

УДК 629.113

Віктор Васильович СЛАВІН,
*кандидат технічних наук, старший викладач кафедри теорії
та методики трудового і професійного навчання
Хмельницького національного університету*

Андрій Веніамінович ГУНЬКО,
*кандидат технічних наук, доцент кафедри інженерного
та технічного забезпечення охорони державного кордону
Національної академії Державної прикордонної служби України
імені Богдана Хмельницького, м. Хмельницький*

Сергій Борисович ГОЛОВНЯ,
*кандидат технічних наук, доцент кафедри інженерного
та технічного забезпечення охорони державного кордону
Національної академії Державної прикордонної служби України
імені Богдана Хмельницького, м. Хмельницький*

ВПЛИВ КУТА ВИПЕРЕДЖЕННЯ ЗАПАЛЮВАННЯ НА ПОКАЗНИКИ РОБОТИ ДВИГУНА, ОБЛАДНАНОГО СУЧАСНОЮ СИСТЕМОЮ ВПОРСКУВАННЯ БЕНЗИНУ

Одним з експлуатаційних факторів, який впливає на робочий процес згоряння в двигунах з іскровим запалюванням, є кут випередження запалювання θ (град). При обладнанні карбюраторних

© Славін В. В., Гунько А. В., Головня С. Б.

двигунів в умовах експлуатації сучасною електронною системою впорскування бензину, в якій кути випередження запалювання призначені для базового двигуна і змінюються статичною електронною системою запалювання, необхідно визначити оптимальні θ , призначені для двигуна іншої конструкції.

Ключові слова: показники роботи двигуна, кут випередження запалювання, система впорскування бензину, карбюраторна система живлення.

Постановка проблеми у загальному вигляді. При доводці двигунів внутрішнього згорання на ефективну роботу за його основними показниками визначають регульовальні характеристики. Вони зображують залежності енергетичних N_e (кВт), паливо-економічних $G_{нал}$ (кг/год), g_e (г/кВт-год) та інших показників роботи двигуна від того чи іншого регульовального параметра, оптимальне значення якого потрібно встановити.

Одним з експлуатаційних факторів, який впливає на процес згорання в двигунах з іскровим запалюванням, є кут випередження запалювання θ (град). Щоб установити оптимальне значення θ_{opt} , визначають регульовальну характеристику за кутом випередження запалювання в широкому діапазоні швидкісного і навантажувального режимів. Причому цю характеристику визначають за постійної частоти обертання та постійного положення дросельної заслінки, спочатку за пізнього кута випередження запалювання ($\theta = 10$ град), потрохи збільшуючи його до тих пір, поки не з'являться ознаки порушення роботи двигуна з детонаційним згоранням.

Процес керованої зміни кута випередження запалювання у карбюраторному двигуні відбувається обертанням корпусу переривника-розподільника, а в двигуні з електронною системою запалювання – завдяки діагностичним програмам автовиробника, через під'єднання K-Line адаптера до рознімання OBD-II блока керування.

При обладнанні карбюраторних двигунів в умовах експлуатації сучасною електронною системою впорскування бензину, в якій кут випередження запалювання змінюється електронною системою за-

палювання за тривимірними таблицями програми керування двигуном, необхідно визначити оптимальні θ , які найчастіше збігаються зі значеннями кутів випередження запалювання, установленими для двигуна з карбюраторною системою.

Аналіз останніх досліджень і публікацій, в яких започатковано вирішення даної проблеми та на які опираються автори. Однак оптимальний кут випередження запалювання визначається для кожного типу двигуна на гальмівному випробувальному стенді, і відомо, що при пізньому і ранньому куті випередження запалювання площа індикаторної діаграми, а отже, індикаторна робота будуть меншими, ніж при оптимальному куті випередження запалювання.

Існують випадки, коли відхилення моменту подачі іскри від оптимального в деяких режимах можуть значно погіршити всі показники роботи двигуна, що може повністю зупинити процес згоряння [1].

Зміну кута випередження запалювання виконують до моменту отримання на даному режимі максимального крутного моменту M_k (Н·м) або максимальної потужності. При надто ранньому куті випередження запалювання своєчасність тепловиділення поліпшується, але тиск різко збільшується і навіть може досягнути максимального значення до завершення ходу стискання. Унаслідок цього зростає негативна робота наприкінці стискання, знижується потужність і погіршується паливна економічність двигуна. Крім того, значно зростають тиск і температура в циліндрі, що сприяє виникненню детонаційного згоряння. При надто пізньому куті випередження запалювання значна частина тепловиділення відбувається під час розширення, коли поршень переміщується далеко від ВМТ. Максимальний тиск і робота розширення знижуються, потужність падає, а температура газів наприкінці розширення підвищується, і двигун перегрівається. Погіршується паливна економічність двигуна [2].

