

УДК 629.113

Ігор Вікторович ДАБІЧЕВ,
старший викладач кафедри транспортних засобів та спеціальної
техніки Національної академії Державної прикордонної служби
України імені Богдана Хмельницького, м. Хмельницький

ЗАЛЕЖНІСТЬ ВИТРАТИ ПАЛИВА ВІД ВСТАНОВЛЕННЯ КУТА ВИПЕРЕДЖЕННЯ ЗАПАЛЮВАННЯ У ДВИГУНІ ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРАННЯ

Одним із експлуатаційних факторів, який впливає на робочий процес згоряння в двигунах з іскровим запалюванням є кут випередження запалювання θ (град). При обладнанні карбюраторних 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 , призначенні 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 згоряння на ефективну роботу за його основними показниками визначають регульовальні характеристики. Вони зображують залежності енергетичних N_e (кВт), паливо-

економічних $G_{\text{пал}}$ (кг/год), g_e (г/кВт·год) та інших показників роботи двигуна від того чи іншого регульовального параметра, оптимальне значення якого потрібно встановити.

Одним із експлуатаційних факторів, який впливає на процес згоряння в двигунах з іскровим запалюванням є кут випередження запалювання θ (град). Щоб встановити оптимальне значення $\theta_{\text{опт}}$ 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 роз'єму OBD-II блока керування.

При обладнанні карбюраторних двигунів в умовах експлуатації сучасною електронною системою впорскування бензину, в якій кут випередження запалювання змінюється електронною системою запалювання за тривимірними таблицями програми керування двигуном, необхідно визначити оптимальні θ , які найчастіше співпадають із значеннями кутів випередження запалювання, встановлені для двигуна з карбюраторною системою.

Аналіз останніх досліджень і публікацій, в яких започатковано вирішення даної проблеми та на які опирається автор. 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 усі

показники роботи двигуна, що може повністю зупинити процес згорання [1].

Зміна 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. Внаслідок цього зростає негативна робота в кінці стискання, знижується потужність і погіршується паливна економічність двигуна. Крім того, значно зростають тиск і температура в циліндрі, що сприяє виникненню детонаційного згорання. При надто пізньому куті випередження запалювання значна частина тепловиділення відбувається під час розширення, коли поршень переміщується далеко від В.М.Т. Максимальний тиск і робота розширення знижуються, потужність падає, а температура газів в кінці розширення підвищується і двигун перегрівается. Погіршується паливна економічність двигуна [2].

Наприклад відхилення кута випередження запалювання на 12 град в бік зменшення від номінального значення (пізні запалювання) призводить до збільшення витрати палива на постійних режимах роботи на 12...25%, а в реальних умовах експлуатації на 6...7%. Відхилення кута випередження запалювання в бік збільшення (ранні 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 зворотнім зв'язком типу "LN-Motronic". Результати стендових досліджень двигуна 4Ч7,6/6,6 з різними системами живлення представлені в роботах [3, 4].

Підвищення вимог до показників роботи двигуна з іскровим запалюванням сприяло розвитку електронного напівпровідникового запалювання без механічного розподільника. Електронна система не містить елементів, які можуть зазнати спрацювання. Особливістю системи впорскування "LN-Motronic", яка вперше пропонується автовласникам встановлювати на легкові автомобілі з карбюраторними двигунами в умовах експлуатації 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 в залежності 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, так як це потребує спеціального програмного обладнання і проведенню тривалих за часом стендових досліджень.

