

УДК 621.434.038:004.383.3

**БЛОК КЕРУВАННЯ СТЕНДОМ ДЛЯ ПРОМИВКИ
ТА ТЕСТУВАННЯ ПАЛИВНИХ ФОРСУНОК
БЕНЗИНОВОГО ДВИГУНА НА БАЗІ МІКРОКОНТРОЛЕРА ESP32**

Орда В. Р.

e-mail: vladyslav.orda1@nure.ua

Науковий керівник – к.т.н., проф. Зубков О.В.

Харківський національний університет радіоелектроніки, каф. МЕЕПП
м. Харків, Україна

The paper considers the development of a test bench for cleaning and testing gasoline fuel injectors based on the ESP32 microcontroller. The hardware structure of the system is described, including MOSFET switches for injector control, a TFT display for parameter visualization, and rotary encoders for adjusting frequency, pulse duration, and engine speed. The main operating modes are analyzed: engine simulation, continuous mode, static mode, step test, soft and intensive cleaning, burst mode, and frequency sweep mode. Particular attention is paid to the algorithm for automatic frequency calculation and the nonlinear dependence of pulse duration on engine speed and load. Prospects for expanding the functionality by adding additional diagnostic features are identified.

Сучасні бензинові двигуни оснащуються системами електронного впорскування палива, чутливими до стану паливних форсунок. Забруднення або некоректна робота інжекторів призводить до підвищеної витрати палива, зниження потужності двигуна та збільшення викидів шкідливих речовин [1]. Існуючі стенди для очищення та перевірки форсунок часто мають обмежений набір режимів роботи, недостатню гнучкість налаштувань або високу вартість. Крім того, у багатьох пристроях відсутня можливість реалістичної імітації роботи двигуна в широкому діапазоні обертів [2].

Метою роботи є розробка універсального стенда промивання та тестування бензинових паливних форсунок з розширеним набором режимів роботи, можливістю моделювання роботи двигуна до 7000 об/хв та зручним користувацьким інтерфейсом на базі мікроконтролера ESP32.

Стенд промивання паливних форсунок бензинових двигунів призначений для очищення, перевірки та імітації роботи інжекторів у різних режимах. Основою системи є мікроконтролер ESP32, який керує чотирма форсунками через MOSFET-ключі. Кожна форсунка підключена до окремого транзистора із захисним діодом та керується імпульсами заданої частоти й тривалості. Живлення форсунок здійснюється від джерела 12 В із загальною «землею» з мікроконтролером [3].

Керування стендом реалізовано за допомогою двох інкрементальних енкодерів типу EC11 або KY-040 з кнопкою. Перший енкодер використо-

ується для зміни обертів двигуна (RPM) або частоти імпульсів, другий – для регулювання навантаження або тривалості імпульсу. Додаткова кнопка дозволяє вибирати кількість активних форсунок (від 1 до 4), причому цей параметр є спільним для всіх режимів роботи. Відображення інформації здійснюється на TFT-дисплеї ILI9341, підключеному через інтерфейс SPI.

Програмне забезпечення містить вісім режимів роботи: ENGINE_SIM (імітація двигуна), CONTINUOUS (безперервний режим), STATIC (повністю відкрита форсунка), STEP_TEST (ступінчаста зміна частоти), CLEAN_SOFT (м'яка промивка), CLEAN_HARD (інтенсивна промивка), BURST (ударні імпульси) та SWEEP (плавна зміна частоти). У режимі ENGINE_SIM частота імпульсів автоматично розраховується як RPM/120, а тривалість імпульсу змінюється за нелінійною залежністю від обертів і навантаження, що дозволяє наблизити роботу стенда до реальних умов експлуатації двигуна. Крок зміни обертів становить 50 RPM у діапазоні до 7000 RPM.

Система використовує апаратний таймер ESP32 для точного формування імпульсів, що забезпечує стабільність роботи на високих частотах. Інтерфейс меню є циклічним: перемикання режимів здійснюється кнопкою, а запуск і зупинка роботи – окремою клавішею.

Висновки. Розроблений стенд поєднує апаратну простоту та програмну гнучкість. Він дозволяє проводити діагностику, тестування й очищення форсунок у різних режимах, моделювати роботу двигуна до 7000 об/хв та забезпечує зручне керування завдяки дисплею та енкадерам. Запропоноване рішення розширює функціональні можливості порівняно з базовими аналогами та може бути використане для навчальних і сервісних цілей.

Список використаних джерел:

1. Bosch Automotive Handbook. 10th ed. Stuttgart: Bosch GmbH, 2018. 2048p.
2. Heywood J. B. Internal Combustion Engine Fundamentals. 2nd ed. New York : McGraw-Hill, 2018. 481 p.
3. Halim M. S. N. A., Selamat H., Alimin A. J., Muslim M. T. Development of an Experimental Test Bench for an Electronically Control Fuel Injection System // ELEKTRIKA – Journal of Electrical Engineering. 2017. Vol. 16, No 3. P. 30–35. DOI: <https://doi.org/10.11113/elektrika.v16n3.43>
4. ESP32 Technical Reference Manual. [Електронний ресурс]. Espressif Systems. URL: https://documentation.espressif.com/esp32_technical_reference_manual_en.pdf (дата звернення: 05.03.2026).
5. KY-040 Rotary Encoder Module Datasheet. [Електронний ресурс]. URL: <https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/1648739/JOY-IT/KY-040.html> (дата звернення: 05.03.2026).
6. Johnson D., Roth G. et al. Development of Electrical-Electronic Controls for a Gasoline Direct Injection Compression Ignition Engine // SAE Technical Paper 2016-01-0614. 2016. DOI: <https://doi.org/10.4271/2016-01-0614>.