Наприклад, відхилення кута випередження запалювання на 12 град у бік зменшення від номінального значення (пізно запалювання) призводить до збільшення витрати палива на постійних режимах роботи на 12...25 %, а в реальних умовах експлуатації – на 6...7 %. Від-

хилення кута випередження запалювання в бік збільшення (раннє запалювання) погіршує паливну економічність на сталих режимах до 5...10 %, а в реальних умовах експлуатації – до 4...5 % [3]. І тільки за певного значення кута випередження запалювання матиме місце максимальна ефективна потужність N_e , а отже, і мінімальна питома витрата палива g_e . За ними і визначають оптимальний кут випередження запалювання θ_{opt} для заданого швидкісного і навантажувального режимів. Таким чином, за серією характеристик для різних швидкісних і навантажувальних режимів набирають масив даних для налаштування та перевірки правильності функціонування пристроїв для автоматичного регулювання кута випередження запалювання (відцентрового, вакуумного регуляторів та формування таблиць електронного запалювання).

У лабораторії випробовування двигунів Національного транспортного університету проводяться заходи, які спрямовані для зменшення забруднення навколишнього середовища токсичними речовинами відпрацьованих газів і споживання палив нафтового походження колісними транспортними засобами. З-поміж них перспективним є використання сучасних електронних систем впорскування бензину і нейтралізації відпрацьованих газів на легкових автомобілях, що знаходяться в експлуатації, з карбюраторними двигунами.

Для порівняльних досліджень використовується розповсюджений карбюраторний двигун 4Ч7,6/6,6, який обладнаний сучасною електронною розподіленою системою впорскування бензину зі зворотним зв'язком типу "LH-Motronic". Результати стендових досліджень двигуна 4Ч7,6/6,6 з різними системами живлення подані в роботах [3; 4].

Підвищення вимог до показників роботи двигуна з іскровим запалюванням посприяло розвитку електронного напівпровідникового запалювання без механічного розподільника. Електронна система не містить елементів, які можуть зазнати спрацювання. Особливістю системи впорскування "LH-Motronic", яка вперше пропонується автовласникам для встановлення на легкові автомобілі з карбюраторними двигунами, є комплектування її статичною,

електронною системою запалювання. Під час роботи двигуна з цією системою запалювання вибір оптимального значення кута випередження запалювання здійснюється за спеціальними тривимірними таблицями, які складають програму керування двигуном залежно від швидкісного та навантажувального режимів роботи двигуна (наприклад, циклове наповнення повітрям циліндрів, г/цикл).

Проте, як було зазначено, кути випередження запалювання підбираються під конкретний тип та конструкцію двигуна під час проведення стендових досліджень. Підібрати їх під конкретний двигун в умовах експлуатації складно, оскільки це потребує спеціального програмного обладнання і проведення тривалих за часом стендових досліджень.

Під час обробки експериментальних даних двигуна 4Ч7,6/6,6 з різними системами живлення виявилось, що кути випередження запалювання двигуна з системою впорскування не збігаються з кутами карбюраторної системи, оскільки вони призначені для базового двигуна з системою впорскування бензину. З результатів досліджень у швидкісних та навантажувальних режимах роботи двигуна 4Ч7,6/6,6 з різними системами живлення за значеннями кутів випередження запалювання двигуна з карбюраторною системою визначалися значення нових кутів випередження запалювання для двигуна, обладнаного в умовах експлуатації сучасною електронною системою впорскування.

Отже, **метою статті** є визначення впливу базових і нових кутів випередження запалювання на показники роботи двигуна з карбюратором та обладнаного сучасною системою впорскування бензину.

Виклад основного матеріалу дослідження. Результат зміни кутів випередження запалювання в системі впорскування видно на характеристиці активного холостого ходу двигуна 4Ч7,6/6,6 (рис. 1).