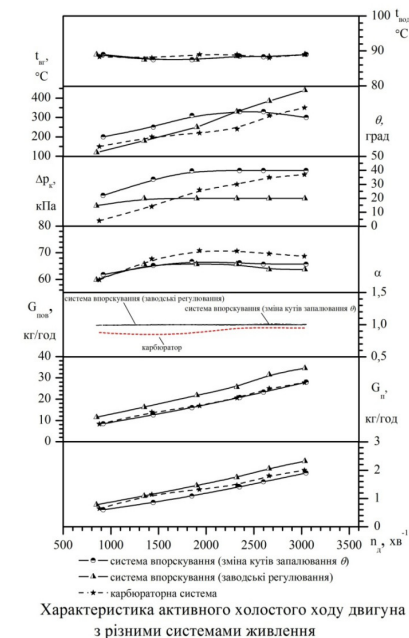
Під час обробки експериментальних даних двигуна 4Ч7,6/6,6 з різними системами живлення виявилось, що кути випередження запалювання двигуна з системою впорскування не співпадають з кутами карбюраторної системи так як вони призначені для базового двигуна з системою впорскування бензину. Виконуючи обробку 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 та 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 $G_{\text{пал}}$ при роботі з системою впорскування зменшилась в середньому по характеристиці на 11 %. Отже, це підтверджує той факт, що зі зростанням швидкісного режиму необхідно підвищувати значення кута запалювання, так як 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 при порівнянні з карбюраторною системою. При цьому інші показники роботи двигуна, серед яких коефіцієнт надміру повітря, незначно відрізняються за нових кутів запалювання. Дослідження показали, що зміна значення кута випередження запалювання впливає на витрату палива в швидкісних режимах холостого ходу, які часто використовуються при русі містом. Згідно [5] кут випередження запалювання може впливати на потужність і

токсичність відпрацьованих газів бензинового двигуна. Для перевірки впливу кутів запалювання на екологічні показники двигуна 4Ч7,6/6,6 з різними системами живлення визначена характеристика активного холостого ходу (рис. 2).



Характеристика активного холостого ходу двигуна з різними системами живлення

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

З рис. 2 видно, що система впорскування забезпечує значно нижчі концентрації шкідливих речовин відпрацьованих газів за рахунок підтримання зворотнього 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 в 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 кутами випередження запалювання для двигуна з системою впорскування. Відсутність таких умов при роботі двигуна з карбюраторною системою пояснюється значенням коефіцієнтом надміру повітря, який впливає на ефективність трикомпонентного нейтралізатора.

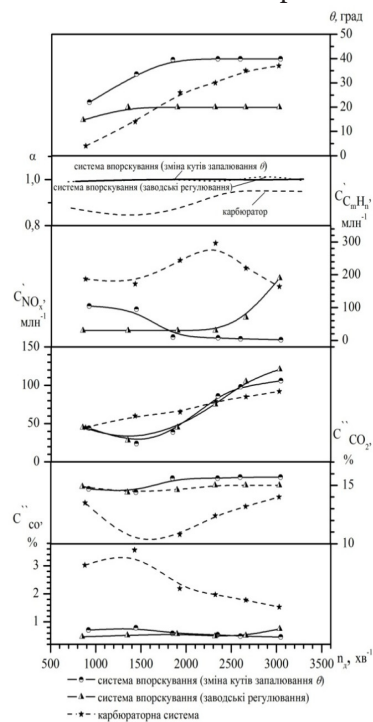


Рис. 2. Залежність екологічних показників двигуна 4C7,6/6,6

в режимах активного холостого ходу з різними системами живлення

В умовах експлуатації автомобілів в основному переважають навантажувальні режими роботи двигуна, тривалість яких залежить від багатьох факторів. Наприклад тривалість усталеного руху при русі автомобіля замськихми 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 4C7,6/6,6 з карбюраторною системою та системою впорскування. З характеристик видно, що застосування системи впорскування з новими кутами запалювання в порівнянні з базовими посприяло покращенню паливної економічності. Зниження питомої витрати палива в середньому по навантажувальній характеристиці складає 5%. Підвищились енергетичні показники двигуна, при повному навантаженні потужність двигуна з системою впорскування із базовими кутами запалювання в порівнянні з карбюраторною системою зростає 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 стенду $\pm 0,5$ %).

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

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 $n=2000$ хв⁻¹ (рис. 4).

Досліджувана електронна система розподіленого впорскування бензину покращує показники роботи двигуна в порівнянні з карбюраторною системою не тільки через залежність зміни значення кутів випередження запалювання, сюди також відносяться точність розрахунку і рівномірне розподілення паливоповітряної суміші по циліндрах двигуна. Використання зворотнього 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. В цілому система впорскування завдяки параметрам і чіткому алгоритму керування двигуном забезпечує підтримання екологічних норм, які закладені при її розробці.

