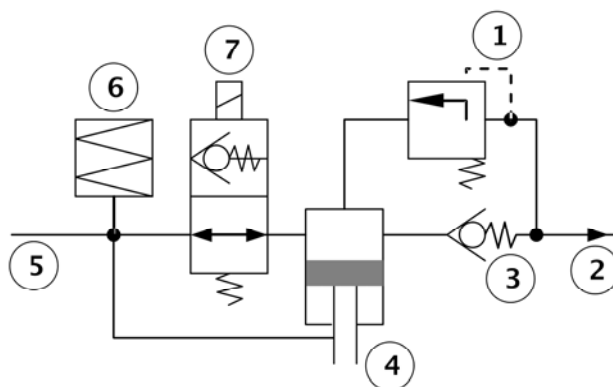


Рисунок 5 – Функціональна схема ПНВТ бензинового двигуна  
Figure 5 – Functional diagram of petrol engine's high-pressure injection pump

З рампи паливо подається в кожен циліндр за допомогою електромагнітних форсунок. Електромагнітні форсунки отримують живлення від блоку керування двигуном. Аналогічно

електромагнітним форсункам дизеля напруга живлення форсунок паливної системи GDI може сягати 65В.

Цифровий осцилограф дозволяє виконати перевірку зміни тиску в паливній рампі при різних режимах роботи двигуна, що дає змогу зробити висновок про продуктивність ПНВТ та герметичність паливного контура високого тиску [5]. Методика даної перевірки аналогічна перевірці паливної системи CR дизеля. Однак, на відміну від дизеля, при перевірці даної паливної системи не варто відключати клапан дозування палива, оскільки тільки він контролює тиск палива в рампі. При виявленні відхилення тиску в паливній рампі від очікуваного значення варто окремо перевірити сигнал клапана дозування палива.

На рис.6 показано типову осцилограму клапана дозування палива. Залежно від будови електричної системи двигуна можливе живлення клапана дозування палива як від розподільчої коробки, а контроль маси за допомогою сигналу ШІМ виконує модуль керування двигуном, так і живлення та маси безпосередньо від модуля керування двигуном. Як було описано вище, клапан активується тільки під час нагнітання палива плунжером ПНВТ, що в залежності від конфігурації кулачка на розподільчому валі може відбуватись від 1-го до 4-х разів за один оберт розподільчого вала. При живленні клапана дозування палива безпосередньо від модуля керування двигуном в період, коли клапан не задіяно, напруга знижується до 5 В, а маса відключається. У такому режимі струм не протікає через обмотку клапана, а контроль напруги дозволяє безперервно перевіряти цілісність електричного ланцюга клапана. При активації клапана модуль керування за допомогою сигналу ШІМ з амплітудою наближено 14В подає живлення на клапан та активує масу, у цей момент струм різко підвищується до 3,5 А (ділянка 1). Високий струм необхідний для подолання опору зворотної пружини клапана і його руху до повного закриття. Далі модуль керування двигуном на короткий проміжок часу відключає живлення клапана з метою зниження струму наближено до 0.5А. Цього струму достатньо для утримання клапана в закритому положенні. Ділянка 2 визначає час, протягом якого клапан залишається закритий і відбувається нагнітання палива в рампу.