З характеристики активного холостого ходу видно, що робота двигуна ефективніша за системи впорскування з новими кутами випередження запалювання. Годинна витрата палива $G_{нал}$ при роботі з системою впорскування зменшилась у середньому за характеристикою на 11 %. Отже, це підтверджує той факт, що зі зростанням швидкісного режиму необхідно підвищувати значення кута запалювання, оскільки

він залежить від довготривалості першої і другої фаз згоряння. Проте заводські кути випередження запалювання, які рекомендовані для базового двигуна з системою впорскування, призводять до підвищеної годинної витрати палива, у порівнянні з карбюраторною системою. При цьому інші показники роботи двигуна, серед яких коефіцієнт надлишку повітря, незначно відрізняються від нових кутів запалювання. Дослідження показали, що зміна значення кута випередження запалювання впливає на витрату палива у швидкісних режимах холостого ходу, які часто використовуються при русі містом. Кут випередження запалювання може впливати на потужність і токсичність відпрацьованих газів бензинового двигуна [5]. Для перевірки впливу кутів запалювання на екологічні показники двигуна 4Ч7,6/6,6 з різними системами живлення визначена характеристика активного холостого ходу (рис. 2).

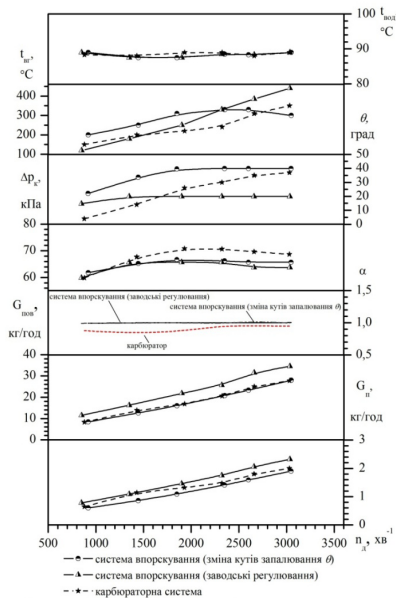


Рис. 1. Залежність паливо-економічних показників двигуна 4Ч7,6/6,6 в режимах активного холостого ходу з різним типом системи живлення

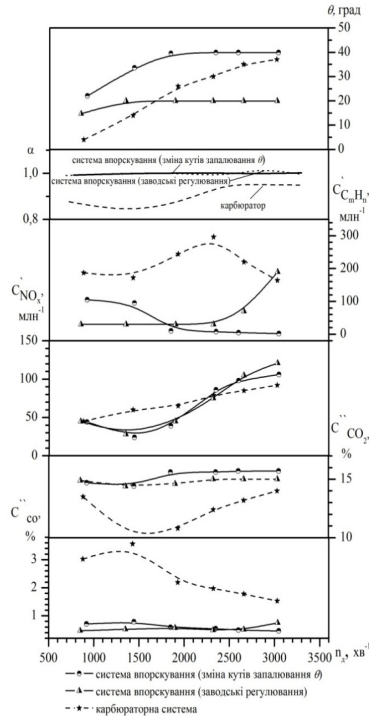


Рис. 2. Залежність екологічних показників двигуна 4Ч7,6/6,6 в режимах активного холостого ходу з різними системами живлення

З рис. 2 видно, що система впорскування забезпечує значно нижчі концентрації шкідливих речовин відпрацьованих газів за рахунок підтримання зворотного зв'язку по λ -датчику, що сприяє ефективній роботі трикомпонентного каталітичного нейтралізатора.

Зміна базових кутів випередження запалювання на нові не позначилася на концентраціях більшості шкідливих речовин у режимах характеристики холостого ходу. Зміна кутів випередження запалювання двигуна з системою впорскування позначилася лише на концентраціях вуглеводнів $C_m H_n$ (млн⁻¹). При $n = 3200$ хв⁻¹ відбувається повна нейтралізація цієї шкідливої речовини з новими ку-

тами випередження запалювання для двигуна з системою впорскування. Відсутність таких умов при роботі двигуна з карбюраторною системою пояснюється значенням коефіцієнта надміру повітря, який впливає на ефективність трикомпонентного нейтралізатора.

В умовах експлуатації автомобілів в основному переважають навантажувальні режими роботи двигуна, тривалість яких залежить від багатьох факторів. Наприклад, тривалість усталеного руху автомобіля замиськими автодорогами більша, ніж при русі містом, в якому основне місце посідають режими уповільнення, розгону та холостого ходу (за дослідженнями, близько 16...18 %). Тому доцільним є визначення впливу типу системи живлення на показники роботи двигуна в навантажувальних режимах.

На рис. 3 показані навантажувальні характеристики паливо-економічних показників двигуна 4Ч7,6/6,6 з карбюраторною системою та системою впорскування. З характеристик видно, що застосування системи впорскування з новими кутами запалювання, у порівнянні з базовими, посприяло покращенню паливної економічності. Зниження питомої витрати палива в середньому за навантажувальною характеристикою складає 5 %. Підвищились енергетичні показники двигуна, при повному навантаженні потужність двигуна з системою впорскування із базовими кутами запалювання, у порівнянні з карбюраторною системою, зросла на 6,6 %.