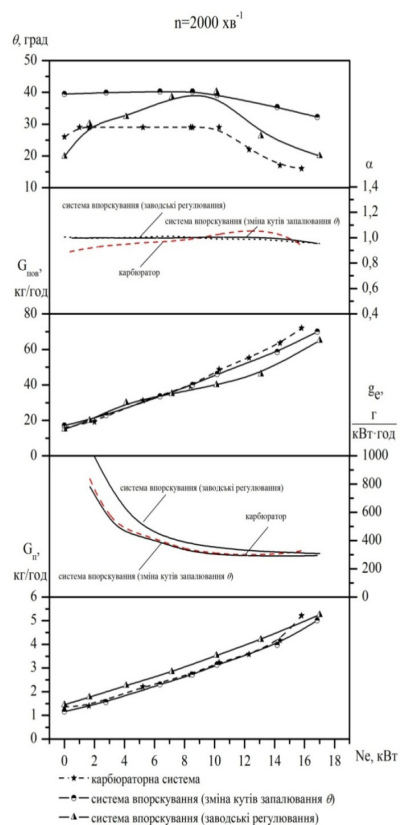


Рис. 3. Залежність паливо-економічних показників двигуна 4C7,6/6,6 в навантажувальних режимах з різними системами живлення

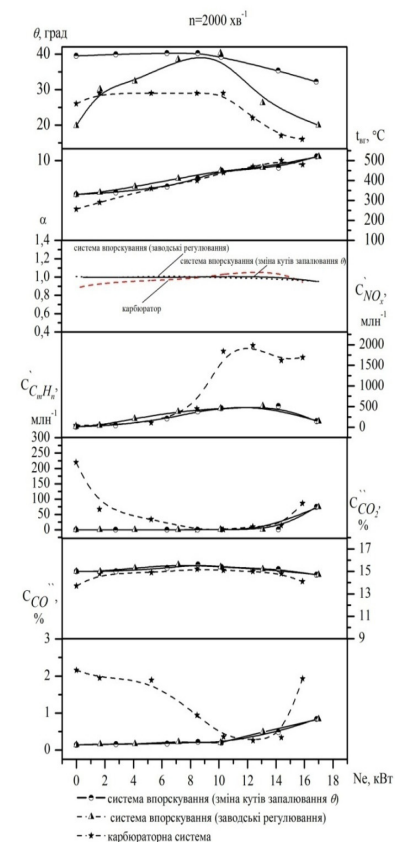


Рис. 4. Залежність екологічних показників двигуна 4C7,6/6,6 в навантажувальних режимах з різними системами живлення

Висновки. Експериментальні дослідження двигуна з різними системами живлення показали, що зміна базових кутів випередження запалювання в програмі керування двигуном з системою впорскування бензину посприяло зниженню витрати палива по характеристиці холостого ходу на 11 %, питома витрата палива в середньому по навантажувальній ($n=2000 \text{ хв}^{-1}$) характеристиці зменшилась з

системою впорскування на 5%. Потужність двигуна з системою впорскування бензину при повному навантаженні зросла на 6,6%.

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

Перспективи подальших розвідок у даному напрямку 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. / Андрусенко П.И., Бурцев О.Н., Гутаревич Ю.Ф. // – Киев: «Вища школа», 1978. – 128 с.
2. Абрамчук Ф.І., Гутаревич Ю.Ф., Долганов К.Є., Тимченко І.І. Автомобільні двигуни: Підруч. для студентів спец. “Автомобілі та автомобільне господарство” вищ. навч. закладів. – К.: Арістей, 2004. – 438 с.: іл. – Бібліогр.: с.432
3. Ерохов В.И. Экономичная эксплуатация автомобиля / Ерохов В. И. – М.: ДОСААФ, 1986. – 128 с.
4. Ю.Ф. Гутаревич 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: кандидат технічних наук Головня С. Б.

Стаття надійшла до редакції 27.10.2015.

Дабичев И. В. Зависимость расхода топлива от установки угла опережения зажигания в двигателе внутреннего сгорания

Одним из эксплуатационных факторов, который влияет 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.

Dabichev I. V. 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 optimum 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