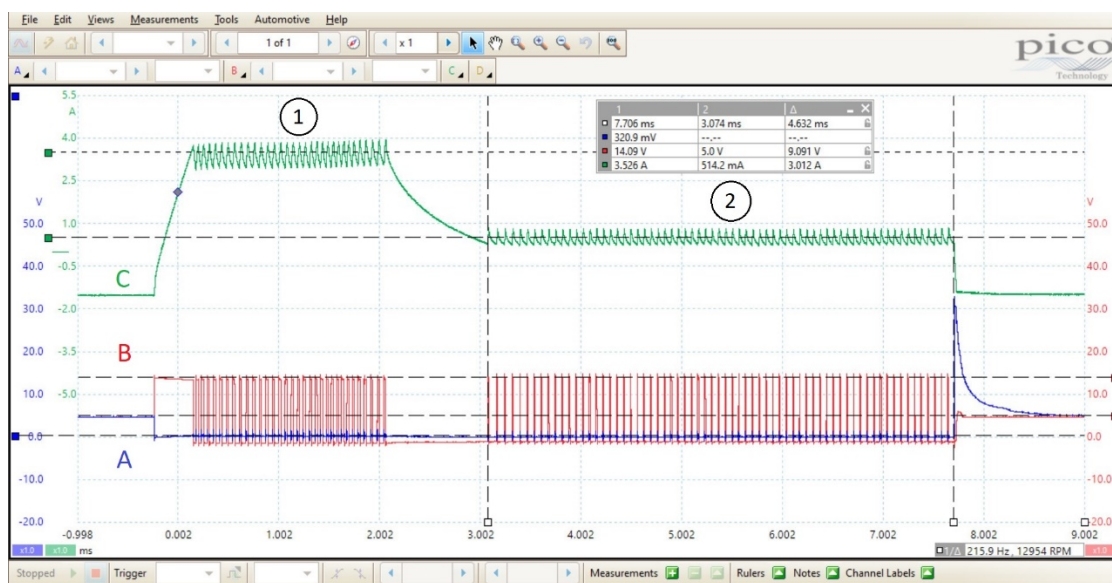


Рисунок 6 – Осцилограма клапана дозування палива

Figure 6 – Fuel dosing valve oscillogram

У справного клапана час активації на ділянці 1 має залишатися без змін не залежно від частоти обертання колінчастого вала та навантаження двигуна. Час утримання клапана закритим на ділянці 2 буде змінюватися зі зміною частоти обертання колінчастого вала та навантаження двигуна. Під час прискорення двигуна в режимі холостого ходу час утримання клапана на ділянці 2 буде зменшуватись, оскільки зі збільшенням частоти обертання колінчастого вала, а отже і розподільчого вала, буде підвищуватись кількість робочих циклів ПНВТ та, як наслідок, зростатиме кількість палива, що нагнітається в рампу. За відсутності навантаження не потрібен високий тис та значний об'єм палива для підтримання роботи двигуна, тому клапан довший час буде залишатися відкритим.

При сталій частоті обертанні колінчастого валу і зростанні навантаження час утримання клапана закритим буде збільшуватись пропорційно до навантаження з метою забезпечення двигуна достатньою кількістю палива і створення необхідного тиску. Струм активації та утримання клапана має залишатись без змін. Підвищений струм може свідчити про збільшений опір під час руху клапана в результаті зношення або забруднення.

Для перевірки електромагнітних форсунок бензинового двигуна використовується аналогічний підхід як і для електромагнітних форсунок дизеля. На рис.7 показано типову осцилограму форсунки паливної системи GDI при прискоренні двигуна в режимі холостого ходу. На осцилограмі зафіксовано зміну сили струму (1), що протікає через форсунку, напруги живлення (2) та маси (3). Осцилограма має схожу форму сигналу з електромагнітною форсункою дизеля: при активації форсунки напруга зростає до 65В для швидкого досягнення сили струму в 11А, що необхідна для повного відкриття форсунки. Далі напруга знижується і за допомогою сигналу ШІМ з амплітудою 12В утримується у відкритому положенні. Продуктивність форсунки визначається часом утримання в відкритому положенні між відрізками (4) і (5). Аналогічно дизелю час утримання всіх форсунок в відкритому положенні має бути наближено однаковим при сталому режимі роботи двигуна.

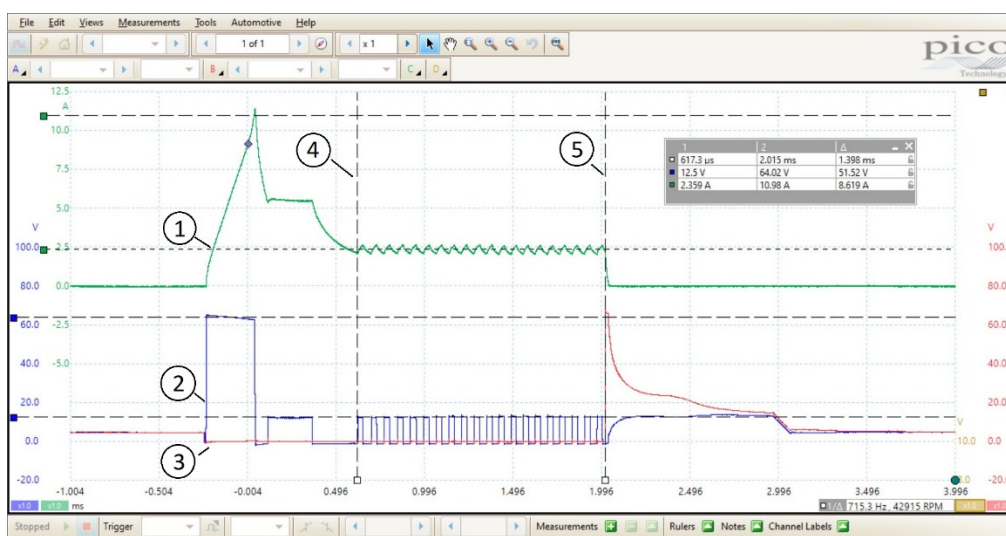


Рисунок 7 – Сигнал електромагнітної паливної форсунки бензинового двигуна  
Figure 7 – Signal of gasoline engine electromagnetic fuel injector

## Висновки.

Використання цифрового осцилографа дозволяє виконати швидко та ефективно перевірку паливної апаратури двигунів з безпосереднім впорскуванням бензину та дизельного палива. За результатами діагностики можна визначити продуктивність ПНВТ, перевірити робочі цикли клапанів і паливних форсунок та визначити наявність дефектів, також можливо перевірити герметичність паливної системи високого тиску в цілому.