Різниця потужності двигуна з системою впорскування бензину при повністю відкритому дроселі з базовими та новими кутами запалювання складає близько 1 % (точність вимірювального стенда $\pm 0,5$ %).

Зменшення кутів випередження запалювання при зростанні навантаження двигуна пояснюється зниженням впливу ефекту дроселювання на процес згоряння в циліндрах двигуна, що вимагає подати іскровий розряд раніше для забезпечення ефективного згоряння, а отже, при зниженні навантаження двигуна кут випередження необхідно збільшувати.

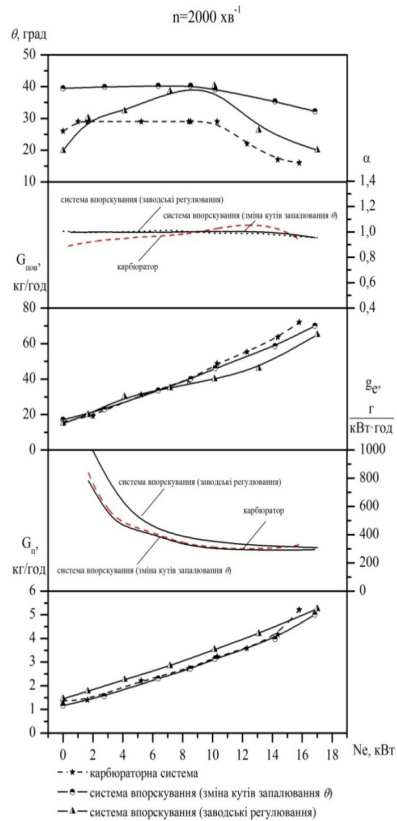


Рис. 3. Залежність паливо-економічних показників двигуна 4C7,6/6,6 у навантажувальних режимах з різними системами живлення

Як і очікувалось, застосування нових кутів випередження запалювання на двигуні, обладнаному сучасною системою впорскування бензину, не позначилося на концентраціях шкідливих речовин у відпрацьованих газах в навантажувальних режимах при $n = 2000 \text{ хв}^{-1}$ (рис. 4).

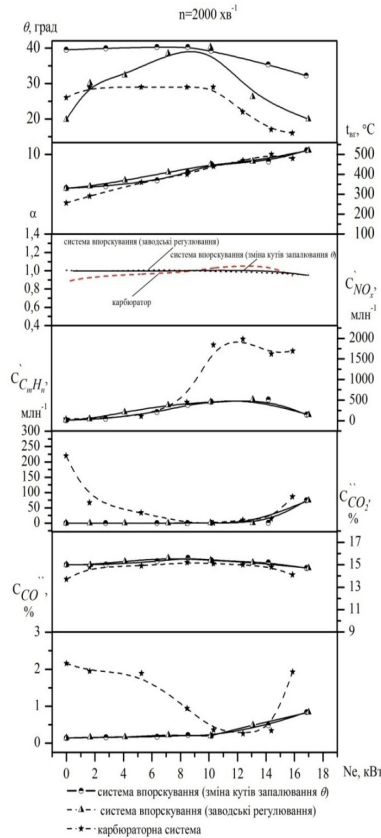


Рис. 4. Залежність екологічних показників двигуна 4Ч7,6/6,6 у навантажувальних режимах з різними системами живлення

Досліджувана електронна система розподіленого впорскування бензину покращує показники роботи двигуна, у порівнянні з карбюраторною системою, не тільки через залежність зміни значення кутів випередження запалювання, це стосується точності розрахунку і рівномірного розподілення паливовітряної суміші по циліндрах двигуна. Використання зворотного зв'язку за сигналами λ -датчика забезпечує підтримання в експлуатаційних режимах

роботи двигуна постійного стехіометричного складу паливоповітряної суміші, необхідного для ефективної нейтралізації трикомпонентним каталізатором основних шкідливих речовин відпрацьованих газів. У цілому система впорскування завдяки параметрам і чіткому алгоритму керування двигуном забезпечує підтримання екологічних норм, які закладені при її розробці.

Висновки. Експериментальні дослідження двигуна з різними системами живлення показали, що зміна базових кутів випередження запалювання в програмі керування двигуном з системою впорскування бензину посприяла зниженню витрати палива за характеристикою холостого ходу на 11 %, питома витрата палива в середньому за навантажувальною ($n = 2000 \text{ хв}^{-1}$) характеристикою зменшилась на 5 %. Потужність двигуна з системою впорскування бензину при повному навантаженні зросла на 6,6 %.