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Осцилографи та методи вимірювання радіотехнічних величин: навчальний посібник / Ю.Я. Бобало, Л.А. Недоступ, М.Д. Кіселичник, О.В. Надобко. – Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2014. 88 с.
2. Сайт виробника цифрових осцилографів Pico Technology [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.picotech.com/>.
3. Сайт виробника цифрових осцилографів Autoscope [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://injectorservice.com.ua/>.
4. G. Stoakes. Automotive oscilloscope wave form analysis. 1st edition. – UK: Graham Stoakes, 2017. – 200p.
5. T. Denton. Advanced automotive fault diagnosis. 5th edition. – London: Routledge, 2021. – 396p.
6. Bosch automotive handbook. 11th edition. – Germany: Robert Bosch GmbH, 2022. – 2044p.



7. Корпач А.О. Використання цифрового осцилографа для перевірки технічного стану паливної апаратури дизеля / А.О. Корпач, О.О. Левківський // Перспективи розвитку автомобільного транспорту та інфраструктури: збірка тез доповідей Всеукраїнської науково-практичної конференції. – Київ: ДП «ДержавтотрансНДІпроект», 2023 – С. 255-258.

8. Корпач А.О. Методи дослідження ефективності роботи впускної системи сучасних двигунів з іскровим запалюванням / А.О. Корпач, О.О. Левківський // Наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету. – К.: НТУ, 2023, Вип. 79 – С. 44-45

9. Корпач А.О. Перевірка системи індивідуального запалювання за допомогою цифрового осцилографа / А.О. Корпач, О.О. Левківський О.А. Корпач // Матеріали XVI Міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні технології та перспективи розвитку автомобільного транспорту», 23-25 жовтня 2023 року: збірник наукових праць / Міністерство освіти і науки України, Вінницький національний технічний університет [та інш.]. – Вінниця: ВНТУ, 2023. – С. 182-184.

## REFERENCES

1. Bobalo Y.Y., Nedostup L.A., Kiselychuk M.D., Nadobko O.V. (2014) *Ostsylohrafy ta metody vymyruvannia radiotekhnichnykh velychyn: navchalnyi posibnyk [Oscilloscopes and methods of measuring radio engineering quantities: a study guide]*. Lviv: Vydavnytstvo Lvivskoi politekhniki [in Ukrainian].

2. Sait vyrobnyka tsyfrovyykh ostsylohrafiv Pico Technology [Website of the digital oscilloscopes manufacturer Pico Technology]. [www.picotech.com](http://www.picotech.com). Retrieved from <https://www.picotech.com/> [in United Kingdom].

3. Sait vyrobnyka tsyfrovyykh ostsylohrafiv Autoscope [Website of the digital oscilloscopes manufacturer Autoscope]. [injectorservice.com.ua](http://injectorservice.com.ua). Retrieved from <https://injectorservice.com.ua/> [in Ukrainian].

4. G. Stoakes (2017). *Automotive oscilloscope wave form analysis. 1st edition*. UK: Graham Stoakes [in United Kingdom].

5. T. Denton (2021). *Advanced automotive fault diagnosis. 5th edition*. London: Routledge [in United Kingdom].

6. Robert Bosch GmbH (2022). *Bosch automotive handbook. 11th edition*. Germany: Robert Bosch GmbH [in Germany].

7. Korpach A.O. & Levkivskiy O.O. (2023). Vykorystannia tsyfrovoho ostsylohrafa dlia perevirky tekhnichnoho stanu palyvnoi aparatury dyzelia [Using a digital oscilloscope to check the technical condition of diesel fuel equipment] *Perspektyvy rozvytku avtomobilnoho transportu ta infrastruktury: zbirka tez dopovidei Vseukrainskoi naukovo-praktychnoi konferentsii – Prospects for the development of road transport and infrastructure: collection of abstracts of the All-Ukrainian Scientific and Practical Conference*. (pp. 255-258.) – Kyiv: DP «DerzhavtотransNDIproekt» [in Ukrainian].

8. Korpach A.O. & Levkivskiy O.O. (2023) Metody doslidzhennia efektyvnosti roboty vpusknoi systemy suchasnykh dvyhunyv z iskrovym zapaliuvanniam [Methods for studying the efficiency of the intake system of modern spark ignition engines] *Naukova konferentsiia profesorsko-vykladatskoho skladu, aspirantiv, studentiv ta spivrobitnykiv vidokremlyenykh strukturykh pidrozdiliv univertsytetu – Scientific conference of the teaching staff, postgraduate students, students and employees of separate structural units of the university*. (pp. 44-45.) – Kyiv: NTU [in Ukrainian].

9. Korpach A.O., Levkivskiy O.O. & Korpach O.A. (2023) Perevirka systemy indyvidualnoho zapaliuvannia za dopomohoiu tsyfrovoho ostsylohrafa [Checking the individual ignition system with a digital oscilloscope] *Materialy XVI Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konfe-rentsii «Suchasni tekhnolohii ta perspektyvy rozvytku avtomobilnoho transportu», 23-25 zhovtnia 2023 roku: zbirnyk naukovykh prats – Proceedings of the XVI International Scientific and Practical Conference "Modern Technologies and Prospects for the Development of Automobile Transport", 23-25 October 2023: a collection of scientific papers*. (pp. 182-184.) – Vinnytsia: VNTU [in Ukrainian].

## РЕФЕРАТ

Корпач А.О. Діагностування технічного стану паливної системи сучасних двигунів з використанням цифрового осцилографа / А.О. Корпач, О.О. Левківський, О.А. Корпач, А. Паулюкас // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науковий, науково-виробничий журнал. – К.: НТУ, 2024. – Вип. 1 (58).

В статті розглянуто методику діагностування паливних систем сучасних двигунів з використанням цифрового осцилографа.

Об'єкт дослідження – система подачі палива двигунів внутрішнього згорання.

Мета роботи – виконати аналіз основних робочих параметрів електронних систем керування подачею палива сучасних автомобільних двигунів та визначити методи перевірки даних систем з використанням цифрового осцилографа. Описати типові дефекти паливної системи двигуна, що можуть бути виявлені за допомогою цифрового осцилографа.

Метод дослідження – практичний та аналітичний.

Розглянуто будову та принципу роботи паливних систем сучасних автомобільних двигунів. Встановлено, що на сьогоднішній день найбільшого розповсюдження набула паливна система дизеля типу Common Rail та паливна система Gasoline Direct Injection бензинових двигунів. Визначено ключові елементи обох паливних систем, що забезпечують подачу та дозування палива в циліндри двигуна. Розглянуто методику перевірки датчиків та виконавчих механізмів паливних систем за допомогою цифрового осцилографа. Описано рекомендоване обладнання та точки підключення вимірювального обладнання. Описано методику та результати перевірки паливної системи Common Rail та Gasoline Direct Injection. Розглянуто типові дефекти паливної системи двигунів, що можуть бути визначені за допомогою цифрового осцилографа. Встановлено, що цифровий осцилограф дозволяє швидко та ефективно перевірити паливну апаратури двигунів з безпосереднім впорскуванням бензину та дизельного палива. За результатами діагностики можна визначити продуктивність ПНВТ, перевірити робочі цикли клапанів і паливних форсунок та визначити наявність дефектів, також можливо перевірити герметичність паливної системи високого тиску в цілому.

Результати висвітлені в статті можуть бути використані для подальшої розробки методів діагностування електронних систем керування двигуном з використанням цифрового осцилографа.

**КЛЮЧОВІ СЛОВА:** ЦИФРОВИЙ ОСЦИЛОГРАФ, ДВИГУН, ПАЛИВНА СИСТЕМА, COMMON RAIL, GASOLINE DIRECT INJECTION.

#### **ABSTRACT**

Korpach A.O., Levkivskiy O.O., Korpach O.A, Pauliukas A. Modern engine fuel systems diagnostic using a digital oscilloscope. Visnyk National Transport University. Visnyk National Transport University. Series «Technical sciences». Scientific, scientific and industrial journal. – K.: NTU, 2024. – Issue 1 (58).

The article deals with the method of modern engines fuel systems diagnosing using a digital oscilloscope.

The object of the study – the fuel supply system of internal combustion engines.

The purpose of the study – analysis of the main operating parameters of modern automotive engines electronic fuel management systems and determination of the methods of it diagnostic using a digital oscilloscope. And to describe typical defects in the engine fuel system that can be detected using a digital oscilloscope.