Використання системи впорскування на експлуатованих двигунах з карбюраторною системою забезпечує ефективну нейтралізацію основних шкідливих речовин відпрацьованих газів у межах норм, визначених в ДСТУ 4277:2004 для двигунів з трикомпонентними каталітичними нейтралізаторами. При цьому зміна базових кутів запалювання двигуна з системою впорскування істотно не позначилася на екологічних показниках.

Перспективи подальших розвідок у даному напрямі полягають у покращенні показників роботи двигуна з системою впорскування шляхом підбору оптимальних параметрів керування впорскуванням бензину в умовах експлуатації.

Список використаної літератури

1. Андрусенко П. И. Характеристики автомобильных и тракторных двигателей / П. И. Андрусенко, О. Н. Бурцев, Ю. Ф. Гутаревич. – К. : Вища школа, 1978. – 128 с.
2. Абрамчук Ф. І. Автомобільні двигуни : підруч. для студентів спец. "Автомобілі та автомобільне господарство" вищ. навч. закладів / Ю. Ф. Гутаревич, К. Є. Долганов. – К. : Арістей, 2004. – 438 с.: іл. – Бібліогр. : с. 432.

3. Ерохов В. И. Экономичная эксплуатация автомобиля / В. И. Ерохов. – М. : ДОСААФ, 1986. – 128 с.

4. Гутаревич Ю. Ф. Поліпшення показників легкових автомобілів з карбюраторними двигунами в умовах експлуатації / Ю. Ф. Гутаревич, В. В. Славін // Вісник СевНТУ. – 2013. – № 142. – С. 36–40.

5. Славін В. В. Паливна економічність колісних транспортних засобів з різними системами живлення в умовах експлуатації / В. В. Славін // Збірник наукових праць ДонІЗТ. – 2013. – № 34. – С. 95–99.

6. Системы впрыска BOSCH. Принцип действия, тестирование, обслуживание, модернизация. – М. : РИП “Петит”, 2009. – 200 с.

Рецензент – доктор технічних наук, доцент Лисий М. І.

Стаття надійшла до редакції 26.11.2014.

Славин В. В., Гунько А. В., Головня С. Б. Влияние угла опережения зажигания на показания работы двигателя, оборудованного современной системой впрыска бензина

Одним из эксплуатационных факторов, влияющих на рабочий процесс сгорания в двигателях с искровым зажиганием, является угол опережения зажигания θ (град). При оборудовании карбюраторных двигателей в условиях эксплуатации современной электронной системой впрыска бензина, в которой углы опережения зажигания предназначены для базового двигателя и изменяются статической электронной системой зажигания, необходимо определить оптимальные θ , предназначенные для двигателя другой конструкции.

Ключевые слова: показатели работы двигателя, угол опережения зажигания, система впрыска бензина, карбюраторная система питания.

Slavin V., Gunko A., Holovnia S. Influence of ignition timing on the performance of the engine is equipped with modern system of fuel injection

One of the operational factors that affect the working process of combustion in spark-ignition engines is the ignition angle θ (deg). The opti-

imum ignition timing is determined for each type of engine on the brake test stand, and it is known that the deviation angle from the optimum ignition timing leads to a shift of the indicator diagram relative to the upper dead point and increasing the heat losses. In laboratory tests the engines of the National Transport University carries out activities designed to reduce environmental pollution by toxic substances of exhaust gases and fuel consumption of petroleum origin wheeled vehicles. Between them, promising is the use of modern electronic system of fuel injection and exhaust after treatment on cars in service with petrol engines. For comparative studies using common carburetor engine 4F7,6/6,6, which is equipped with modern electronic system of fuel injection distributed feedback type LH-Motronic. Process the results of research in high-speed and load conditions of the engine 4F7,6/6,6 with different power systems from the values of angles ignition timing of the engine with carburetor system determines the value of new angles ignition engine equipped in conditions of modern electronic fuel injection. Conducting research performance engine 4F7,6/6,6 with different power systems and new angles ignition speed and load conditions.

Experimental research engine with various system of feed have shown that changing the base ignition timing angles in the program control engine fuel injection system contributed to decrease in of fuel consumption on characteristics of idling by 11%, the specific fuel consumption average and loading ($n = 2000 \text{ min}^{-1}$) characterization of the injection system decreased by 5 %. Engine power of the fuel injection system at full load increased by 6,6 %.

Keywords: *indicators of work the engine, angles of ignition timing, system of injection of petrol, carburetor system.*