Research method – practical and analytical.

The article considers the structure and operation of modern automobile engines fuel systems. It is established that the most widespread fuel systems today are the Common Rail diesel fuel system and the Gasoline Direct Injection fuel system for petrol engines. The key elements of both fuel systems, which ensure fuel supply and dosing into the engine cylinders, are identified. The methodology for testing sensors and actuators of fuel systems using a digital oscilloscope is considered. The recommended equipment and connection points for measuring equipment are described. The methodology and results of testing the Common Rail and Gasoline Direct Injection fuel systems are presented. Typical defects of engines fuel system that can be determined using a digital oscilloscope are considered. It has been established that a digital oscilloscope allows for a quick and efficient check of the fuel equipment of engines with direct injection of petrol and diesel fuel. Based on the diagnostic results, it is possible to determine the performance of the fuel injection system, check the operating cycles of valves and fuel injectors, determine the presence of defects, and also check the tightness of the high-pressure fuel system as a whole.

The results presented in the article can be used to further develop methods for diagnosing electronic engine control systems using a digital oscilloscope.

**KEYWORDS:** DIGITAL OSCILLOSCOPE, ENGINE, FUEL SYSTEM, COMMON RAIL, GASOLINE DIRECT INJECTION.

**АВТОРИ:**

Корпач Анатолій Олександрович, кандидат технічних наук, професор, Національний транспортний університет, професор кафедри двигунів і теплотехніки, e-mail: akorpach@ukr.net, тел. +380931203905, Україна, 01010, м. Київ, вул. Омеляновича-Павленка 1. к.303, orcid.org/0000-0002-7070-7883

Левківський Олександр Олександрович, кандидат технічних наук, інструктор з технічного навчання, Товариство з обмеженою відповідальністю «Віннер Імпорте Україна, ЛТД», e-mail: oleksandr.levkivskyi@gmail.com, тел. +380677976448, Україна, 03164, м. Київ, вул. Клавдіївська 40Б, orcid.org/0000-0002-2951-2312

Корпач Олексій Анатолійович, кандидат технічних наук, доцент, Національний транспортний університет, доцент кафедри автомобілів, e-mail: korpach1988@gmail.com, тел. +380442804252, Україна, 01010, м. Київ, вул. М. Омеляновича-Павленка 1. к.306, orcid.org/0000-0002-2496-4395.

Паулюкас Арвідас, доктор технічних наук, Університет Вітовта Великого, викладач кафедри машинобудування, енергетики та біотехнологій, e-mail: arvydas.pauliukas@vdu.l, тел. +370837752240, Литва, LT-44248, м. Каунас, вул К. Донелайчіо 58, orcid.org/0000-0002-9934-7033

**AUTHORS:**

Korpach Anatolii O., Ph.D., National Transport University, Professor Department of Engines and Heating Engineering, e-mail: akorpach@ukr.net, тел. +380931203905, Ukraine, 01010, Kyiv, Mykhaila Omelianovycha – Pavlenka Str., of. 303, orcid.org/0000-0002-7070-7883

Levkivskyi Oleksandr Oleksandrovich, Ph.D., Technical Trainer, Limited Liability Company «Winner Imports Ukraine, LTD», e-mail: oleksandr.levkivskyi@gmail.com, тел. +380677976448, Ukraine, 03164, Kyiv, Klavdiivska 40B, orcid.org/0000-0002-2951-2312

Korpach Oleksii A., Ph.D., Associate Professor, National Transport University, Associate Professor Department of Automobiles, e-mail: korpach1988@gmail.com, тел. +380442804252, Ukraine, 01010, Kyiv, Mykhaila Omelianovycha-Pavlenka Str. 1, of. 306, orcid.org/0000-0002-2496-4395.

Pauliukas Arvydas, Doctor of Technical Sciences, Vytautas Magnus University, lecturer department of mechanical, energy and biotechnology engineering, e-mail: arvydas.pauliukas@vdu.l, Lithuania, LT-44248, Kaunas, K. Donelaičio str. 58, orcid.org/0000-0002-9934-7033

**РЕЦЕНЗЕНТИ:**

Кравченко О.П., доктор технічних наук, професор, Жилінський університет, Жиліна, Словаччина.

Сахно В.П., доктор технічних наук, професор, Національний транспортний університет, завідувач кафедри автомобілів, Київ, Україна.

**REVIEWER:**

Kravchenko O.P., Doctor of Technical Sciences, Professor, University of Zilina, Zilina, Slovak Republic.

Sakhno V.P., Doctor of Technical Sciences, Professor, National Transport University, Head of Department of Automobiles, Kyiv, Ukraine.